



DE INFRASTRUCTURELE AANPASSINGEN VOOR UAM IN NEDERLAND



Toby Enzerink

Dutch Drone Delta

Thomas Brinkman

Hogeschool van Amsterdam

Marc Bremer

Versie 1.0

28/05/2021

Arnhem

Auteur:

Toby Enzerink

Email:

toby.enzerink@hva.nl

tobyenzerink@hotmail.com

Studentnummer:

500773426

Bedrijf:

Dutch Drone Delta

Begeleider:

Thomas Brinkman

Hogeschool:

Hogeschool van Amsterdam

Studie:

Aviation Engineering

Afstudeerrichting

Flight Operations Engineering

Begeleider:

Marc Bremer

Voorwoord

Deze scriptie genaamd 'De infrastructurele aanpassingen voor UAM in Nederland' is onderdeel van het afstudeerprogramma van de hbo-opleiding Aviation. Het onderzoek is direct bedoeld voor de opleiding Aviation en opdrachtgever Rijkswaterstaat. Daarnaast worden de uitkomsten gedeeld met partners van de Dutch Drone Delta.

Deze scriptie is in vijf maanden tot stand gekomen in coronatijd, waarbij volledig vanuit huis is gewerkt. Ondanks deze omstandigheden is, mede door de goede begeleiding vanuit de Dutch Drone Delta, een rapport tot stand gekomen waarin inzichten worden gegeven in de benodigde aanpassingen voor de grond- en luchtinfrastructuur voor toekomstige Urban Air Mobility operaties in Nederland.

Daarvoor wil ik mijn begeleider vanuit de Dutch Drone Delta, Thomas Brinkman, bedanken voor de begeleiding tijdens het onderzoek. Ook wil ik opdrachtgever Ariea Vermeulen van Rijkswaterstaat bedanken voor haar inzet tijdens het onderzoek. Dit geldt ook voor alle betrokken partners van de Dutch Drone Delta die input hebben geleverd aan het onderzoek.

Naast deze inhoudelijk betrokken partners, wil ik graag Marc Bremer, vanuit de Hogeschool van Amsterdam, bedanken voor de ondersteuning tijdens de afstudeerperiode. Ondanks deze tijd heeft hij er mede voor gezorgd dat het doel centraal bleef.

Hopend dat u met veel plezier deze scriptie leest, waarbij lessen worden getrokken ten aanzien van de infrastructuur voor Urban Air Mobility operaties in Nederland.

Toby Enzerink



Arnhem
Mei 2021

Samenvatting

Het vervoer van goederen en passagiers door de lucht met elektrische *Vertical Take-Off en Landing* (eVTOL)-toestellen kan in de komende decennia mogelijke verkeerscongestie verminderen (TU Delft, 2021). Om de ontwikkeling van deze nieuwe vorm van mobiliteit – Urban Air Mobility (UAM) - te stimuleren is de stichting Dutch Drone Delta opgericht. Partner en opdrachtgever van dit onderzoek Rijkswaterstaat heeft vanuit deze stichting gevraagd om te kijken welke lucht- en grondinfrastructuur er nodig is om UAM-operaties in Nederland mogelijk te maken en wat de gevolgen op de omgeving hiervan zijn. Hiermee heeft Rijkswaterstaat een concreet beeld van de infrastructurele gevolgen, waarmee Rijkswaterstaat voorbereidt is voor UAM-operaties in gebieden die onder haar beheer vallen. Het doel van dit onderzoek is daarom om een overzicht te geven welke lucht- en grondinfrastructuur er benodigd is en welke aanpassingen daarvoor gedaan moeten worden. Hiervoor is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Welke aanpassingen aan de Nederlandse lucht- en grondinfrastructuur moeten worden doorgevoerd om Urban Air Mobility in de komende decennia mogelijk te maken, rekening houdend met juridische en functionele eisen?

Om antwoord te geven op de hoofdvraag, zijn twee concept operaties (goederen- en passagiersvervoer) gedefinieerd met elk twee locaties, om het project af te bakenen. De eVTOL-kenmerken (gewicht en dimensie) van Volodrone zijn voor de goederen-operatie gebruikt ter referentie, en voor het personenvervoer de Lilium Jet. De focus in dit project is gelegd op het lagere luchtruim rondom een drone-luchthaven, en alle grondinfrastructuur die benodigd is voor een drone-luchthaven. Met een uitgebreid literatuuronderzoek, en een gevolgenanalyse is bekeken welke infrastructurele aanpassingen er minimaal benodigd zijn.

Wegens een gebrek aan UAM-regelgeving, zijn de juridische eisen ten aanzien van het ontwerp van de infrastructuur afkomstig van de helikopter wet- en regelgeving. Hieruit volgt dat, in combinatie met de eVTOL-kenmerken, verschillende ontwerpeisen aan de infrastructuur zijn gesteld. De functionele eisen komen voort uit de wensen en eisen van de beheerder of betrokkenen van de locatie.

De luchtinfrastructuur is alleen afhankelijk van het type eVTOL en het omringde luchtruim. Daarvoor kan het luchtruimmanagement concept U-Space voor het beheer van het luchtruim rondom drone-luchthavens worden toegepast met klasse Y- en Z-luchtruim. In deze luchtruimafbakening moeten aan- en uitvliegroutes met obstakelvrije luchtcorridors worden vormgegeven, op basis van de juridische vormgevingseisen. Bovendien moet bij het ontwerp rekening gehouden worden met de ligging van de corridor, waardoor potentieel geluidsoverlast beperkt kan worden. De luchtruimklasse moet vervolgens worden geïntegreerd in het huidige luchtruim, waardoor aanpassingen aan de huidige luchtruimindeling benodigd zijn.

De benodigde grondinfrastructuur is wel afhankelijk van het doeleinde en de locatie. Hiervoor zijn drone-luchthavens ingedeeld in twee typen; vertiports en vertistops. Waar vertiports beschikken over faciliteiten (Tabel 1), zijn vertistops enkel bedoeld als drop-off locatie.

Tabel 1: Minimaal benodigde vertiport en vertistop

Vertiport	Vertistop
Start- en landingsplek	Start- en landingsplek
Parkeerfaciliteit eVTOL('s)	
Laadfaciliteit(en)	
Onderhoudsfaciliteit/opslag	
Terminal (passagiers/vracht)	

Met de gestelde vormgevingseisen blijkt ruimtelijk gezien dat een vertiport (met capaciteit voor vier eVTOL's) en vertistop verschillen op basis van de dimensies van de eVTOL (Tabel 2).

Tabel 2: Minimaal benodigd oppervlak vertiport en vertistop

	Vertiport	Vertistop
Volodrone	3039 m ²	339 m ²
Lilium Jet	6562 m ²	773 m ²

Functionele eisen dienen tevens te worden meegenomen bij de inpassing van de grondinfrastructuur in de omgeving. Geluidseffecten en visuele perceptie spelen hierbij de belangrijkste maatschappelijke rol. Gericht op de concept operaties zijn in dit onderzoek de minimaal benodigde aanpassingen gevonden, zoals opgesomd in Tabel 3.

Tabel 3: Minimaal benodigde aanpassingen grondinfrastructuur

Concept operatie: goederenvervoer		Concept operatie: passagiersvervoer	
Distributiecentrum	Verzorgingsplaats	Transferium	Carpoolplaats
Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur			
Ondergrondse energie infrastructuur	Doortrekken van elektrische aansluiting	Ondergrondse energie infrastructuur	Doortrekken van elektrische aansluiting
Huidige distributiecentrum voor de aansluiting van een vertiport.	Obstakels weghalen	Uitbreiding passagiersterminal	

Een kanttekening van dit onderzoek is dat de informatievoorziening ten aanzien van wet- en regelgeving en eVTOL-eigenschappen niet volledig was. Daarnaast zijn de benodigdheden en ontwerpen van essentiële infrastructurele elementen voor een vertiport buiten de scope van dit project gevallen. Daarom wordt geadviseerd binnen de Dutch Drone Delta vervolgonderzoek te starten naar vijf aspecten:

- eVTOL-kenmerken;
- Integratie U-Space;
- Laad- en energie-infrastructuur;
- Onderhoudsfaciliteiten;
- Verhoogde infrastructuur.

Betrokkenheid bij het vervolgonderzoek binnen de Dutch Drone Delta is voor Rijkswaterstaat van belang om op de hoogte te blijven van de ontwikkelingen van de onderzoeksresultaten. Opdrachtgever Rijkswaterstaat wordt tevens aanbevolen om te kijken naar korte termijn toepassingen om ook hedendaagse infrastructuur te kunnen faciliteren. Dit betekent dat gekeken moet worden hoe de huidige drones (met kleinere afmetingen) kunnen worden toegepast binnen de voorgestelde infrastructuur.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Samenvatting	3
Afbeeldingen- tabellenlijst.....	8
Afbeeldingen.....	8
Tabellen.....	8
Afkortingenlijst	10
Meeteenheden	11
1. Inleiding.....	12
1.1 Organisatie.....	12
1.2 Probleemstelling.....	13
1.3 Doelstelling	13
1.4 Onderzoeksvragen.....	13
1.5 Afbakening	14
1.6 Leeswijzer	15
2. Methodologie.....	16
2.1 Fase 1: informatieverzameling	16
2.1.1 Dataverzameling	16
2.1.2 Criteria	16
2.1.3 Interviews.....	17
2.2 Fase 2: analyse.....	17
2.2.1 Subfase 2.1.....	18
2.2.2 Subfase 2.2.....	18
3. Concept operaties	19
3.1 Concept operatie-kenmerken	19
3.1.1 Route	19
3.1.2 Type eVTOL.....	19
3.1.3 Capaciteit	19
3.2 Goederen concept operatie	20
3.2.1 Achtergrondinformatie	20
3.2.2 Routekenmerken.....	20
3.2.3 eVTOL-kenmerken.....	20
3.2.4 Capaciteitskenmerken.....	21
3.3 Passagiers concept operatie	21
3.3.1 Achtergrondinformatie	21
3.3.2 Route-kenmerken.....	21

3.3.3	eVTOL-kenmerken.....	22
3.3.4	Capaciteitskenmerken.....	22
4.	Drone wet- en regelgeving	24
4.1	Huidige wetgeving.....	24
4.2	Raakvlakken met Urban Air Mobility.....	25
4.2.1	Raakvlak met Specific Operations Risk Assessment (SORA)	25
4.2.2	Raakvlak met de gecertificeerde categorie.....	26
5.	Luchtinfrastructuur.....	27
5.1	Huidige luchtruimindeling	27
5.1.1	Luchtruimtypen.....	27
5.1.2	Luchtinfrastructuur rondom luchthavens.....	28
5.2	De rol van U-Space.....	29
5.2.1	Onderdelen binnen U-Space.....	29
5.2.2	U-Space luchtruimindeling.....	30
6.	Grondinfrastructuur	32
6.1	Het ontwerp van een drone-luchthaven	32
6.1.1	Vertiports & vertistops	32
6.1.2	Eisen ten aanzien van vertiport en vertistops	33
6.2	Vormgeving van de infrastructurele faciliteiten	33
6.2.1	Start- en landingsfaciliteiten	33
6.2.2	Taxibanen	34
6.2.3	Parkeerfaciliteiten.....	35
6.2.4	Laadfaciliteiten	35
6.2.5	Onderhoudsvoorzieningen	36
6.2.6	Ruimtelijke inpasbaarheid	37
7.	De rol van infrastructuur op sociale acceptatie	39
7.1	Potentiële zorgen	39
7.2	Invloed infrastructuur op de sociale acceptatie	39
7.2.1	Positieve invloeden	39
7.2.2	Negatieve invloeden.....	40
8.	Benodigde infrastructuur	42
8.1	Benodigde luchtinfrastructuur.....	42
8.1.1	Luchthavengebied.....	42
8.1.2	Aan- en uitvliegroutes.....	42
8.2	Benodigde grondinfrastructuur	43
8.2.1	Locatie: PostNL-distributiecentrum.....	43
8.2.2	Locatie: Verzorgingsplaats	43
8.2.3	Locatie: Transferium Maasvlakte.....	44

8.2.4	Locatie: Carpoolplaats.....	44
8.2.5	Overzicht van de benodigde grondinfrastructuur	44
9.	Vormgeving van de luchtinfrastructuur	45
9.1	Obstakelvrije zones.....	45
9.2	Aan- en uitvliegroutes.....	45
9.3	Luchthavengebied.....	46
10.	Vormgeving van de grondinfrastructuur	48
10.1	Functionele eisen	48
10.1.1	Locatie: PostNL-distributiecentrum.....	48
10.1.2	Locatie: Verzorgingsplaats	48
10.1.3	Locatie: Transferium Maasvlakte.....	49
10.1.4	Locatie: Carpoolplaats.....	49
10.2	Concept operatie: goederenvervoer	49
10.2.1	Vormgeving grondinfrastructuur Volodrone	50
10.2.2	Toepassing locatie: Distributiecentrum	51
10.2.3	Toepassing locatie: Verzorgingsplaats	53
10.3	Concept operatie: personenvervoer	53
10.3.1	Vormgeving grondinfrastructuur Lilium Jet	53
10.3.2	Toepassing locatie: Transferium	54
10.3.3	Toepassing locatie: Carpoolplaats.....	55
11.	Conclusie.....	57
12.	Discussie en aanbeveling	59
12.1	Discussie.....	59
12.2	Vervolgonderzoek	59
12.3	Vervolgstappen Rijkswaterstaat	60
	Bibliografie	61
	Bijlagen	69
	Bijlage I: brainstormsessie uitwerking.....	70
	Bijlage II: concept operatie locaties	74
	Bijlage III: interview PostNL	76
	Bijlage IV: interview Port of Rotterdam	77
	Bijlage V: luchtruimclassificaties	80
	Bijlage VI: interview LVNL	81
	Bijlage VII: interview Antea.....	85
	Bijlage VIII: interview Achmea	88
	Bijlage IX: vertiport-ontwerp berekeningen	91

Afbeeldingen- tabellenlijst

Afbeeldingen

Figuur 1: Ontwikkeling lucht taxi-markt tot 2035 (Porsch Consulting, 2018).....	12
Figuur 2: Luchtruim rondom een drone-luchthaven (Airsevice Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020).....	15
Figuur 3: Drone-luchthaven ontwerp voorbeeld (Lilium, 2020).....	15
Figuur 4: Opdeling analysefase	18
Figuur 5: Volodrone (Volocopter, sd)	21
Figuur 6: Dimensies Lilium Jet (Nathen, 2021)	22
Figuur 7: EASA-categorieën (Dutch Drone Academy, 2021)	24
Figuur 8: Visualisatie van het operationeel volume (EASA, 2021)	25
Figuur 9: Illustratie van type gecontroleerd luchtruim (To70, sd).....	28
Figuur 10: Toepassing luchtruim types X, Y en Z in huidige luchtruimindeling (SESAR, 2019)	30
Figuur 11: UAM corridor in gecontroleerd luchtruim (Airsevice Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020).....	31
Figuur 12: Mogelijke vertiport-locatie (Lilium, 2020).....	32
Figuur 13: Mogelijke vertistop-locatie (Antcliff, Moore, & Goodrich, 2016)	32
Figuur 14: Start- en landingsplek helikopterplatform (EASA, 2019)	33
Figuur 15: Luchttaxibaan helikopter dimensie eisen (EASA, 2019).....	34
Figuur 16: Helikopter standplaats voor gelijktijdige operaties (EASA, 2019)	35
Figuur 17: Accu-wissel mogelijkheid (Volocopter).....	36
Figuur 18: Geluid en perceptie van de Lilium Jet afgezet tegen het vluchtprofiel (McIntosh, 2021).....	40
Figuur 19: Voorbeeld obstakelvrije zone tot 330 ft.....	45
Figuur 20: Bovenaanzicht aan- en uitvlieggebied eVTOL's (Kleinbekman, 2019)	46
Figuur 21: Schematische verticale doorsnede van het luchtruim tot 1.000ft.....	46
Figuur 22: Basisinrichting verzorgingsplaats (Rijkswaterstaat, 2019).....	48
Figuur 23: Voorgestelde vertiport locatie (Römers & Bakkar, 2021).....	49
Figuur 24: Ontwerp batterijwisselstation bussen (Li, Li, Deng, & Bao, 2018)	51
Figuur 25: Drie vertiport-ontwerpen met een FATO en vier gates (Lilium, 2020).....	51
Figuur 26: Illustratie vertiport ontwerp C (rood gearceerd) distributiecentrum	52
Figuur 27: Illustratie vertistop verzorgingsplaats met start- en landingsplek (rood) en pakketautomaat (grijs)	53
Figuur 28: Illustratie vertiport ontwerp A (rood gearceerd) Transferium Maasvlakte	55
Figuur 29: Illustratie vertistop (rood gemarkeerd) met weg (grijs gemarkeerd) bij de nieuwe aansluiting A13-A16 – niet op schaal.....	56
Figuur 30: Goederen-operatie vertrekpunt (Kadaster, 2021).....	74
Figuur 31: Goederen-operatie eindpunt (Kadaster, 2021).....	74
Figuur 32: Personenvervoer-operatie vertrekpunt (Kadaster, 2021)	75
Figuur 33: Personenvervoer-operatie aankomstpunt (Kadaster, 2021).....	75
Figuur 34: Luchtverkeersdeinstverleningsklassen volgens de ICAO standaard (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Defensie, 2012)	80

Tabellen

Tabel 1: Minimaal benodigde vertiport en vertistop.....	3
Tabel 2: Minimaal benodigd oppervlak vertiport en vertistop	4
Tabel 3: Minimaal benodigde aanpassingen grondinfrastructuur	4

Tabel 4: Afkortingenlijst	10
Tabel 5: Lijst met meeteenheden	11
Tabel 6: Relevante eVTOL-kenmerken	19
Tabel 7: Route-kenmerken per locatie goederenvervoer	20
Tabel 8: eVTOL-specificaties Volocopter	21
Tabel 9: Route-kenmerken per locatie personenvervoer	21
Tabel 10: eVTOL-specificaties Lilium Jet (Lilium, 2021; Nathen, 2021)	22
Tabel 11: Luchtruimclassificaties (ICAO, 2001)	27
Tabel 12: Benodigde luchtruimklasse per locatie	42
Tabel 13: Benodigde grondinfrastructuur locatie distributiecentrum	43
Tabel 14: Benodigde grondinfrastructuur verzorgingsplaats	43
Tabel 15: Benodigde grondinfrastructuur transferium	44
Tabel 16: benodigde grondinfrastructuur carpoolplaats	44
Tabel 17: Overzicht benodigde grondinfrastructuur uiteengezet per locatie	44
Tabel 18: Grondinfrastructuur specificaties distributiecentrum - Volodrone	51
Tabel 19: Oppervlak schatting op basis van drie vertiport-ontwerpen Volodrone	52
Tabel 20: Grondinfrastructuur specificaties verzorgingsplaats - Volodrone	53
Tabel 21: Grondinfrastructuur specificaties transferium – Lilium Jet	54
Tabel 22: Oppervlak schatting op basis van drie vertiport-ontwerpen Lilium Jet	55
Tabel 23: Grondinfrastructuur specificaties carpoolplaats - Lilium Jet	55
Tabel 24: Minimaal benodigde grondinfrastructuur vertiport en vertistop	57
Tabel 25: Minimaal benodigd oppervlak vertiport en vertistop	58
Tabel 26: Minimaal benodigde aanpassingen grondinfrastructuur	58
Tabel 27: Uitwerking brainstormsessie Dutch Drone Delta	70
Tabel 28: Uitwerking open interview PostNL	76

Afkortingenlijst

In de onderstaande tabel (Tabel 4) staan alle afkortingen die in deze scriptie worden gebruikt.

Tabel 4: Afkortingenlijst

AMC	Acceptable Means of Compliance
ARC	Air Risk Class
ARP	Aerodrome Reference Point
ATM	Air Traffic Management
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
BESS	Battery Energy Storage Systems
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight
CAA	Civil Aviation Authority
ConOps	Concept of Operation
CTA	Control Area
CTR	Controlled Traffic Region
DEVT	Ducted Electric Vectored Thrust
EASA	European Aviation Safety Agency
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight
eVTOL	Electric Vertical Take-off and Landing
FAA	Federal Aviation Administration
FATO	Final Approach and Take-Off
FIR	Flight Information Region
FL	Flight Level
GM	Guidance Material
GRC	Ground Risk Class
IFR	Instrument Flight Rules
IL&T	Inspectie Leefomgeving en Transport
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
NAP	Noise Abatement Procedures
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEC	National Electrical Code
NOTAM	Notices to Airmen
PoR	Port of Rotterdam
SESAR	Single European Sky ATM Research
SID	Standard Instrument Departure
SORA	Specific Operational Risk Assessment
STAR	Standard Arrival Routes
TAT	Turn Around Time
TLOF	Touchdown en Liftoff
TMA	Terminal Manoeuvring Area
UAM	Urban Air Mobility
UCW	Undercarriage Width
UTA	Upper Control Areas
UTM	Unmanned Aircraft SystemsTraffic Management
VFR	Visual Flight Rules
VK	Verenigd Koninkrijk
VLL	Very Low Level
VLOS	Visual Line Of Sight

Meeteenheden

Binnen deze scriptie worden enkele meeteenheden gebruikt. De eenheden die gebruikt worden zijn in lijn met de internationale standaarden in de luchtvaart (ICAO, 1979). In de onderstaande tabel (Tabel 5) zijn de eenheden met bijbehorende afkorting uiteengezet.

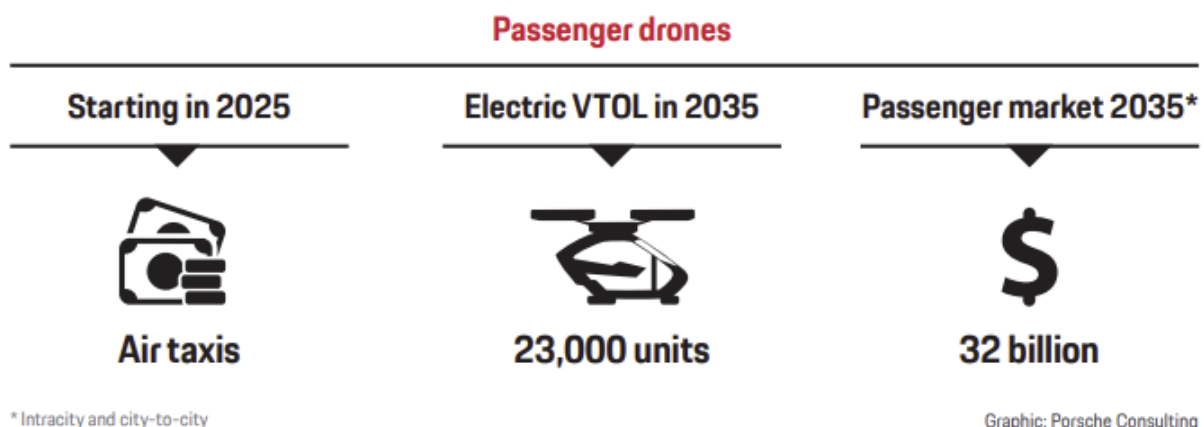
Tabel 5: Lijst met meeteenheden

Categorie	Eenheid	Afkorting
Horizontale afstande	Meter	m
	Kilometer	km
Hoogte	Voet (feet)	ft
Oppervlak	Vierkante meter	m ²
Snelheid	Kilometer per uur	km/h
Massa	Kilogram	kg
Vermogen	Watt	W
	KiloWatt	kW
	MegaWatt	MW
Energie	Megawattuur	MWh

1. Inleiding

Nederland is één van de drukst bevolkte gebieden in Europa (United Nations, 2020), waarbij de Randstad bij uitstek het drukst bevolkt is (Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2020). Al jaren neemt de (verkeers) congestie toe, waardoor de Nederlandse snelwegen tot de meest intensief gebruikte wegen ter wereld behoren (Rijkswaterstaat, sd) en het treinverkeer in de afgelopen jaren fors toenam (Nationale Spoorwegen (NS), 2020). De wereldwijde coronacrisis zorgde echter voor een lagere verkeersintensiteit en een significante afname van het aantal reizigers in het openbaar vervoer (Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2021). Ondanks de crisis neemt de aandacht voor nieuwe, duurzame en innovatieve mobiliteit toe. Urban Air Mobility (UAM), oftewel stedelijke luchtmobiliteit, is één van de oplossingen voor een 'slimmere' toekomst op gebied van duurzame mobiliteit (Schiphol & Dutch Drone Delta, 2021). In vergelijking met helikopters zijn elektrische Vertical Take-Off & Landing-toestellen (eVTOL's), oftewel luchttaxi's, daarnaast ook stiller (Porsch Consulting, 2018). Een volgende innovatieve stap is UAM waarbij goederen en personen door de lucht vervoerd worden met behulp van eVTOL's.

Diverse onderzoeken laten een sterke groei van UAM over de wereld zien voor de komende decennia. Vanwege technische en juridische onzekerheden ten aanzien van UAM wordt een significante groei verwacht vanaf 2025 met de komst van nieuwe wet- en regelgeving. Het vervoer van goederen, maar ook personen, wordt volgens onderzoek van de National Aeronautics and Space Administration (NASA) mogelijk al in 2030 een commercieel levensvatbare markt (Hasan, 2018). De passagiersmarkt zal verder groeien (Figuur 1) met in 2035 mogelijk al 23 duizend eVTOL's (Porsch Consulting, 2018).



Figuur 1: Ontwikkeling luchttaxi-markt tot 2035 (Porsch Consulting, 2018)

1.1 Organisatie

Om deze verwachte ontwikkeling van UAM in Nederland mogelijk te maken is de stichting Dutch Drone Delta opgericht. De stichting, gestart op 1 januari 2020, heeft als visie dat UAM en eVTOL's worden gezien als een volwaardige en geaccepteerde mobiliteitsvorm. Binnen deze stichting zijn de handen ineen geslagen met diverse partners. De stichting wordt voor de dagelijkse uitvoering ondersteund door AirHub en Connekt, en er wordt nauw samengewerkt met het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat en Rijkswaterstaat. De partners hebben de benodigde kennis, kunde, ervaring en slagkracht om toepassingen met drones te realiseren en te werken aan de toekomst van UAM. De stichting bestaat verder uit de volgende kernpartners¹:

¹ Kernpartners per 1 mei 2021

- Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL)
- Royal Schiphol Group
- Antea Group
- Nederlandse Lucht- en Ruimtevaartcentrum
- A.S.R. Schadeverzekeringen
- Port of Rotterdam
- KPN
- Space53
- Transavia
- ROC Amsterdam

De uitvoeringen van diverse tests en onderzoeken vanuit de organisatie worden aan de hand van vijf verschillende ‘tracks’ gedaan. De tracks binnen de Dutch Drone Delta zijn gebaseerd op de geïdentificeerde technische, juridische, economische en sociale uitdagingen en zijn zo gekozen dat deze toewerken naar de stip op de horizon: UAM in Nederland. De vijf tracks zijn sociale omarming, autonome lange afstandsvluchten, integratie bemand en onbemand verkeer, bezorging door drones en UAM.

1.2 Probleemstelling

Een veilige integratie met de huidige grond- en luchtinfrastructuur is een voorwaarde voor de implementatie van UAM in Nederland. Vanuit een onafhankelijk vooronderzoek, uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, zijn verschillende aspecten naar voren gekomen waaruit blijkt dat verder onderzoek nodig is om de infrastructurele gevolgen van UAM in Nederland te bepalen en de rol van Rijkswaterstaat daarin (Mourik, 2020). Vanwege de mogelijk grote veranderingen moet Nederland zich voorbereiden op een nieuwe vorm van mobiliteit (VNG Realisatie, 2020). Met de huidige procedures en lucht- en grondinfrastructuur is Nederland nog niet in staat om autonome UAM-vluchten mogelijk te maken. Het integreren van deze vorm van mobiliteit vraagt daarom ook om een uitgebreide analyse naar eventuele uitbreidingen en aanpassingen van de huidige lucht- en grondinfrastructuur. Om in de toekomst maatschappelijk draagvlak te hebben voor UAM zijn de omgevingseffecten ook van belang waarbij geluid een belangrijke rol speelt (EASA, 2021). Rijkswaterstaat wil daarom met een gevolgenanalyse bekijken wat de gevolgen van diverse UAM-operaties op de Nederlandse infrastructuur zijn en welke aanpassingen daarvoor gedaan moeten worden. Met deze stap krijgt Rijkswaterstaat een concreet beeld van de infrastructurele gevolgen, waarmee Rijkswaterstaat voorbereid is voor UAM-operaties in gebieden die onder haar beheer vallen.

1.3 Doelstelling

Het onderzoek is uitgevoerd vanuit de Dutch Drone Delta, in opdracht van Rijkswaterstaat, met als doel inzicht te krijgen welke infrastructuur benodigd is, en welke infrastructurele aanpassingen er nodig zijn voor een UAM-operatie in Nederland. De focus ligt op twee concept operaties waarbij een fictieve eVTOL-vlucht wordt uitgevoerd in de Randstad met goederen en passagiers. Een overzicht moet duidelijkheid geven welke infrastructurele toevoegingen en/of aanpassingen er nodig zijn om UAM in de komende dertig jaar mogelijk te maken. Het onderzoek moet Rijkswaterstaat uiteindelijk inzicht geven ten aanzien van de benodigde infrastructurele aanpassing die onder het beheer van de organisatie vallen.

1.4 Onderzoeksvragen

Om de doelstelling te behalen is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Welke aanpassingen aan de Nederlandse lucht- en grondinfrastructuur moeten worden doorgevoerd om Urban Air Mobility in de komende decennia mogelijk te maken, rekening houdend met juridische en functionele eisen?

De hoofdvraag wordt ondersteund met een set aan deelvragen die zijn gecategoriseerd in theoretische en empirische deelvragen:

1. Theoretische deelvragen:
 - a. Welke operatie-kenmerken zijn van belang voor het analyseren van de benodigde infrastructuur?
 - b. Wat zijn de eigenschappen van de gekozen eVTOL-toestellen?
 - c. Wat is de verwachte ontwikkeling ten aanzien van de groei van Urban Air Mobility in de komende decennia?
 - d. Op welke manier heeft de bestaande wetgeving invloed op Urban Air Mobility?
 - e. Hoe is het huidige (bemande) luchtruim ingedeeld?
 - f. Wat is de rol van U-Space bij de integratie van onbemande luchtvaartuigen in het luchtruim?
 - g. Welke grondfaciliteiten zijn er nodig om Urban Air Mobility-operaties mogelijk te maken?
 - h. Aan de hand van welke eisen moet de grondinfrastructuur worden vormgegeven?
 - i. Welke mogelijke invloed heeft de grond- en luchtinfrastructuur op de sociale acceptatie van Urban Air Mobility?
2. Empirische deelvragen:
 - a. Hoe hebben de eigenschappen van een VTOL-vliegtuig invloed hebben op de vluchtuitvoering?
 - b. Welke functionele eisen zijn van toepassing op de gekozen concept operaties?
 - c. Welke lucht- en grondinfrastructuur is benodigd om Urban Air Mobility naar de te verwachte vraag in Nederland te implementeren gericht op de concept operaties?
 - d. Welke gevolgen heeft de benodigde lucht- en grondinfrastructuur op de omgeving?

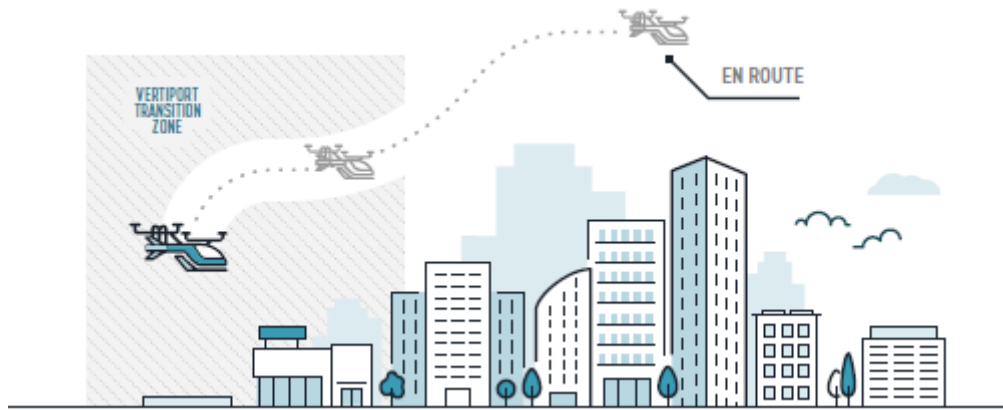
1.5 Afbakening

Het afstudeeronderzoek richt zich op twee concept operaties, waarbij zowel goederen- als personenvervoer wordt meegenomen. Deze operaties zijn in hoofdstuk 2 beschreven en afgebakend. Naast de afbakening van de twee operaties, zijn hieronder de algemene projectafbakeningen opgesomd:

- Geografisch: alleen de gevolgen in Nederland zijn onderzocht, specifiek gericht op de Randstad door middel van twee concept operaties;
- Juridisch: de huidige juridische wet- en regelgeving is meegenomen, waarbij de internationaal gepubliceerde wet- en regelgeving wordt gehanteerd;
- Effect: de bijkomende gevolgen van de infrastructuur (zowel positieve als negatieve) op de leefomgeving zijn meegenomen in het onderzoek op basis van huidige en lopende onderzoeken. Er is dus geen nieuw/extra onderzoek uitgevoerd naar maatschappelijke acceptatie in relatie tot de infrastructuur voor dit project.

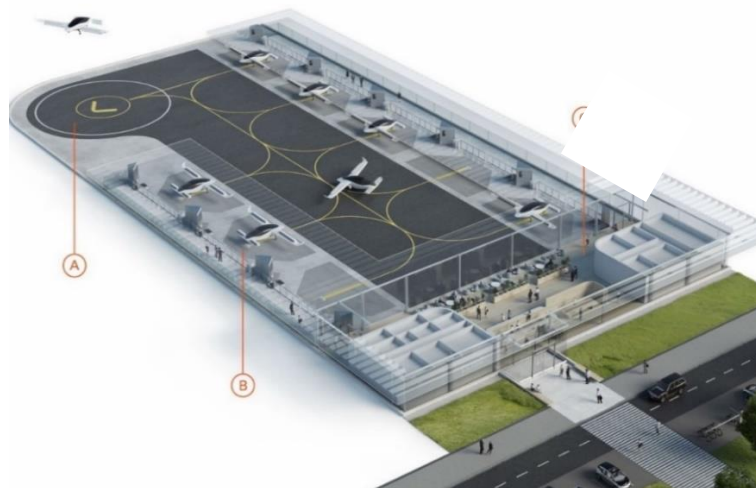
Om de infrastructurele aanpassingen te analyseren is er onderscheid gemaakt tussen de lucht- en grondinfrastructuur, zoals hieronder beschreven en gevisualiseerd:

- Voor de luchtinfrastructuur geldt de volgende definitie: alles wat nodig is om de klim- en dalingsfase geordend te laten verlopen. Bij de luchtinfrastructuur is alleen het lagere luchtruim tijdens de klim en daling bekeken, oftewel in de *vertiport transition zone* (Figuur 2). Daarnaast is dit niet per concept operatie bekeken, gezien de omvang van het onderzoek;



Figuur 2: Luchtruim rondom een drone-luchthaven (Airsevice Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020)

- Voor dit project is grondinfrastructuur gedefinieerd als: alle voorzieningen op de grond die noodzakelijk zijn om verplaatsing van mensen en goederen door middel van eVTOL's mogelijk te maken. De gebieden A & B (Figuur 3) van een drone-luchthaven komen aan bod evenals de inpassing in de omgeving.



Figuur 3: Drone-luchthaven ontwerp voorbeeld (Lilium, 2020)

1.6 Leeswijzer

De scriptie is opgedeeld in twee hoofdfases, namelijk het theoretisch kader en de analyse. Voor beide fases is eerst de methodologie (hoofdstuk 2) beschreven, waarna de kenmerken van de twee concept operaties uiteen zijn gezet (hoofdstuk 3). De theoretische deelvragen zijn vervolgens beantwoord, en opgedeeld in wet- en regelgeving (hoofdstuk 4), de luchtinfrastructuur (hoofdstuk 5) en grondinfrastructuur (hoofdstuk 6) en de gevolgen op de leefomgeving (hoofdstuk 7). De verzamelde informatie is vervolgens toegepast in de analyse, die opgedeeld is in de benodigde infrastructuur (hoofdstuk 8) en de vormgeving van de luchtinfrastructuur (hoofdstuk 9) en grondinfrastructuur (paragraaf 10). Dit leidt tot de beantwoording van de empirische deelvragen, waarna het antwoord op de hoofdvraag in de conclusie is geformuleerd (hoofdstuk 11). Tot slot is een discussie en aanbeveling opgesteld (hoofdstuk 12). De bijlagen omvatten ondersteunende informatie waar vanuit de hierboven genoemde hoofdstukken naar wordt verwezen.

2. Methodologie

Het onderzoek is opgedeeld in twee hoofdfases: het literatuuronderzoek (paragraaf 2.1) en de analyse (paragraaf 2.2). Deze twee fases leiden uiteindelijk tot de conclusie en het advies van dit onderzoek. In de methodologie van deze scriptie is de aanpak van deze twee fases beschreven.

2.1 Fase 1: informatieverzameling

Aan de hand van een gestructureerde methodologie is het theoretisch kader vormgegeven. De manier van dataverzameling (paragraaf 2.1.1) met de bijbehorende criteria (paragraaf 2.1.2) die gebruikt is tijdens deze onderzoeksfase is verantwoord in de onderstaande paragrafen. Daarnaast zijn oriënterende interviews onderdeel van de eerste fase. De aanpak hiervoor is uiteengezet in laatste sectie van dit subhoofdstuk (paragraaf 2.1.3).

2.1.1 Dataverzameling

Op basis van het literatuuronderzoek zijn oriënterende interviews afgenomen en is een brainstormsessie opgesteld met partners van de Dutch Drone Delta. Het literatuuronderzoek heeft als doel de informatie over theoretische concepten uiteen te zetten die vervolgens gebruikt zijn tijdens de analysefase. Hierbij vormen de theoretische deelvragen de basis van het kwalitatieve onderzoek. De volgende hoofdonderwerpen zijn daarbij geïdentificeerd op basis van een verkennend vooronderzoek en de eerste brainstormsessie (Bijlage I):

- *Wet- en regelgeving.* De wet- en regelgeving geeft een juridisch kader waarbinnen oplossingen ten aanzien van UAM gevormd kunnen worden. Het kader is op basis van documenten van officiële instanties vormgegeven waarbij de Europese wetgeving leidend is;
- *eVTOL-kenmerken.* De kenmerken van de gekozen eVTOL's zijn van belang om de uitvoerbaarheid van de vlucht te beoordelen. De infrastructuur moet passen bij de prestaties en de dimensies van de eVTOL. De informatie is afkomstig van fabrikanten;
- *Luchtinfrastructuur.* De theoretische concepten met betrekking tot de huidige en toekomstige luchtinfrastructuur zijn van belang om de toepassing van UAM in de lucht te bepalen. De sub-onderwerpen voor de toekomstige luchtinfrastructuur volgen uit de officiële documentatie van de Europese instantie Single European Sky ATM Research (SESAR);
- *Grondinfrastructuur.* De verschillende concepten ten aanzien van de grondinfrastructuur voor drone-luchthavens en de bijbehorende voorzieningen zijn essentieel voor de bepaling van de grondinfrastructuur. Daarbij wordt de helikopterwetgeving, die het meest overeenkomt met toekomstige drone-luchthavens, in combinatie met internationale onderzoeken gebruikt om de verschillende faciliteiten uiteen te zetten;
- *Effecten leefomgeving.* De effecten van de (mogelijk) toekomstige infrastructuur op de omgeving zullen onderdeel zijn van het laatste deel van het literatuuronderzoek. De informatie hiervan komt voornamelijk uit research papers waarbij wereldwijd gebiedsonderzoeken zijn uitgevoerd.

2.1.2 Criteria

Voor het literatuuronderzoek is verder gebruik gemaakt van specifieke criteria ten aanzien van informatieverzameling. De criteria die hieronder is opgesomd is toegepast op de hoofdonderwerpen zoals gesteld. De criteria is als volgt:

- Juridische informatie is gebaseerd op officiële documenten van de European Aviation Safety Agency (EASA) en de Federal Aviation Administration (FAA). Hierbij wordt de laatst gepubliceerde (actieve) documentatie gebruikt, waarbij geen jaartal-restricties zijn;

- Onderzoeksrapporten zijn ingedeeld in twee categorieën:
 - Erkende instanties.
Organisaties die internationaal erkend zijn (bijvoorbeeld NASA of SESAR) en onderzoeken hebben gepubliceerd ten aanzien van het onderwerp;
 - Research papers.
Bijdrages aan vaktijdschriften, of internationale onderzoeks- en consultancybureaus vallen onder de categorie research paper.

Voor beide onderzoeken is gebruik gemaakt van actuele data uit 2015 of later, om de laatste ontwikkelingen mee te nemen. Lang lopende concepten en/of theorieën vallen buiten deze criteria. Daarnaast zijn de zoektermen voor research papers voortgekomen uit onderzoeken van de erkende instanties waarmee het literatuuronderzoek als systematisch kan worden beschouwd.

De informatie afkomstig van het literatuuronderzoek is gebruikt als input data voor het opzetten van de interviews, en wordt als uitgangspunt gebruikt bij de analyse (fase 2).

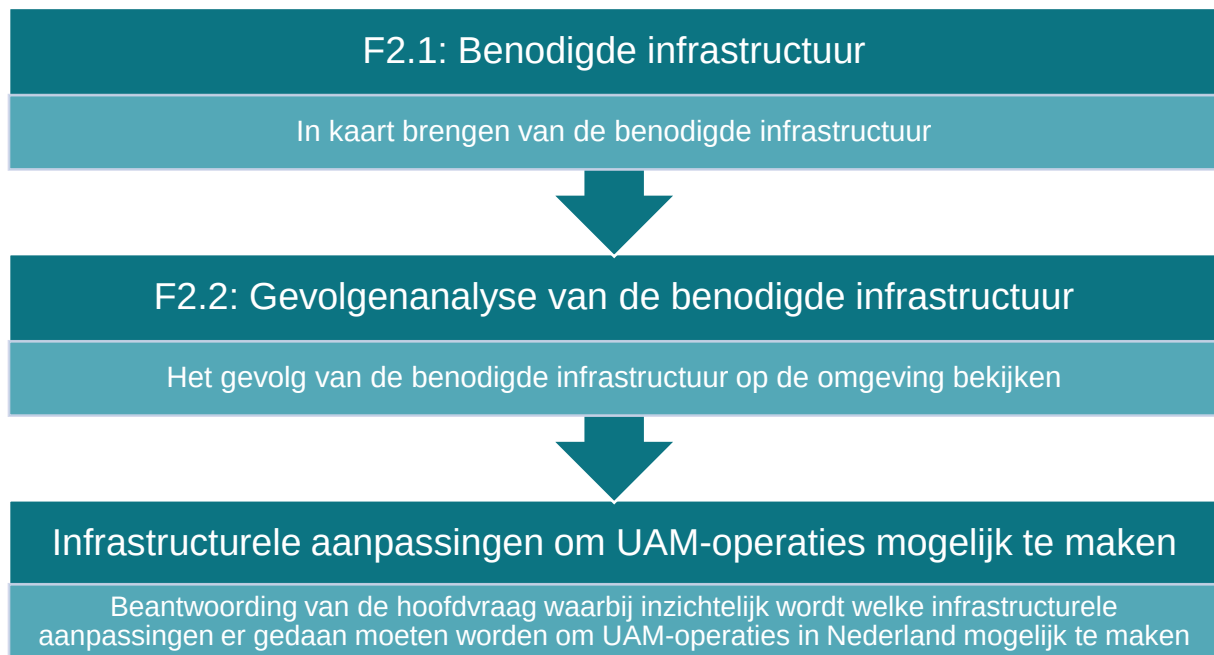
2.1.3 Interviews

Binnen dit onderzoek zijn oriënterende interviews afgenomen, met als doel inzicht te krijgen in de wensen en eisen van verschillende partners. Om tot deze informatie te komen is ervoor gekozen om geen volledig gestructureerde interviews uit te voeren. Gesloten vragen staan daarin centraal, waardoor er weinig ruimte is, minder flexibel, om dieper op opgebrachte onderwerpen door te gaan. Daarom zijn vijf standaard vragen opgesteld (gestructureerd) en een topic-lijst voor het ongestructureerde deel. Alle interviews zijn via deze methode afgenomen, om de betrouwbaarheid van het onderzoek te waarborgen. De interviews zijn volledig getranscribeerd, en omgezet naar samenvattingen om vervolgens te analyseren. De uitwerkingen daarvan zijn toegevoegd in de bijlagen.

Naast de 1-op-1 interviews is er ook een brainstormsessie georganiseerd, focusgroep-interview (Bijlage I). Deze sessie ondersteunt het kwalitatieve onderzoek, waarbij de visie en kennis van verschillende partijen vertegenwoordigd is. Het belang van dit onderdeel is dat deze partijen gericht zijn op Nederland. Waar internationale organisaties, internationale richtlijnen en adviezen geven, kunnen de partners van de Dutch Drone Delta de Nederlandse belangen (beter) afwegen.

2.2 Fase 2: analyse

Vanuit de informatieverzamelingsfase, is een analyse op Nederland gemaakt. De empirische deelvragen worden hierin beantwoord. Binnen deze tweede fase is gebruik gemaakt van twee *case studies*, oftewel twee concept operaties. Door gebruik te maken van deze vorm in het onderzoek kan de focus gelegd worden op de twee soorten operaties en op de bijbehorende infrastructuur waarmee het onderzoek goed afgebakend is. Op basis van de afgelegde interviews en de informatie afkomstig uit het literatuuronderzoek, is de kwalitatieve analyse opgebouwd. Hierin zijn twee sub-fases gedefinieerd zoals te zien is in Figuur 4.

*Figuur 4: Opdeling analysefase*

2.2.1 Subfase 2.1

De eerste subfase (F2.1) is gebruikt om op basis van het literatuuronderzoek en de uitgevoerde interviews de benodigde infrastructurele elementen in kaart te brengen. De empirische deelvraag 2C is hiermee beantwoord. Er wordt daarin naar zowel de lucht- als grondinfrastructuur gekeken zoals afgebakend in paragraaf 1.5. Voorafgaand aan deze fase zijn eisen uiteengezet gebaseerd op de verkregen informatie tijdens het literatuuronderzoek en de interviews. Om het vervolg van deze subfase gestructureerd te laten verlopen is per hoofdonderwerp, zoals gecategoriseerd in het literatuuronderzoek, gekeken naar de benodigde infrastructuur.

2.2.2 Subfase 2.2

Het vervolg is gedefinieerd als de analysefase (F2.2) waarin de gevolgen van de benodigde infrastructuur zijn onderzocht (antwoord op deelvraag 2D) op de omgeving. In samenwerking met partners van de Dutch Drone Delta is gezorgd voor een kwalitatieve in- en aanvulling op de analyse vanuit het literatuuronderzoek, waarbij de focus ligt op het ruimtelijk aspect.

Uit deze twee subfasen volgt de beantwoording op de hoofdvraag.

3. Concept operaties

Dit hoofdstuk behandelt de twee concept operaties die worden geanalyseerd in dit onderzoek. Allereerst zijn de concept operatie-kenmerken (paragraaf 3.1) die van toepassing zijn voor de benodigde infrastructurele aanpassingen beschreven. Vervolgens zijn, op basis van een brainstormsessie met partners van de Dutch Drone Delta (Bijlage I), de twee operaties (paragraaf 3.2 en 3.3) beschreven aan de hand van deze operatie-kenmerken.

3.1 Concept operatie-kenmerken

De concept operatie-kenmerken zijn onderverdeeld in drie hoofdkenmerken, namelijk:

- De route met bijbehorende start- en landingslocatie;
- Het type eVTOL;
- De bijbehorende capaciteitskenmerken.

Twee van de drie kenmerken volgen uit de regelgeving 2020/639 voor onbemande luchtvaartuigen (EASA, 2021), waarbij het beschrijven van de operationele omgeving (de route, paragraaf 3.1.1) en de technische karakteristieken (type eVTOL, paragraaf 3.1.2) een minimale vereisten is bij het opstellen van een concept operatie. Als gevolg van die twee kenmerken bepaald de minimale capaciteit (paragraaf 3.1.3) de eisen voor de grond- en luchtinfrastructuur.

3.1.1 Route

Het bepalen van de benodigde lucht- en grondinfrastructuur, en de bijbehorende gevolgen hangt af van de omgeving. De routekenmerken van zowel het grondgebied (ligging en obstakels) als het luchtruim (gecontroleerd of ongecontroleerd) zijn daarin van belang. Deze elementen benoemt EASA, op basis van de huidige wet- en regelgeving, als de minimale gegevens die een beschrijving van een concept operatie moet omvatten (EASA, 2021).

3.1.2 Type eVTOL

De benodigde aanpassingen aan de lucht- en grondinfrastructuur kan per eVTOL verschillen door het verschil in het fysieke (afmetingen) en technische (opladen, vluchtprofiel) ontwerp. Daardoor zijn de kenmerken van de gekozen type eVTOL's belangrijk voor de analyse in dit onderzoek. De belangrijkste kenmerken met de aantoonbare relevantie zijn opgesomd in de onderstaande tabel (Tabel 6).

Tabel 6: Relevante eVTOL-kenmerken

eVTOL-kenmerk	Relevantie
Maximaal startgewicht	Gewichtscategorie wetgeving
Maximale payload	Payload (pakketten/personen) relevant voor omliggende logistieke keten en grondinfrastructuur
Maximale dimensies	Dimensies relevant voor (minimale) afmetingen infrastructuur

3.1.3 Capaciteit

Tot slot, een belangrijk kenmerk, de capaciteit. De capaciteitsbepaling is aan de hand van de onderliggende businesscase gedefinieerd. Hieruit volgt de aangenomen capaciteit waaraan zowel de lucht- als grondinfrastructuur moet voldoen. Dit heeft daarbij weer gevolgen voor het totale 3D-oppervlak waardoor mogelijke aanpassingen nodig zijn.

3.2 Goederen concept operatie

De kenmerken van de goederen concept operatie zijn uiteengezet in de onderstaande paragrafen. Allereerste is de achterliggende gedachte en motivatie achter de route beschreven (paragraaf 3.2.1). Vervolgens zijn de drie hoofdkenmerken, bestaande uit de route (paragraaf 3.2.2), de capaciteit (paragraaf 3.2.3) en het type eVTOL (paragraaf 3.2.4), van deze operatie in de onderstaande sectie beschreven.

3.2.1 Achtergrondinformatie

De eerste concept operatie omvat het vervoeren van pakketten vanuit een distributiecentrum naar een afhaalpunt bij een verzorgingsplaats. Kijkend naar het landschap van Rijkswaterstaat, dan is een verzorgingsplaats een van de potentiële plekken waar activiteiten te ontwikkelen zijn in het kader van logistieke operaties. Naar aanleiding daarvan heeft Rijkswaterstaat baat bij het analyseren van deze locatie. Een afhaalpunt aan de rand van een stad zou daarnaast kunnen bijdragen aan de toegankelijkheid van eVTOL's in vergelijking tot een stedelijke omgeving (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2017). Om de bijbehorende logistiek van een goederen-operatie zo goed mogelijk in het scenario mee te nemen is daarbij een distributiecentrum van PostNL gekozen als locatie. De route locaties zijn te vinden in Bijlage II.

3.2.2 Routekenmerken

De gehele operatie vindt plaats in de Randstad. Vanuit een distributiecentrum vliegt de eVTOL richting een verzorgingsplaats langs de snelweg. De operatie in dit voorbeeld vindt in z'n geheel plaats binnen gecontroleerd luchtruim rondom de luchthaven van Rotterdam. Bij de verzorgingsplaats zullen vervolgens pakketten tot een maximum van 200 kilogram (kg) autonoom worden afgeleverd bij een gerobotiseerd pakketautomaat van PostNL (PricewaterhouseCoopers LLP, 2018; PostNL, 2021). Vervolgens zal het toestel terugvliegen naar het distributiecentrum. Het distributiecentrum wordt daarom ook gebruikt als standplaats voor de eVTOL, en de verzorgingsplaats wordt gezien als een drop-off locatie. De overige kenmerken zijn beschreven in de onderstaand tabel (Tabel 7).

Tabel 7: Route-kenmerken per locatie goederenvervoer

Kenmerken per locatie		
Kenmerk	Distributiecentrum	Verzorgingsplaats
Ligging	Nabij woonwijk/snelweg	Langs de snelweg
	Aangrenzend aan distributiecentrum	Aangrenzend aan tankstation
Obstakels	Geen significante obstakels	Geen significante obstakels
Luchtruim	Buiten gecontroleerd luchtruim	Binnen gecontroleerd luchtruim

3.2.3 eVTOL-kenmerken

Deze goederen-operatie zal worden uitgevoerd door de cargo-eVTOL van fabrikant Volocopter (Figuur 5), waarvan de kenmerken zijn opgesomd in Tabel 8. Dit model, ook wel Volodrone genoemd, kan pakketten tot 200 kilogram vervoeren wat meegenomen is in de capaciteitsbepaling. Met een bereik van 40 kilometer (km) is de Volodrone goed inzetbaar voor stedelijke routes, wat een oplossing kan bieden voor de toenemende verkeerscongestie in de Randstad. Daarnaast beschikt de Volodrone over een gestandaardiseerde bevestiging voor het vastmaken van de lading. Dit railsysteem wordt volgens Volocopter (Volocopter, 2021) veelvuldig in de ruimtevaart en logistiek gebruikt, waardoor het systeem compatibel is met Europallet-pakketten. Daarnaast is het mogelijk om tussen het landingsgestel een op maat gemaakt systeem te hangen, wat dus gebruikt kan worden voor een model van een gerobotiseerde pakketpunt van PostNL. Voor de bepaling van de benodigde grootte van de infrastructuur zijn de dimensies van de eVTOL van belang. De rotordiameter van het toestel is 9,2 meter en het toestel heeft een hoogte van 2,3 meter.

Tabel 8: eVTOL-specificaties Volocopter

Specificaties Volocopter	
Payload	200 kg
Maximaal startgewicht	800 kg
Rotordiameter	9,2 m
Hoogte	2,3 m
Breedte onderstel*	1,8 m

* schatting op basis van verhouding



Figuur 5: Volodrone (Volocopter, sd)

3.2.4 Capaciteitskenmerken

Op basis van de hierboven uiteengezette informatie is de grond- en luchtinfrastructuur capaciteit bepaald. De huidige Nederlandse pakketbezorgingsmarkt wordt voor circa twee derde door PostNL bedient, waarbij gemiddeld één miljoen pakketten per dag worden verwerkt (PostNL, Bijlage III). Verdeeld over 25 distributiecentra komt dat neer op gemiddeld veertigduizend pakketten per dag per distributiecentrum. Voor deze concept operatie zullen Volodrones een deel van het pakketvervoer overnemen door autonome vluchten richting een verzorgingsplaats. Hier is nog geen expliciete businesscase voor. Het gerobotiseerde pakketautomaat op deze *drop-off* punt biedt een capaciteit van 200 pakketten (PostNL, 2021). In samenspraak met PostNL volgt daaruit dat in eerste instantie vier Volodrones worden ingezet bij het distributiecentrum (ook voor potentiële andere routes) om de infrastructurele gevolgen van een drone-luchthaven te bekijken, waarbij een werkvoorraad van vier uur in het distributiecentrum wordt gehanteerd (PostNL, Bijlage III).

3.3 Passagiers concept operatie

Naast de eerste concept operatie wordt ook een tweede operatie onderzocht die focust op het vervoer van personen. Ook hier is eerst achtergrondinformatie over de route beschreven (paragraaf 3.3.1). De kenmerken van deze operatie op het gebied van de route (paragraaf 3.3.2), het type eVTOL (paragraaf 3.3.3) en de bijbehorende capaciteitsbepaling (paragraaf 3.3.4) zijn vervolgens uiteengezet.

3.3.1 Achtergrondinformatie

Vanuit de Rotterdamse haven is er de wens om Transferium Maasvlakte uit te laten groeien tot openbaar vervoer hub, ofwel het Transferium ontwikkelen als een vervoersknooppunt. Dit ligt in lijn met de wens vanuit Rijkswaterstaat om bij carpoolplaatsen te kijken of passagiersdrones van toepassing kunnen zijn gezien passagier ook hier makkelijk kunnen overstappen op een ander vervoersmiddel. Hieruit is concept operatie twee, de passagiers-operatie, ontstaan.

3.3.2 Route-kenmerken

De gekozen route start dus bij Transferium Maasvlakte gelegen in de Rotterdamse haven. Vanuit daar zal de vlucht via de waterwegen en huidige aanvliegroutes voor de bemande luchtvaart richting een carpoolplaats nabij Rotterdam The Hague Airport langs de snelweg vliegen. De vertrek- en aankomstplaats zijn gevisualiseerd in de bijlage (Bijlage II). De kenmerken van zowel het Transferium als de carpoolplaats verschillen, en zijn uiteengezet in de onderstaande tabel (Tabel 9).

Tabel 9: Route-kenmerken per locatie personenvervoer

Kenmerken per locatie		
Kenmerk	Transferium	Carpoolplaats
Ligging	Havengebied	Nabij vliegveld
	Aangrenzend aan openbaar vervoer hub	Aangrenzend aan een snelweg

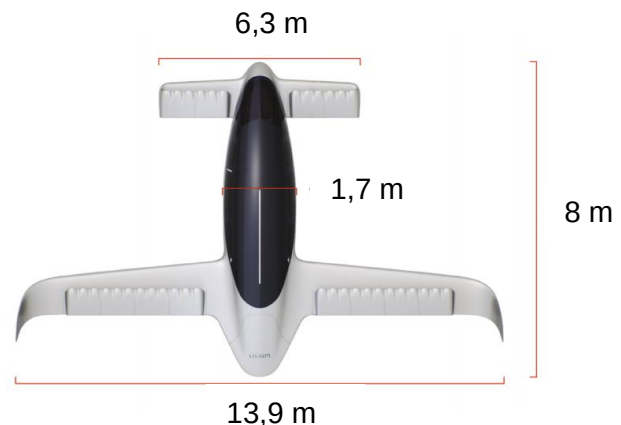
Obstakels	Havengebied (kranen, schepen, windmolens)	Vliegtuigen (aankomst- en vertrek vliegveld)
Luchtruim	Buiten gecontroleerd luchtruim	Binnen gecontroleerd luchtruim
		Aangrenzend aan aan- en uitvliegroutes bemande luchtvaart

3.3.3 eVTOL-kenmerken

De operatie met personenvervoer zal worden uitgevoerd met het laatste eVTOL-model (2021) van Lilium (Figuur 6). In tegenstelling tot de Volodrone is de Lilium Jet voorzien van vaste vleugels met roterende elektromotoren waardoor verticaal opstijgen en landen mogelijk is (Lilium, sd). De spanwijdte van het toestel is 13,9 meter, en aan boord van de 8,5 meter lange Lilium Jet is plaats voor zeven personen. Doordat de elektrische motoren geïntegreerd zijn in de vleugelkleppen, op basis van de zogeheten Ducted Electric Vectored Thrust-techniek (DEVT), is het toestel aerodynamisch efficiënt, en heeft het een lager geluidsprofiel dan openpropeller eVTOL's. Alle informatie conform de kenmerken zoals eerder beschreven zijn uiteengezet in Tabel 10.

Tabel 10: eVTOL-specificaties Lilium Jet (Lilium, 2021; Nathen, 2021)

Specificaties Lilium Jet	
Payload	7 passagiers
Maximaal startgewicht	3175 kg
Spanwijdte	13,9 m
Lengte	8,5 m
Breedte onderstel	1,7 m



Figuur 6: Dimensies Lilium Jet (Nathen, 2021)

3.3.4 Capaciteitskenmerken

Internationaal gezien blijkt passagiersvervoer door middel van eVTOL's winstgevend te kunnen zijn (Hasan, 2018). Voor de concept operatie in dit onderzoek worden geschatte cijfers vanuit Nederland gebruikt op de capaciteit van de lucht- en grondinfrastructuur te bepalen. Elke jaar moeten ongeveer tienduizend scheepsbemanningen vanuit de haven naar het vliegveld in Rotterdam. In plaats van een taxirit via de drukke snelweg A15, zouden passagier-eVTOL's een oplossing kunnen zijn voor de transfer naar de luchthaven. Uit een schatting van de PoR blijkt dat dit zou gaan om ongeveer dertig zeevarenden per dag (Römers & Bakkar, 2021). De prijs per afstandseenheid ligt echter circa 50 procent hoger in de eerste jaren dan de huidige taxi-mobiliteit (NASA, 2018). In deze concept operatie wordt daarom in een beginstadium aangenomen dat voor deze doelgroep vijftien personen per dag vervoerd moeten worden, gezien het een *premium* product zal zijn in de beginfase (PoR, Bijlage IV). Daarnaast ligt er nog een potentiële markt voor werknemers rondom het havengebied die ook wordt meegenomen in de aanname. Gezien een studie van NASA (Hasan, 2018) beschrijft dat een drone-luchthaven gemiddeld drie tot zes eVTOL's moet kunnen afhandelen, in combinatie met de bovenstaande capaciteitscijfers, wordt aangenomen dat vier eVTOL's gelijktijdig op de grond afgehandeld moeten kunnen om in te spelen om de toekomstige vraag.

Sectie I – Theoretisch kader



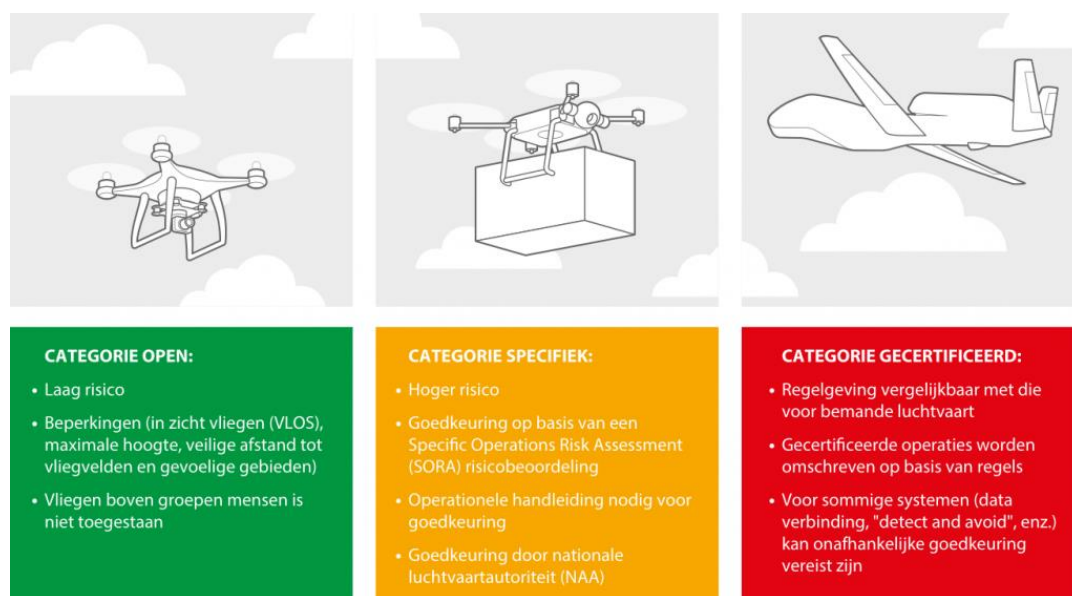
4. Drone wet- en regelgeving

Binnen dit hoofdstuk zijn de raakvlakken van de huidige drone wet- en regelgeving (EU-regelgeving 2019/947) tot UAM voor het juridisch kader beschreven (EASA, 2021). Hierbij is eerst op hoofdlijnen de EASA drone wet- regelgeving uiteengezet (paragraaf 4.1), waarna de raakvlakken met UAM (paragraaf 4.2) zijn beschreven.

4.1 Huidige wetgeving

Drone-operaties zijn in de huidige wetgeving ingedeeld in drie categorieën (Figuur 7), met een toenemend risico, namelijk:

- Open categorie (laag risico);
- Specifieke categorie (hoger risico);
- Gecertificeerde categorie (hoogste risico).



Figuur 7: EASA-categorieën (Dutch Drone Academy, 2021)

Binnen de open categorie vallen de vluchten met het laagste risico. Hierin is onderscheid gemaakt tussen drie subcategorieën; A1, A2 en A3. Respectievelijk gaat het hierbij om het vliegen boven mensen, in de buurt van mensen en verder weg van mensen met elk eisen aan de karakteristieken van de drone. De drone zal in deze categorie altijd in het zicht van de vlieger moeten blijven.

Hoger risico-operaties vallen in de specifieke categorie. Hierbij moet goedkeuring verleend worden waar in Nederland de Inspectie Leefomgeving en Transport (IL&T) verantwoordelijk voor is. Zij keuren een operatie goed of af, op basis van een risicoanalyse. Deze analyse moet de operator uitvoeren, of komt voort uit een standaardscenario of een vooraf gedefinieerde risicobeoordeling. Indien de operator de risicobeoordeling zelf moet uitvoeren, moet een Specific Operations Risk Assessment (SORA) worden gemaakt.

Operaties met het hoogste risiconiveau moeten voldoen aan de eisen binnen de gecertificeerde categorie. Deze eisen zijn nog niet opgesteld door EASA, maar zullen sterk lijken op de regels ten aanzien van de bemande luchtvaart. Daarbinnen valt in ieder geval het certificeren van het luchtvaartuig, de piloot (in geval van automatische vluchten) en de exploitant. EASA stelt dat het transporteren van personen, gevaarlijke goederen zonder speciale containers en het vliegen boven bijeenkomsten direct in de gecertificeerde categorie

valt. De verwachting is dat de wet- en regelgeving ten aanzien van de gecertificeerde categorie effectief wordt vanaf 2025 (EASA, 2021).

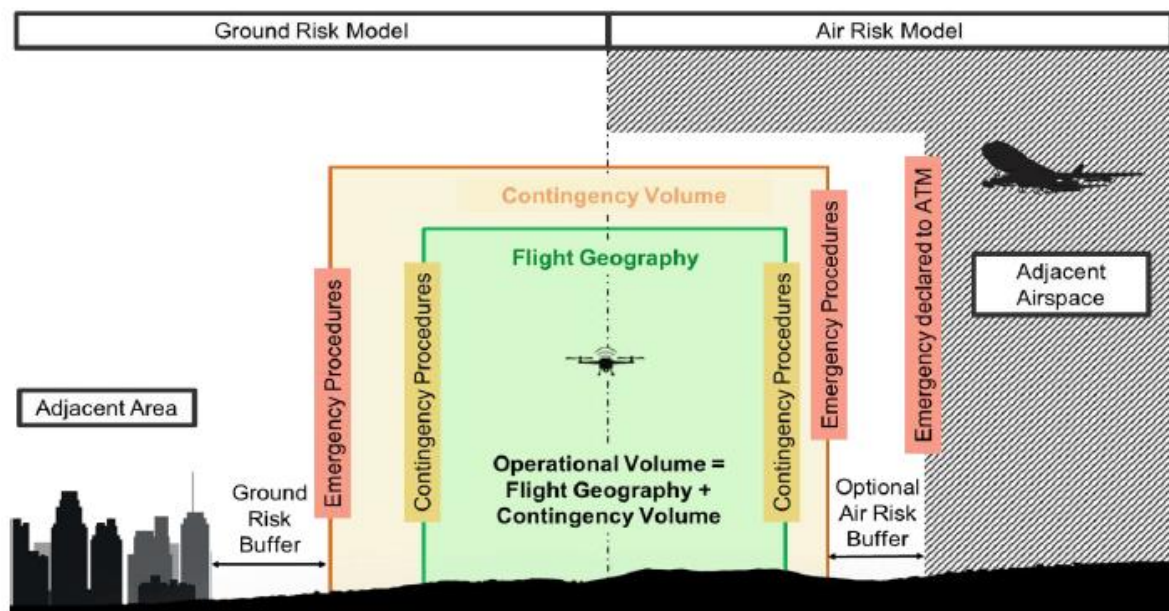
4.2 Raakvlakken met Urban Air Mobility

UAM raakt op twee vlakken het huidige juridisch kader dat is opgesteld door EASA. De SORA-methodiek in relatie tot UAM (paragraaf 4.2.1), en de gecertificeerde categorie (paragraaf 4.2.2) zijn in de onderstaande paragrafen verder beschreven.

4.2.1 Raakvlak met Specific Operations Risk Assessment (SORA)

Vanuit de specifieke categorie kan de SORA worden uitgevoerd om de grond- en luchtrisico's te identificeren en mitigeren. Mitigaties kunnen ook worden toegepast op de vormgeving van de lucht- en/of grondinfrastructuur voor UAM-operaties. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van elementen die gedefinieerd zijn binnen de SORA-methodiek, namelijk:

- Operationeel volume (Figuur 8);
- Luchtrisico.



Figuur 8: Visualisatie van het operationeel volume (EASA, 2021)

De eerste stap van de SORA vereist de relevante technische, operationele en systeem informatie, die nodig is om het risico met de beoogde vluchtuitvoering met het onbemande luchtvaartuig te beoordelen. Een 'Concept of Operation' (ConOps), met andere woorden de concept operatie, zal beschreven moeten worden voor de SORA. In hoofdstuk 3 van deze scriptie zijn onderdelen van een ConOps, die binnen de afbakening van dit project vallen, verwerkt.

De SORA gebruikt het operationele luchtruim als de basislijn om het risico van een botsing in de lucht te evalueren door de Air Risk Class (ARC) te bepalen. Ook voor UAM kunnen de mitigaties van de SORA met betrekking tot het verminderen van het luchtrisico worden toegepast op de luchtinfrastructuur. Een afgesloten stuk operationeel volume kan worden gedefinieerd, met een bijbehorende contingency volume in het geval van nood, waarbinnen eVTOL's onderling gesepareerd worden. Dit worden ook wel corridors genoemd. Binnen de SORA wordt dit gezien als een strategische (voor de vlucht) mitigatie om botsingen in de lucht te voorkomen.

De overige stappen van de SORA omvatten het verminderen van het grondrisico, en het tactisch (tijdens de vlucht) mitigeren van risico's (EASA, 2021). Gezien bij de evaluatie van de

grondrisico's gekeken wordt naar de aanvaring met een persoon, valt dit – en de overige stappen – niet binnen de scope van dit project.

4.2.2 Raakvlak met de gecertificeerde categorie

Ondanks dat EASA nog geen gedetailleerde informatie heeft vrijgegeven met betrekking tot de gecertificeerde categorie, is duidelijk dat UAM binnen deze categorie valt. Binnen deze groep zijn namelijk drie operatie types gedefinieerd (EASA, 2021):

1. Een internationale vlucht met gecertificeerde vrachtdrones uitgevoerd in Instrument Flight Rules (IFR) in een gecontroleerde luchtruimklasse die opstijgen en/of landen op luchtvaartterreinen die onder het toepassingsgebied van EASA vallen.
2. Drone-operaties in stedelijke of landelijke omgevingen met behulp van vooraf gedefinieerde routes in luchtruimten waar U-Space wordt verleend. Dit kunnen zowel vracht- als personenvervoer-operaties zijn.
3. Operaties zoals in operatie 2, maar uitgevoerd met een vliegtuig met een piloot aan boord. Zodra het toestel op afstand wordt bestuurd of autonoom vliegt valt het in operatie-type 2.

De concept operaties zoals gedefinieerd in dit onderzoek zullen beide onder operatie type 2 vallen. Dit betekent dat dit onderzoek geëvalueerd moet worden zodra de wet- en regelgeving voor de gecertificeerde categorie beschikbaar en actief is. Volgens de laatste planning van EASA zal deze wet- en regelgeving eind 2025 actief zijn. Tot die tijd worden de richtlijnen voor de bemande luchtvaart gehanteerd, zoals aanbevolen door EASA (EASA, 2021).

5. Luchtinfrastructuur

Om UAM-operaties in Nederland te integreren in de huidige infrastructuur, wordt in dit hoofdstuk de huidige, en mogelijk toekomstige luchtinfrastructuur beschreven. Allereerst moet daarbij duidelijk worden hoe het huidige (bemande) luchtruim is opgebouwd en wat de bijbehorende kenmerken zijn binnen deze infrastructuur (paragraaf 5.1). Vervolgens is de rol van het toekomstige luchtruim beschreven in relatie tot de integratie van UAM in het luchtruim (paragraaf 5.2).

5.1 Huidige luchtruimindeling

Binnen dit subhoofdstuk zijn de belangrijkste infrastructurele elementen van het huidige luchtruim uiteengezet. Het luchtruim is momenteel onderverdeeld in enkele typen luchtruim, waarbij in deze paragraaf de bijbehorende kenmerken zijn opgesomd (paragraaf 5.1.1). Tot slot is er ingezoomd in de luchtruimindeling rondom luchthavens (paragraaf 5.1.2) gezien dit onderzoek zich richt op de luchtinfrastructuur rondom start- en landingsplekken.

5.1.1 Luchtruimtypen

Het internationale Air Traffic Management (ATM)-concept maakt onderscheid in luchtruimclassificaties, met elk haar eigen karakteristieken. Dit alles is vormgegeven op basis van een set aan regels: Visuals Flight Rules (VFR) en Instrument Flight Rules (IFR). Terwijl VFR berust op visuele referenties gedurende de vlucht, zoals navigatie en separatie, wordt een IFR-vlucht uitgevoerd op basis van de cockpit instrumenten en luchtverkeersleiding ondersteuning (ICAO, 2005). Binnen dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt in drie soort luchtruim:

- Gecontroleerd luchtruim;
- Ongecontroleerd luchtruim;
- Beperkingsgebieden.

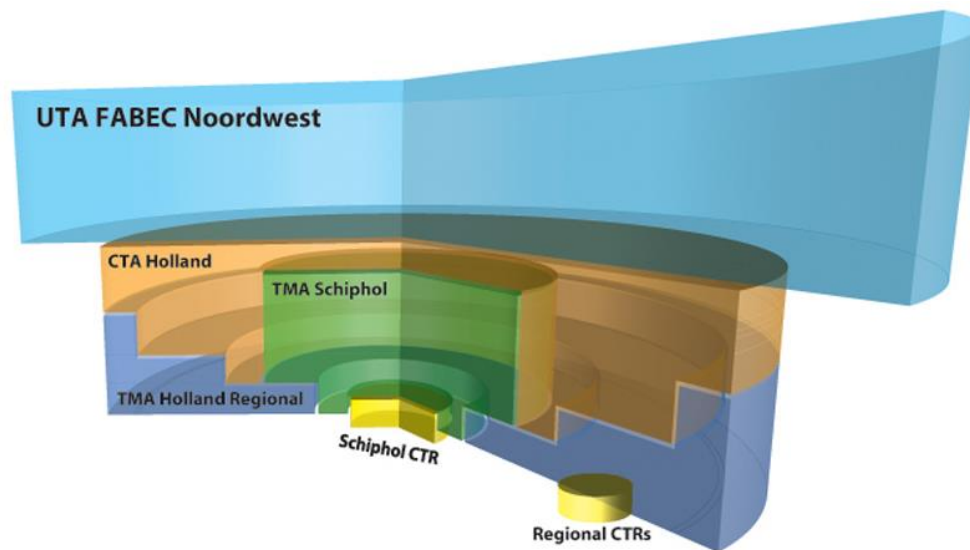
Gecontroleerd luchtruim

Binnen gecontroleerd luchtruim kunnen zich verschillende klassen luchtruim bevinden, zoals in de onderstaande tabel is weergegeven (Tabel 11). Een uitgebreidere kenmerkenlijst per luchtruimclassificatie is te vinden in de bijlage (Bijlage V).

Tabel 11: Luchtruimclassificaties (ICAO, 2001)

Classificatie	Gecontroleerd?	IFR- of VFR-vluchten	Separatie controle
Klasse A	Ja	Alleen IFR	Ja
Klasse B	Ja	IFR en VFR	Ja
Klasse C	Ja	IFR en VFR	Alleen IFR
Klasse D	Ja	IFR en VFR	Alleen IFR
Klasse E	Ja	IFR en VFR	Deels IFR
Klasse F	Nee	IFR en VFR	Nee
Klasse G	Nee	IFR en VFR	Nee

Gecontroleerd luchtruim omvat al het luchtruim waar luchtverkeersleiding (civiel of militair) een verantwoordelijkheid heeft ten aanzien van separatie. Hier bevinden zich diverse categorieën luchtruim, geïllustreerd in Figuur 9, welke – van laag naar hoog – is opgebouwd uit een Controlled Traffic Zone (CTR) rondom luchthavens, en een zogeheten Terminal Manoeuvring Area (TMA), ook wel Terminal Control Area genoemd, welke onderdeel uitmaakt van het lager gelegen naderingsgebied. Daarnaast is er het omringende, algemene luchtruim, de Control Area (CTA), en het hoger gelegen luchtruim, oftewel Upper Control Areas (UTA). Deze laatste zijn niet van toepassing op het onderzoek vanwege de hoogtelimieten van UAM (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Defensie, 2012).



Figuur 9: Illustratie van type gecontroleerd luchtruim (To70, sd)

Zowel horizontale als verticale separatie-instructies worden gegeven door de luchtverkeersleiding in het gecontroleerde luchtruim. Dit geldt dus voor alle vluchten in luchtruimklasse A en B, en alleen voor IFR-vluchten in klasse C, D en E². De verticale separatie tussen luchtvaartuigen bedraagt minimaal 1000 voet (ft) (300 meter (m)) onder een hoogte van 29.000 ft. Voor horizontale separatie is geen algemeen wettelijk minimum gesteld. De bevoegde autoriteit moet voor voldoende laterale separatie zorgen tussen luchtvaartuigen afhankelijk van de omstandigheden en karakteristieken (bijvoorbeeld gewichtsklasse) van de luchtvaartuigen (ICAO, 2016).

Ongecontroleerd luchtruim

Naast het gecontroleerde luchtruim is er het ongecontroleerde luchtruim. Het gaat daarbij in Nederland om klasse G-luchtruim wat dus ongecontroleerd is voor zowel IFR- als VFR-vluchten (Tabel 11). Klasse G-luchtruim in Nederland bevat al het luchtruim tot een hoogte van 1500 ft, met uitzondering van civiele of militaire CTR's (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Defensie, 2012). Binnen dit type luchtruim vinden voornamelijk VFR-vluchten plaats. Daarbij moet vermeld worden dat ook de recreatieve drone-operaties in klasse G, welke niet bekend zijn bij de vlieger en/of een luchtverkeersleidingsinstantie, binnen de open categorie worden uitgevoerd tot een hoogte van maximaal 120 meter (EASA, 2021).

Beperkingsgebieden

Ook kunnen er (tijdelijk) verboden gebieden worden aangewezen door de lokale autoriteiten, of kan een militair luchtruim restricties hebben. Er kunnen *restricted*, *prohibited* of *danger* gebieden zijn waarin het verboden (of beperkt mogelijk) is om te vliegen of er wordt gewaarschuwd voor gevaren. De tijdelijke restricties worden kenbaar gemaakt door een notices to airmen (NOTAMs) waarover de operator moet beschikken (FAA, 2016). Deze gebieden zullen bij het ontwerp van drone-luchthavens ook moeten worden bekeken op eventuele restricties (VNG Realisatie, 2020).

5.1.2 Luchtinfrastructuur rondom luchthavens

Het luchtruim rondom luchthavens wordt allereerst afgebakend van overig – niet-betrokken – luchtverkeer. Daarnaast is het van belang dat obstakels worden vermeden. Beide aspecten komen in de onderstaande paragrafen naar voren.

² Enkele uitzonderingen ten aanzien van speciale vluchten zijn van kracht (ICAO, 2016).

Luchtruim afbakening

Luchtruim rondom gecontroleerde luchthavens wordt aangeduid als CTR. Plaatselijke luchtverkeersleiders zijn daar verantwoordelijk en bij zowel Rotterdam The Hague Airport als Amsterdam Schiphol is de CTR geclassificeerd als klasse C-luchtruim. Binnen de CTR zijn er voor de bemande luchtvaart procedures ten aanzien van de aan- en uitvliegroutes ingesteld. De zogenoemde Standard Instrument Departure Routes (SIDs) en Standard Arrival Route (STARs) zijn de routes die het vliegveld aan een specifiek punten linken om een gestructureerde aankomst en vertrek flow te creëren. Deze routes dienen, indien actief, vrij te zijn van het overige luchtverkeer (ICAO, 2016).

Daarnaast zijn er in Nederland ook ongecontroleerde luchthavens die worden beschermd tegen ander luchtverkeer door middel van een Aerodrome Traffic Zone (ATZ). Over het algemeen is de ATZ een stuk cilindrisch luchtruim vanaf het oppervlak tot een paar duizend voet met een straal van enkele zeemijlen, afhankelijk van de grootte van het vliegcircuït. Normaliter is het middelpunt van de ATZ het luchthavenreferentiepunt (ARP) of het midden van de langste landingsbaan. Op de luchtvaartkaart is hierdoor duidelijk voor ander vliegverkeer dat – zonder de intentie om te landen – het gevaarlijk is om door de ATZ te vliegen (ICAO, 2005; Civil Aviation Authority, 2016).

Obstakelvrije zones

Naast de separatie met ander luchtverkeer moet ook voldoende afstand tussen het toestel en obstakels gewaarborgd worden. Om die reden worden in de bemande luchtvaart obstakelvrije vlakken rondom start- en landingsbanen en heliports ingesteld. In tegenstelling tot helikopters, stijgt een eVTOL langer verticaal op (McIntosh, 2021). Hierdoor neemt het grondoppervlak van de obstakelvrije zone af. Een obstakelvlak kan rondom de start- en landingsplek worden ingesteld, waarbij voldaan moet worden aan de volgende kenmerken:

- Minimaal tot 500 ft boven de elevatie van de start- en landingsplaats (EASA, 2019);
- Minimaal de breedte van het veiligheidsgebied op de grond (EASA, 2019);
- Vorm van het gebied afhankelijk van het vluchtprofiel van de eVTOL.

5.2 De rol van U-Space

Binnen het tweede deel van dit hoofdstuk wordt duidelijk wat de rol van U-Space is bij de integratie met onbemande luchtvaartuigen. Het concept wordt in het eerste deel uitgewerkt (paragraaf 5.2.1), en vervolgens is de luchtruimindeling van U-Space beschreven (paragraaf 5.2.2).

5.2.1 Onderdelen binnen U-Space

U-Space wordt gezien als het nieuwe luchtverkeersleidingssysteem, maar dan voor de onbemande luchtvaart. Het concept van de bemande luchtvaart kan niet in z'n geheel worden overgenomen, gezien dit systeem gebaseerd is op de mens. Dat is juist het aspect wat bij autonome operaties tot een minimum wordt gebracht (EASA, 2021). Het concept gaat verder dan de drie vluchttuitvoering-categorieën, en richt zich voornamelijk op het vliegen buiten het zicht van de piloot, ook wel Beyond Visual Line of Sight (BLVOS) genoemd (European Union, 2021). U-Space is van belang voor de veilige integratie van drones onderling, en voor de integratie met de bemande luchtvaart. Hiervoor zijn de volgende vier onderwerpen de bouwstenen voor het concept:

- Identificatie: een unieke code om inzicht te hebben in de luchtvaartuigen, vergelijkbaar met transponders in de bemande luchtvaart;
- Geobewustzijn: onbemande luchtvaartuigen moeten zich bewust zijn van de omgeving en waar wel of niet gevlogen mag worden;
- Luchtverkeersinformatie: up-to-date informatie is van belang om aan het bovenstaande te voldoen (identificatie en geobewustzijn);
- Vluchtautorisatie: vluchten moeten worden goedgekeurd door het toekomstige U-Space-systeem op basis van de actuele informatie en het vluchtplan.

Deze punten samen vormen een belangrijk deel van U-Space. Daarnaast is infrastructuurtechnisch de inrichting van het luchtruim een volgend punt. Het is een van de belangrijkste uitkomsten van de toekomstige wet- en regelgeving ten aanzien van U-Space. Dit onderdeel is voor dit onderzoek het meest van belang (SESAR Joint Undertaking, 2020; FAA, 2020).

5.2.2 U-Space luchtruimindeling

U-Space richt op het lager gelegen luchtruim, genaamd 'Very Low Level' (VLL) luchtruim, wat gedefinieerd is als het luchtruim onder de minimale veiligheidshoogte. Deze grens ligt op 1.000 ft boven stedelijk gebied en op 500 ft boven het oppervlak in de overige gebieden, uitgezonderd van luchthavens (ICAO, 2005). Met U-Space is het VLL-luchtruim verdeeld in drie typen luchtruimgebieden op basis van de service die wordt gegeven, namelijk X, Y en Z. De drie typen luchtruim X, Y en Z zijn hieronder uiteengezet op basis van de ConOps van Eurocontrol en SESAR (SESAR, 2019; FAA, 2020) en gevisualiseerd in Figuur 10.

Luchtruim X

In luchtruimklasse X wordt geen service geboden voor het oplossen van conflicten tussen luchtvaartuigen. Binnen deze klasse is het mogelijk om Visual Line Of Sight en Extended VLOS (EVLOS) te vliegen waarbij de dronepiloot verantwoordelijk is in het geval van aanvaringen.

Luchtruim Y

Klasse Y luchtruim biedt daarentegen voorafgaand aan de vlucht conflictoplossingsservice. Dit betekent dat er een goedgekeurd vlucht-/operatieplan nodig is alvorens de vliegoperatie wordt uitgevoerd. Binnen deze klassen zijn naast VLOS- en EVLOS-operaties, ook BLVLOS-operaties mogelijk.

Luchtruim Z

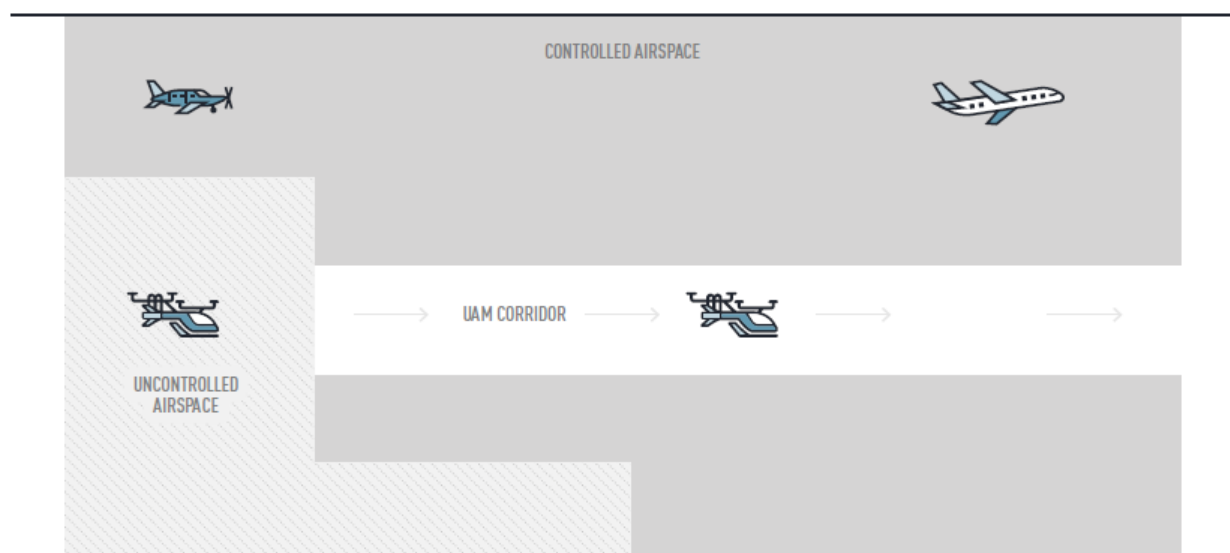
In klasse Z wordt er zowel voorafgaand aan de vlucht, als tijdens de vlucht conflictoplossingsservice aangeboden. Binnen de Z-klasse is er nog een verdeling tussen Za en Zu, waarbij Za gecontroleerd wordt door ATM en Zu in U-Space. Dit betekent dat klasse Za luchtruim al beschikbaar is met behulp van luchtverkeersleiders, en dat U-Space berust op de technologische ontwikkelingen zoals 'Detect and Avoid' voor onderlinge separatie.



Figuur 10: Toepassing luchtruim types X, Y en Z in huidige luchtruimindeling (SESAR, 2019)

Om UAM-operaties in gecontroleerd luchtruim mogelijk te maken kan het gebruik van Zu-corridors een rol spelen (Airseivices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020). Dit werd ook voorgesteld als mitigatie voor het luchtrisico in de SORA, zoals vermeld in paragraaf 4.2.1. Hetzelfde onderzoek benoemt de voordelen van een U-Space corridor ten aanzien van het gestructureerd laten verlopen, door bemand en onbemand luchtverkeer gescheiden te houden, van de klim- en dalingsfase. Daarnaast zou het gebruik van corridors ervoor zorgen dat de luchtverkeersleiding geen tactische separatie (tijdens de vlucht) service hoeft te bieden (FAA, 2020) doordat onbemande toestellen onderling – binnen de corridor – gesepareerd worden (bijvoorbeeld door ‘Detect and Avoid’-systemen). Deze corridors zijn dan uitsluitend bedoeld voor het gebruik van UAM-verkeer dat gescheiden is van andere luchtruim-gebruikers (Figuur 11). Dit kan daarom zowel in de kruishoogte fase van toepassing zijn als binnen de vertiport transition zone. Hier moeten aankomst- en vertrekprocedures worden gedefinieerd, met daarbij ook mogelijke uitwijkroutes, vergelijkbaar met doorstart-procedures in de bemande luchtvaart (LVNL, Bijlage VI).

Bij het definiëren van de corridor moet rekening gehouden worden met het operationeel volume. De geplande routecorridors moeten omgeven worden door een omringende contingency zone van minimaal 10 meter (EASA, 2021), oftewel een zone waarbij in onvoorziene omstandigheden naar uitgeweken kan worden. Samen vormt dit het operationeel volume wat onderdeel is van de UAM-corridor in de lucht.



Figuur 11: UAM corridor in gecontroleerd luchtruim (Airseivices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020)

6. Grondinfrastructuur

Om commerciële eVTOL-operaties mogelijk te maken is naast de luchtinfrastructuur ook een bijpassende grondinfrastructuur nodig. In dit hoofdstuk wordt daarom eerst de drone-luchthaven besproken (paragraaf 6.1). In het tweede deel van dit hoofdstuk zijn daarna per infrastructureel element de eisen aan de vormgeving beschreven (paragraaf 6.2).

6.1 Het ontwerp van een drone-luchthaven

Binnen dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen een *vertiport* en *vertistop*, wat wordt toegelicht in de onderstaande paragraaf (paragraaf 6.1.1). Op basis daarvan is beschreven uit welke infrastructuur een drone-luchthaven bestaat en waar het aan moet voldoen (paragraaf 6.1.2).

6.1.1 Vertiports & vertistops

Voor drone-luchthavens worden verschillende termen gebruikt, waarbij dit onderzoek vertiports en vertistops hanteert. Het verschil is dat vertiports als grotere hubs gebruikt kunnen worden met daarbij de benodigde faciliteiten (start- en landingsplek, parkeerplek, laadfaciliteit en onderhoud), terwijl vertistops bedoeld zijn voor een enkele eVTOL met enkel een start- en landingsplek (Uber Elevate, 2016). Net als bij het aanleggen van andere transportinfrastructuur, is de locatie, grootte en vorm van de grondinfrastructuur voor eVTOL's afhankelijk van de omvang van de eVTOL-operaties – en dus of een vertiport of vertistop benodigd is (International Transport Forum (ITF), 2021). Verschillende instanties publiceren daarom diverse mogelijke locaties voor het bouwen van een dergelijke drone-luchthaven. Er wordt gekeken naar de mogelijkheid tot het gebruik van bestaande heliports, en op de daken van gebouwen of parkeergarages (Figuur 12). Onderzoek van NASA (Antcliff, Moore, & Goodrich, 2016) toont ook de mogelijkheid tot het bouwen van een vertistop bij toe- en afritten van de snelweg in het geval van drop-off locaties (Figuur 13).



Figuur 12: Mogelijke vertiport-locatie (Lilium, 2020)



Figuur 13: Mogelijke vertistop-locatie (Antcliff, Moore, & Goodrich, 2016)

Gezien de beperkte stedelijke ruimte, is het bouwen van meerdere start-, landing- en parkeerplaatsen voor eVTOL's vaak niet haalbaar. Om die reden is het belangrijk om naar verschillende landingsplatform-configuraties te kijken, afhankelijk van de reeds bestaande bereikbaarheid, milieuruimte, functionaliteit, eisen (bijvoorbeeld verzekeringstechnische) en de locatie (Lineberger, Hussain, Metcalfe, & Rutgers, 2019; International Transport Forum (ITF), 2021).

6.1.2 Eisen ten aanzien van vertiport en vertistops

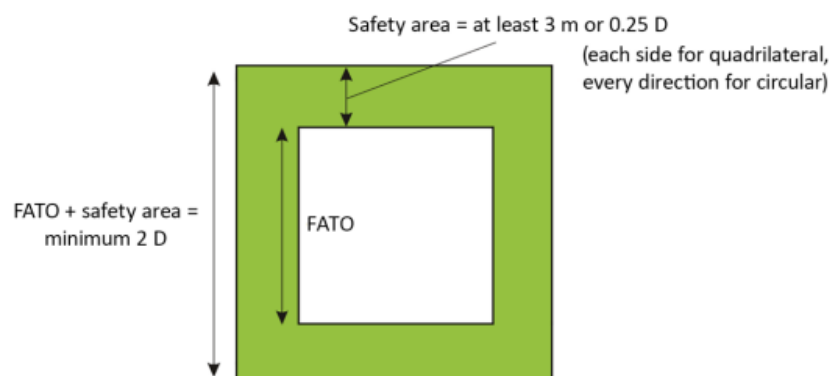
Onbemande luchtvaartuigen kunnen niet de transporttijden en emissies verminderen zonder een degelijke UAM-infrastructuur, waaraan eisen worden gesteld (Lineberger, Hussain, Metcalfe, & Rutgers, 2019). Een eerste ontwerp kan gebaseerd worden op de huidige wet- en regelgeving³ ten aanzien van helikopterplatforms (Antcliff, Moore, & Goodrich, 2016). Momenteel is dit de meest vergelijkbare bestaande infrastructuur (King, 2021), wat echter in de toekomst wel problemen op kan leveren. De karakteristieken van de heliports zijn namelijk gebaseerd op het ontwerp van een helikopter en daarnaast ook de performancekarakteristieken, welk nog voor de eVTOL tijd stamt. Zelfs als het onderzoek destijds met de nieuwste helikopters en technologie was gedaan, is het onderzoek verouderd gezien de ontwikkelingen van eVTOL's (Alexander, 2020). Daarnaast zijn heliports ontwikkeld voor zwaardere luchtvaartuigen die in een lagere frequentie vliegen (Kysely, 2019). In deze fase, met minimale gegevens ten aanzien van vertiport-ontwerpen op gebied van UAM, en dus in deze scriptie, zal echter wel de huidige helikopter wet- en regelgeving als kader worden gebruikt.

6.2 Vormgeving van de infrastructurele faciliteiten

In de volgende paragrafen zijn de belangrijkste eisen aan de elementen en faciliteiten van een vertiport of vertistop beschreven. Het hoofdstuk bestaat uit de start- en landingsfaciliteiten (paragraaf 6.2.1) met bijbehorende eisen aan de taxibaan (paragraaf 6.2.2) en parkeerfaciliteit (paragraaf 6.2.3) om de dimensies van een vertiport of vertistop in een later stadium te bepalen. Daarnaast komen de laad- (paragraaf 6.2.4) en onderhoudsfaciliteiten (paragraaf 6.2.5) aan bod. Tot slot is gekeken naar de inpasbaarheid van de infrastructuur in de omgeving (paragraaf 6.2.6).

6.2.1 Start- en landingsfaciliteiten

De start- en landingsplekken kunnen hetzelfde worden vormgegeven als bestaande helikopterplatforms. Het start- en landingsgebied moet bestaan uit een zogeheten Final Approach and Take-Off-gebied (FATO) en een veiligheidsgebied (groen gemarkeerd), zoals afgebeeld in Figuur 14. Dit veiligheidsgebied mag ook bestaan uit een onverharde ondergrond. Voorheen moest dit gebied een minimale lengte en breedte hebben van één rotordiameter voor helikopters. Door het gebruik van meerdere rotoren kon het gebied echter (te) klein zijn. Om die reden is het minimum oppervlak van de TLOF, de "tip-to-tip" spanwijdte van in dit geval een eVTOL (Vascik & Hansman, 2019). Het uiteindelijke gebied waar de eVTOL vanaf start en land is het Touchdown en Liftoff-gebied (TLOF). De TLOF moet zich moet zich binnen de FATO bevinden om te voldoen aan de internationale richtlijnen (EASA, 2019; ICAO, 2013).



Figuur 14: Start- en landingsplek helikopterplatform (EASA, 2019)

³ Bijbehorende wet- en regelgeving: EASA CS-HPT-DSN, FAA AC 150/5390-2C en ICAO Annex 14 Volume 2.

De eisen met betrekking tot de afmetingen aan de FATO zijn in de huidige wet- en regelgeving afhankelijk van de performance klasse van de helikopter. Er zijn drie typen klassen gerelateerd aan de gevolgen van een motorstoring en de bijbehorende oplopende risico's:

1. Helikopters in klasse 1 hebben het laagste risico in het geval van een motorstoring. Normaliter kan de vlucht veilig worden vervolgd;
2. Helikopters vallen in klasse 2 als een kritieke motor uitvalt en de prestaties nog dusdanig zijn dat de helikopter door kan vliegen, met uitzondering van de start- en landingsfase;
3. Voor klasse 3 geldt dat een motorstoring in elke vluchtfase een noodlanding vergt (EASA).

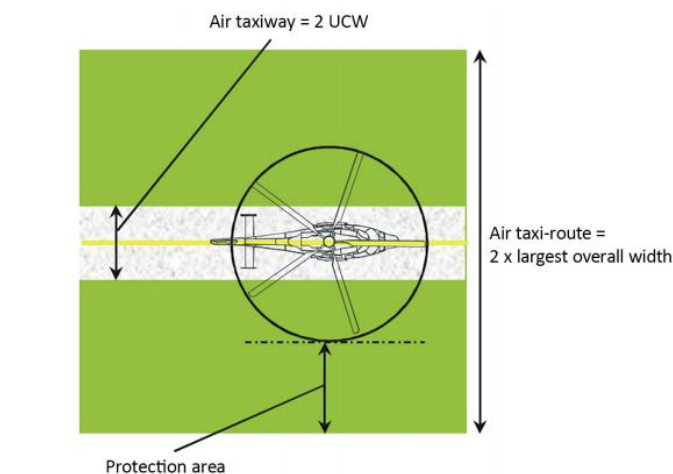
Voor helikopters in klasse 1 (beste prestaties ten aanzien van eenmotorige operaties) geldt dat de gehanteerde afmetingen uit het operationeel handboek van de helikopter gebruikt kan worden, waarbij wel minimaal de 'tip-to-tip' spanwijdte gehanteerd moet worden (EASA, 2019). Voor performance klasse 2 en 3 helikopters gelden de volgende eisen die in dit rapport zijn gehanteerd⁴:

- Minimale afmetingen FATO (performance klasse 2 en 3): 'tip-to-tip' spanwijdte met veiligheidsfactor afhankelijk van de gewichtsklasse;
- Minimale afmetingen veiligheidsgebied: minimaal 3 meter of 0,25 'tip-to-tip';
- Maximale helling TLOF: 2%;
- Maximale gemiddelde helling FATO: 3% (lokaal niet meer dan 5%).

Daarnaast zal voldaan moeten worden aan alle richtlijnen ten aanzien van verlichting en markering (EASA, 2019). Binnen dit project wordt aangenomen dat dit aanwezig is bij een start- en landingsplek.

6.2.2 Taxibanen

De eisen ten aanzien van taxibanen binnen de helikopter wet- en regelgeving hangen af van het type operatie; vliegend taxiën of rijdend taxiën (EASA, 2019). Meerdere onderzoeken (Vascik & Hansman, 2019; Uber Elevate, 2016) bevelen taxiën over de grond aan om grote vertiport-operaties mogelijk te maken. Taxibanen op de grond vereisen namelijk een kleiner oppervlak (veiligheidsfactor 1,5 in plaats van 2). Daarbij moet echter de kanttekening geplaatst worden dat niet alle eVTOL's uitgerust zijn met een landingsgestel met wielen. Voor de vormgeving wordt de breedte van het onderstel (UCW) gehanteerd als richtlijn, zoals te zien is in de onderstaande afbeelding waarin de eisen van luchttaxibanen zijn afgebeeld (Figuur 15).



Figuur 15: Luchttaxibaan helikopter dimensie eisen (EASA, 2019)

⁴ Er wordt in dit onderzoek aangenomen dat zowel de Volodrone als de Lilium Jet in Performance Class 2 of 3 zouden vallen. Hier ontbreekt de informatie voor.

Uit de hierboven genoemde elementen komen de volgende eisen voort:

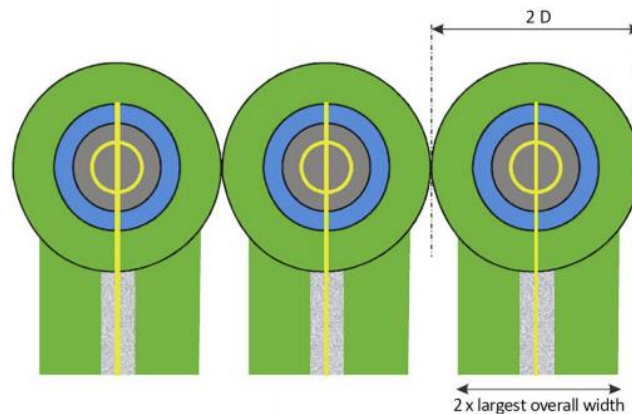
- Maximale helling grondtaxibanen: 3%;
- Maximale helling luchttaxibanen: 10%;
- Minimale grondtaxibaan breedte: 1,5 UCW;
- Minimale luchttaxibaan breedte: 2 UCW.

Ook voor de taxibanen zijn richtlijnen gesteld ten aanzien van verlichting en markering (EASA, 2019). Binnen dit project wordt aangenomen dat dit aanwezig is.

6.2.3 Parkeerfaciliteiten

Voor een vertiport is een start- en landingsfaciliteit voldoende zijn, maar een vertiport beschikt over meerdere parkeerfaciliteiten ('gates') voor eVTOL's. Hierbij wordt aangenomen dat gates gebruikt worden voor de afhandeling van vracht of passagiers.

Er moet een minimaal obstakelvrij gebied zijn voor het manoeuvreren van de helikopters, waarbij het overzicht in Figuur 16 geldt voor gelijktijdige operaties. Hierbij zijn grotere veiligheidsmarges van kracht, en mogen de gates elkaar niet overlappen. Hierdoor neemt het oppervlak toe in vergelijking tot een niet-gelijktijdige operatie. Daarnaast wordt het door EASA afgeraden om standplaatsen onder aan- of uitvliegroutes te plaatsen (EASA, 2019).



Figuur 16: Helikopter standplaats voor gelijktijdige operaties (EASA, 2019)

Uit de EASA-wetgeving volgen de hieronder opgesomde eisen:

- Minimale breedte: 2 keer 'tip-to-tip';
- Maximale helling: 2%.

Daarnaast moeten de parkeerfaciliteiten voldoen aan de voorschriften ten aanzien van verlichting en markeringen (EASA, 2019).

6.2.4 Laadfaciliteiten

Onderdeel van de faciliteiten binnen een vertiport is de mogelijkheid tot het opladen van de accu's van de eVTOL's. Uit het literatuuronderzoek komen twee mogelijke laadfaciliteiten naar voren:

- Snelladers aan de gate;
- Het batterijwisselsysteem.

Snelladers

Om de *turn around time (TAT)* van een eVTOL zo laag mogelijk te houden wordt de mogelijkheid tot het gebruik van het *super charger*-model van Tesla aangekaart (Uber Elevate, 2016). Daar zitten een aantal beperkingen aan. De levensduur van de batterij moet namelijk ook meegenomen worden in het totaalplaatje (Scerri, 2020). Hierin zou een super charger-model mogelijk effect kunnen hebben. Tesla-superladers gebruiken namelijk een slim

laadsysteem met hoge spanning dat nauwlettend de batterij in de gaten houdt om schade te voorkomen. Als de batterij (te) snel wordt opgeladen kan er schade ontstaan die de levensduur van de batterij mogelijk verkort. Dit principe zal, voor een optimale levensduur, dus ook beschikbaar moeten zijn bij snelladers aan de gate van een vertiport.

Batterijwisselsysteem

Voor (nog) kortere omdraaitijden kan ook gekeken worden naar het wisselen van batterijen (Figuur 17) waardoor een nieuwe vlucht binnen enkele minuten klaar is om te vertrekken. Ook hier zijn echter weer kanttekeningen bij te plaatsen. Het zorgen voor een juiste verdeling van batterijen over alle vertiports is een vereiste, waarvoor transport van batterijen tussen vertiports nodig is. Daarnaast zijn batterijen een grote kostenpost, en het gebruik van meerdere batterij-sets per eVTOL zou een aanzienlijke extra kostenpost zijn. Verzekeringstechnisch zijn er ook nog overwegingen op het gebied van brandveiligheid, wat benoemd werd tijdens het interview met Achmea (Achmea, Bijlage VII). Tenslotte zitten er certificeringsuitdagingen aan het steeds opnieuw bevestigen van een accu, gezien de batterij als vlucht kritisch component wordt beschouwd (Volocopter, sd; Uber Elevate, 2016).



Figuur 17: Accu-wissel mogelijkheid (Volocopter)

Geschat wordt dat de capaciteit van de laders 600 kilowatt (kW) moet zijn (Black & Veatch). Het onderzoeksbureau adviseert te kiezen voor 600 kW laders om in te spelen op de toekomstige ontwikkelingen. Een nieuw aan te leggen vertiport, waar dus momenteel niets aanwezig is, zal dus moeten worden gebouwd met de 600 kW laders.

Nieuwe elektrische grondinfrastructuur zal moeten worden geïnstalleerd met laadstations, aansluiting op het elektriciteitsnet, ondergrondse bekabeling naar elk laadstation en verlichting (zowel voor gebouwen als op de landingszone en taxibanen). Een uitdaging voor het grootst uitrollen van zulke laadfaciliteiten is de capaciteit van het elektriciteitsnet (NATA, 2019; EASA, 2021). Netbeheer Nederland (Netbeheer Nederland, 2021) onderbouwt deze uitdaging in Nederland. Zij stellen dat de snelgroeiende vraag naar transportcapaciteit in bepaalde delen van Nederland een wachtrij oplevert van gebruikers. Zij kunnen niet allemaal tegelijk toegelaten worden op het elektriciteitsnet wat in piektijden problemen kan opleveren. Het gebruik van een Battery Energy Storage System (BESS) infrastructuur biedt voor dit probleem mogelijk een uitkomst (Black & Veatch; Environmental and Energy Study Institute, 2019). De energie wordt dan opgeslagen en verbruikt op piekuren. Het vermogen (in piekuren) is daarbij afhankelijk van de capaciteit van de vertiport.

Samengevat volgt dat 600 kW laders benodigd zijn voor het laden van accu's. Daarbij kan gekozen worden voor snelladers aan de gate, of het wisselen van de batterijen met bijbehorende opslag in een brandveilige omgeving. BESS-infrastructuur kan daarnaast overvloedige energie opslaan die gebruikt kan worden in piektijden.

6.2.5 Onderhoudsvoorzieningen

Naast de operationele voorbereidingen voor een vlucht, moeten eVTOL's ook op regelmatige basis – of bij een defect – onderhouden worden. Terwijl het motoronderhoud minder complex

wordt vanwege de elektrische aandrijving, kan de hoeveelheid slijtage aan het toestel zelf toenemen vanwege het lager vliegen en de vele cycli (Brown, Ahmed, Das, & Anderson, 2020). Al met al schat Uber (Uber Elevate, 2016) echter een halvering van de onderhoudskosten in vergelijking met de bestaande lichte helikopters. Het onderhoud kan op twee verschillende manieren worden vormgegeven:

- On-site reparaties (op de vertiport);
- Externe reparaties (op bestaande onderhoudscentra bijvoorbeeld).

On-site

Voor on-site reparaties zal ruimte gemaakt moeten worden om eVTOL's te onderhouden, vergelijkbaar met een hangaar plaats in de huidige luchtvaart. Deze voorziening zal mede de capaciteit en fysieke voetafdruk van een vertiport bepalen. In het geval van een vertistop zal er niks aanwezig zijn. Bij storingen of mankementen zal er dus onderhoudspersoneel (en eventueel onderdelen) moeten worden gestuurd richting de vertistop-locatie (Uber Elevate, 2016).

Extern

Een andere oplossing is het overvliegen van eVTOL's naar externe onderhoudslocaties (bijvoorbeeld bij bestaande luchthavens), waarbij in het geval van acuut onderhoud veelvoorkomende componenten aanwezig zijn op een vertiport (Baur, Schickram, Homulenko, Martinez, & Dyskin, 2018). Hierdoor vindt alleen het zogenoemde line maintenance⁵ op de vertiport plaats, en zal groter onderhoud op externe locaties worden uitgevoerd. Dit concept zorgt ervoor dat vertiports ook in dichtbevolkte gebieden kunnen worden aangelegd, door de kleinere fysieke voetafdruk. Dit is de meest wenselijke oplossing, waarbij alleen noodzakelijk onderhoud gedurende het turn around proces – of 's nachts - wordt uitgevoerd (FAA, 1996). Dit kan dan voorzien worden met slechts een opslag voor componenten. Indien het niet mogelijk is om te vliegen met een bepaald defect component (zowel bij een vertiport als vertistop), zal onderhoudspersoneel naar locatie moeten worden gebracht.

Binnen dit onderzoek zal de laatste optie worden meegenomen om de fysieke voetafdruk van een vertiport zo gering mogelijk te houden. Een onderhoudsopslag zal dus aanwezig moeten zijn als faciliteit op een vertiport.

6.2.6 Ruimtelijke inpasbaarheid

De realisering van een vertiport of vertistop kan mogelijk worden gemaakt in een nieuw bestemmingsplan of door het verlenen van een omgevingsvergunning voor afwijking van het bestemmingsplan. Een vertiport of vertistop heeft vanzelfsprekend een sterke relatie met de vliegbewegingen van drones. De vliegbewegingen zelf worden echter – net als de vliegbewegingen van vliegtuigen of helikopters – niet geregeld in een bestemmingsplan. Voor een nieuw bestemmingsplan of een omgevingsvergunning voor afwijking van het bestemmingsplan is dan ook de ruimtelijke inpasbaarheid van de vertiport/vertistop zelf van belang, waarbij de hoeveelheid en de aard van de vliegbewegingen invloed heeft op de omvang van de effecten en de eventuele hinder (Antea Group, 2021).

Naast de ruimtelijke aspecten die in de analyse worden behandeld, zijn ook verschillende milieuaspecten van belang. Deze belangen zullen moeten worden meegenomen bij het daadwerkelijk aanleggen van een vertiport of vertistop. De belangrijkste aspecten voor de realisering van vertiports of vertistops zijn voor Antea (Antea Group, 2021) op dit moment:

- **Mobiliteit:** Een vertiport/vertistop heeft een verkeersaantrekkende werking. Er dient aandacht te worden besteed aan bereikbaarheid van de locaties en aan de parkeerbehoefte.

⁵ Line maintenance omvat het onderhoud dat vóór de vlucht wordt uitgevoerd, buiten de hangaar, om ervoor te zorgen dat de eVTOL vluchtklaar is (EASA Part 145).

- **Akoestiek:** Voor de inpasbaarheid van vertiports/vertistops spelen akoestische aspecten een belangrijke rol. Bij (reguliere) luchthavens worden in het Luchthavenbesluit toetspunten voor geluid vastgelegd, wat zich vertaalt in akoestische beperkingengebieden die rond de luchthaven liggen.
- **Veiligheid:** Luchtvaart is een risicovolle activiteit. Bij (reguliere) luchthavens worden in het Luchthavenbesluit beperkingengebieden vastgelegd waar restricties gelden voor de vestiging van (beperkt) kwetsbare objecten.
- **Natuur:** Op grond van wet- en regelgeving is op het gebied van de bescherming van natuur enerzijds de bescherming van soorten van belang en anderzijds de bescherming van gebieden. Toetsing van effecten op beschermde gebieden (Natuurnetwerk Nederland en Natura 2000) is daarom van belang.

7. De rol van infrastructuur op sociale acceptatie

Lucht- en grondinfrastructuur kan zowel positief als negatief bijdrage aan de omgeving. Om dit te onderzoeken is allereerst op basis van literatuur onderzocht wat de grootste zorgpunten zijn met betrekking tot de sociale acceptatie van eVTOL's (paragraaf 7.1). Vanuit hier is gekeken naar de invloeden van de benodigde infrastructuur (paragraaf 7.2). Binnen de Dutch Drone Delta wordt op het moment van schrijven een uitgebreider onderzoek uitgevoerd naar de sociale acceptatie van UAM. De uitkomsten hiervan worden in de zomer van 2021 verwacht.

7.1 Potentiële zorgen

Op basis van Duitse onderzoeken (Eibfeldt H. , 2020; Eibfeldt, et al., 2020) blijkt dat de helft van de ondervraagden positief tegenover de komst van drones en luchttaxi's staat. Dit onderschrijft onderzoek van NASA (Hasan, 2018) bij meer dan 2500 personen in de Verenigde Staten. Hierin zijn echter nog wel factoren waar men zich zorgen over maakt. Criminaliteit (91%) en privacy (86%) staan bovenaan het lijstje van zorgen, maar er zijn meerdere onderwerpen. Zo maakt bijna driekwart van de ondervraagden zich zorgen over de veiligheid, en is meer dan de helft bezorgd over geluidsoverlast (Eibfeldt H. , 2020). Onderzoek van EASA concludeert ook dat geluid als belangrijke zorg wordt gezien (EASA, 2021). Ook een studie van vliegtuigfabrikant Airbus (Yedavalli & Mooberry, 2019) laat zien dat bijna de helft van de 1500 ondervraagden zorgen heeft over geluid, waar uit een ander onderzoek blijkt dat dit vooral geldt in gebieden waar meerdere eVTOL's zich bevinden (Shaheen, Cohen, & Farrar, 2021).

NASA heeft daarbij onderscheid gemaakt in de vijf hoofdcategorieën van potentiële zorgen, welke ook benoemd worden door Uber (Uber Elevate, 2016; Hasan, 2018):

- Veiligheid: zorgen over de technologie rondom autonome vluchten;
- Privacy: privacy zorgen, maar veel onwetendheid over de bijbehorende technologie;
- Werkzekerheid: zorgen over het overnemen van banen door autonomie;
- Bedreigingen voor het milieu: batterij-afval, impact op de natuur en zorgen over de energie;
- Geluid en visuele perceptie: zorgen over geluid en visuele stoornissen.

Deze zorgen komen het meest naar boven gedurende de nacht. Minder dan de helft van ruim achthonderd personen accepteert het niet als eVTOL's 's nachts boven hun huis vliegen (Infas Instituut, 2018). Ook uit een studie van Airbus volgt dat het tijdstip van een eVTOL vlucht in de top 5 van potentiële zorgen staat (Airbus, 2019). Daarnaast wordt het geluid van de start- en landing door 48% van bijna vierduizend respondenten als zorgelijk gezien (EASA, 2021).

7.2 Invloed infrastructuur op de sociale acceptatie

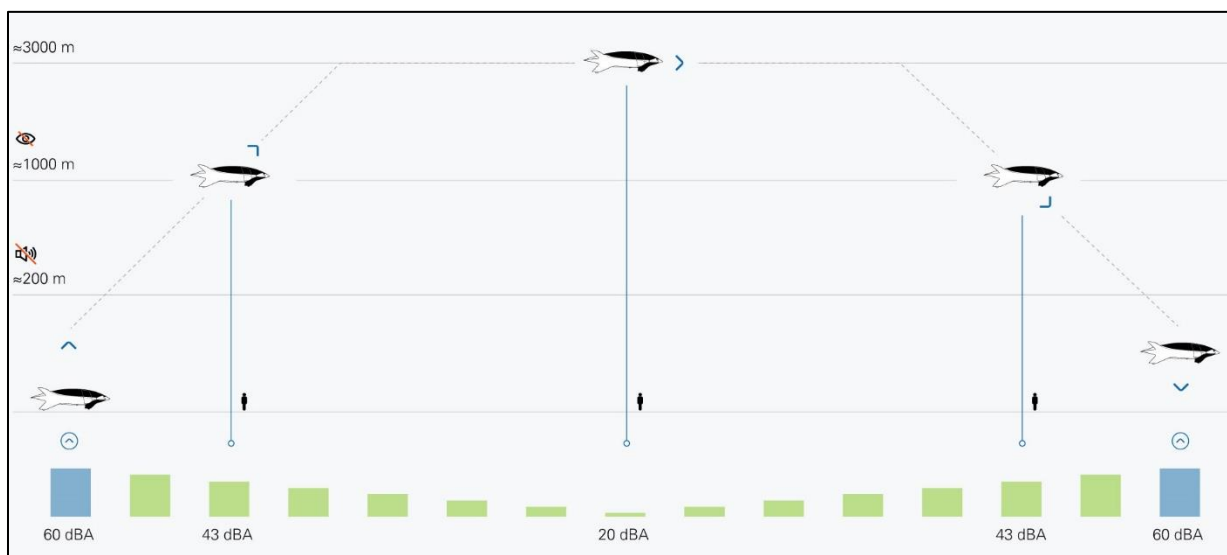
Uit de onderzoeken kan geconcludeerd worden dat geluid op gebied van infrastructuur de grootste rol speelt. Ook visuele perceptie wordt aangekaart, maar is niet de belangrijkste factor. De UAM-infrastructuur kan in beide gevallen een positieve (paragraaf 7.2.1) of negatieve (paragraaf 7.2.2) rol spelen. Deze twee kanten zijn in de volgende paragrafen bekeken.

7.2.1 Positieve invloeden

Infrastructureel gezien kunnen luchtcorridors potentieel geluidsoverlast en de visuele overlast reguleren (Airsevice Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020). Dit kan zowel

rondom de vertiport als op kruishoogte, waarbij minimale vlieghoogtes een aanvullende rol kunnen spelen, wat voornamelijk geldt in dichtbevolkte omgevingen (FAA, 2004). De locatie van een vertiport of corridors kan daarnaast positief effect hebben op de overlast. Een mogelijke optie die wordt aangedragen (Eibfeldt, et al., 2020; Antcliff, Moore, & Goodrich, 2016) is het UAM-verkeer zoveel mogelijk via bepaalde routes langs bestaande infrastructuur, zoals spoor- of snelwegen te leiden. Het plaatsen van vertiports rondom grote openbare wegen geeft de mogelijkheid om over deze wegen te naderen en te vertrekken, waardoor er bij locaties met relatief veel transportgeluid laag wordt gevlogen. Een andere mogelijkheid is de grondinfrastructuur bij huidige transport hubs te plaatsen zoals treinstations (Creighton, et al., 2020). Hiermee kunnen delen van het probleem worden opgelost, maar in stedelijke omgeving blijven problemen zich (in mindere mate) voordoen. Daar kunnen geluidsmuren een oplossing zijn om het geluid tot 10 decibel te verminderen (McIntosh, 2021) naar een geluidsniveau richting de richtlijn voor luchtvaart van 45 decibel (World Health Organization, 2018).

In de onderstaande figuur (Figuur 18) zijn op basis van de technologie van Lilium, de geluidseffecten, en de visuele perceptie van de Lilium Jet te zien. Hieruit blijkt dat tijdens de start- en landingsfase de eVTOL de geluidsnorm overschrijdt. Daarnaast zou het toestel een hoogte circa één kilometer (3300 ft) niet meer zichtbaar moeten zijn.



Figuur 18: Geluid en perceptie van de Lilium Jet afgezet tegen het vluchtprofiel (McIntosh, 2021)

7.2.2 Negatieve invloeden

Naast de positieve gevolgen van luchtcorridors, kunnen deze ook negatieve invloed hebben gezien omwonende rondom de corridor extra geluidshinder (kunnen) ervaren. Een zorgvuldige inrichting is daarbij nodig om de positieve effecten naar voren te laten komen (Airservices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020; Eibfeldt, et al., 2020).

Wat betreft de grondinfrastructuur geeft de plaatsing van een vertiport in bewoonde omgeving potentiële visuele overlast door een toenemende bebouwing – wat ook geldt voor het plaatsen van geluidsmuren.

Sectie II – Analyse



8. Benodigde infrastructuur

Fase 2.1 van de analyse omvat een inventarisatie van de benodigde infrastructuur op basis van de verkregen informatie uit het theoretisch kader. In dit hoofdstuk is de benodigde luchtinfrastructuur (paragraaf 8.1) beschreven en per locatie de bijbehorende grondinfrastructuur (paragraaf 8.2) uiteengezet.

8.1 Benodigde luchtinfrastructuur

Voor het uitvoeren van UAM-vluchten rondom vertiports of vertistops is een bijbehorende luchtinfrastructuur nodig. Binnen dit deel wordt gekeken naar het afbakenen van het luchthavengebied (paragraaf 8.1.1) en het instellen van aan- en uitvliegroutes met bijbehorende obstakelvrije vlakken (paragraaf 8.1.2).

8.1.1 Luchthavengebied

Uit het oriënterende interview met LVNL (Bijlage VI) komen twee opties naar voren om het luchthavengebied af te bakenen van het overige luchtverkeer:

- Het instellen van een ATZ;
- Het instellen van een U-Space-luchtruimklasse Y of Zu (Airservices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020).

Het gebruik van U-Space, dat gebaseerd is op een hoge mate van automatisering (SESAR Joint Undertaking, 2017), rondom een vertiport past goed in de toekomstige infrastructuur in combinatie met het uitvoeren van autonome vluchten. Binnen de huidige luchtruim klasse (klasse C in een CTR of G in ongecontroleerd luchtruim) zal daarom een U-Space klasse moeten komen. Hierbij moet de keuze gemaakt worden tussen klasse Y of Zu.

Deze keuze hangt af van het type luchtverkeer dat in het gebied (grotendeels) aanwezig is. Dit kan zowel VFR- als IFR-verkeer zijn. Daarnaast weegt de flexibiliteit van het luchtruim mee voor de capaciteit van het gebied. In Y-luchtruim zijn de gebruikers zelf verantwoordelijk voor separatie, middels het op de hoogte zijn van de positie van anderen. Dit stelt eisen aan de gebruikers (ook bemande luchtvaart), maar er is meer flexibiliteit doordat geen toestemming nodig is. In tegenstelling tot klasse Y, gelden er voor klasse Zu strengere eisen waardoor er minder flexibiliteit is en minder capaciteit gezien er separatie-normen worden gesteld.

Met deze criteria is gekeken welke klasse het best aansluit bij het huidige (bemande) en toekomstige luchtverkeer. Hieruit kan worden geconcludeerd dat klasse Y-luchtruim in de huidige klasse G-luchtruim - met vooral VFR-verkeer – de beste optie is. Zu past daarentegen beter bij een gecontroleerd gebied waarbij meer IFR-verkeer wordt verwacht. Zu-luchtruim kan echter ook van meerwaarde zijn in bepaalde ongecontroleerde gebieden, zoals boven een stedelijke omgeving waar het grondrisico hoger is (LVNL, Bijlage VI). Tabel 12 somt de luchtruimklassen op per locatie van de concept operaties.

Tabel 12: Benodigde luchtruimklasse per locatie

Luchtinfrastructuur	Vertiport		Vertistop	
	Distributiecentrum	Verzorgingsplaats	Transferium	Carpoolplaats
Huidige klasse	C	G	C	C
U-Space klasse	Zu	Y	Zu	Zu

8.1.2 Aan- en uitvliegroutes

Binnen het luchthavengebied bevinden zich de aan- en uitvliegroutes van en naar de start- of landingsplaats. Deze gebieden moeten vanaf de vertiport of vertistop leiden tot kruishoogte (in dit onderzoek 1.000 ft). Daarnaast moeten deze zones vrij van obstakels zijn (EASA, 2019;

Airservices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020). Hieruit volgt dat de volgende twee elementen nodig zijn voor de luchtinfrastructuur rondom drone-luchthavens:

- Obstakelvrijvlak voor verticale start of landing;
- Aan- en uitvliegroute tot aan kruishoogte.

8.2 Benodigde grondinfrastructuur

De grondinfrastructuur zoals beschreven in het theoretisch kader verschilt in meerdere opzichten tussen de verschillende locaties en doeleinden van de operatie. Om die reden zal per locatie; distributiecentrum (paragraaf 8.2.1), verzorgingsplaats (paragraaf 8.2.2), transferium (paragraaf 8.2.3) en de carpoolplaats (paragraaf 8.2.4), de benodigde grondinfrastructuur worden behandeld. Tot slot is een overzicht gegeven van alle grondinfrastructuur gecategoriseerd in vertiport- en vertistop-faciliteiten (paragraaf 8.2.5).

8.2.1 Locatie: PostNL-distributiecentrum

Het distributiecentrum van de goederen concept operatie dient als vertiport waarbij vier eVTOL's tegelijk moeten kunnen worden afgehandeld. Hiervoor wordt één start- en landingsplek en vier gates nodig geacht die Volodrone-operaties mogelijk maken. De gates zijn daarbij niet voorzien van een lokaal oplaadpunt, maar het batterijwissel-principe wordt toegepast gezien fabrikant Volocopter hier gebruik van wil maken (Jaeger, 2021; Littau, 2021). Om gebruik te maken van het batterijwissel-principe is een aparte 'laadterminal'⁶ benodigd.

Om de fysieke voetafdruk te minimaliseren, wordt voor deze locatie extern onderhoud bekeken. Dit betekent dat er slechts een onderhoudsopslag op de vertiport aanwezig moet zijn om klein onderhoud uit te voeren. Daarnaast zal het laden en lossen moeten plaatsvinden in een overdekte locatie aangrenzend aan het distributiecentrum (met een werkvoorraad van vier uur) om aansluiting te houden met het logistieke proces (PostNL, Bijlage III).

Tot slot moet rekening gehouden worden met het plaatsen van geluiddempend materiaal om het geluid rond het oppervlak te verminderen gezien de ligging (dicht bij bewoonde gebieden) zoals getoond in de bijlage (Bijlage II). Alle benodigde elementen zijn samengevat in Tabel 13.

Tabel 13: Benodigde grondinfrastructuur locatie distributiecentrum

Airside	Landside
Start- en landingsplek	Afhandelingsterminal (transitie distributiecentrum van/naar airside)
Parkeerfaciliteit (4 gates)	Onderhoudsopslag
Laadterminal	Geluiddempende muren

8.2.2 Locatie: Verzorgingsplaats

De verzorgingsplaats wordt gezien als een *drop-off* punt voor pakketten bij een gerobotiseerd pakketautomaat. De vertistop omvat daarom één start- en landingsplek zonder parkeerfaciliteit. De elementen die hieronder zijn opgesomd (Tabel 14) zijn minimaal benodigd voor deze vertistop locatie.

Tabel 14: Benodigde grondinfrastructuur verzorgingsplaats

Airside	Landside
Start- en landingsplek	Gerobotiseerd pakketautomaat
	Drive thru of parkeerplaats om pakketten af te halen

⁶ Opslag voor accu's op de vertiport met bijbehorende laadfaciliteiten, benodigd voor het batterijwissel-principe.

8.2.3 Locatie: Transferium Maasvlakte

De vertiport in het havengebied van Rotterdam moet voldoen aan de capaciteitseisen waardoor één start- en landingsplek benodigd is, in combinatie met vier gates. In tegenstelling tot het distributiecentrum, wordt bij de personenvervoer-operatie gebruik gemaakt van snellaadpunten nabij de gates. Daarnaast moet de vertiport aansluiten met de huidige openbaar vervoer hub, waar in de toekomst uitbreiding nodig kan zijn. Ook bij het Transferium geldt dat het onderhouds-aspect geminimaliseerd wordt, zodat de (schaarste) grond in de haven (PoR, Bijlage IV) optimaal benut wordt. Samengevat zijn de hieronder opgesomde elementen nodig (Tabel 15).

Tabel 15: Benodigde grondinfrastructuur transferium

Airside	Landside
Start- en landingsplek	Verbinding met huidige Transferium Maasvlakte
Parkeerfaciliteit (4 gates)	Onderhoudsopslag
Snellaadpunten	

8.2.4 Locatie: Carpoolplaats

Ook de carpoolplaats wordt gezien als drop-off locatie (net als bij de verzorgingsplaats), maar dan voor personenvervoer. Een vertistop is daarom een bijpassende grondinfrastructuur. Hieruit volgt dat een start- en landingsplek benodigd is, die eventueel uit te breiden is met een tweede indien wenselijk, met een bijbehorende integratie met de huidige carpoolinfrastructuur (Tabel 16).

Tabel 16: benodigde grondinfrastructuur carpoolplaats

Airside	Landside
Start- en landingsplek	Integratie met carpoolplaats

8.2.5 Overzicht van de benodigde grondinfrastructuur

Op basis van de in paragraaf 8.2.1 tot en met 8.2.4 beschreven elementen is in Tabel 17 onderscheid gemaakt tussen de benodigde infrastructuur voor een vertiport en een vertistop.

Tabel 17: Overzicht benodigde grondinfrastructuur uiteengezet per locatie

Grondinfrastructuur		Vertiport		Vertistop	
		Distributiecentrum	Verzorgingsplaats	Transferium	Carpoolplaats
Airside	Start- landingsplek	1	1	1	1
	Parkeerfaciliteit	4	4	n.v.t.	n.v.t.
	Laadfaciliteit	Laadterminal	4 snelladers	n.v.t.	n.v.t.
Landside	Onderhouds-voorziening	Beperkte opslag	Beperkte opslag	n.v.t.	n.v.t.
	Integratie met omringend gebied	Pakketterminal	Passagiersterminal	Pakket-automaat	Parkeerplaats

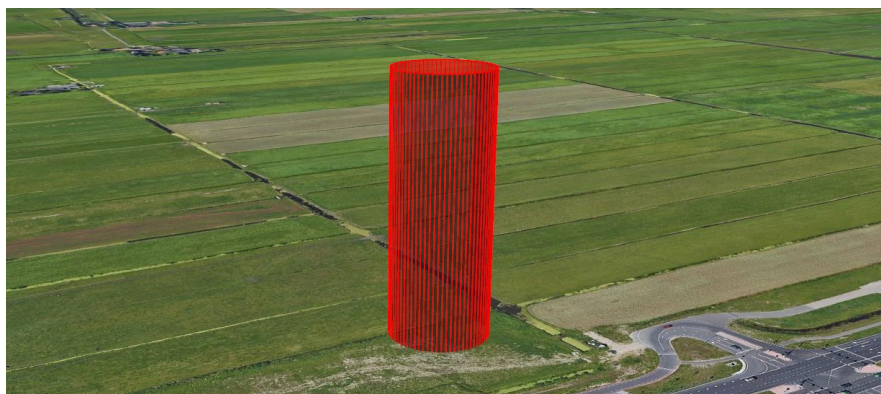
9. Vormgeving van de luchtinfrastructuur

Naar aanleiding van de benodigde infrastructuur, is gekeken hoe de luchtinfrastructuur moet worden vormgegeven op basis van de gestelde eisen. In dit hoofdstuk wordt de vormgeving van de obstakelvrije zone (paragraaf 9.1), de aan- en uitvliegroutes (paragraaf 9.2) en het luchthavengebied (paragraaf 9.3) uiteengezet.

9.1 Obstakelvrije zones

De dimensies, en daarmee de gevolgen, van het obstakelvrije vlak worden bepaald aan de hand van de gestelde juridische eisen in combinatie met de karakteristieken van de eVTOL. Op basis van de technische achtergrond van de Lilium Jet (Lilium Technology, 2021; McIntosh, 2021) blijkt dat het toestel op ongeveer 330 ft (100 m) over gaat naar de transitie fase waarna de eVTOL klimt richting kruishoogte. Aannemend dat ook de Volodrone ditzelfde pad volgt, kunnen de aan- en uitvliegcorridors met bijbehorende obstakelvrije oppervlakken in een verticale corridor (Figuur 19) vanaf de grond worden vormgegeven tot 330 ft (LVNL, Bijlage VI). Deze corridor heeft een diameter gelijk aan de breedte van het veiligheidsgrondgebied. Dit betekent dat de corridor tot een hoogte van 330 ft (transitiehoogte) geen extra gevolgen heeft voor de omgeving (naast de al te verwijderen obstakels in het veiligheidsgrondgebied). Vanuit daar moeten aan- en uitvliegroutes worden ontworpen die eventuele obstakels moet omzeilen zodat obstakelklaring tot een 500 ft is gewaarborgd.

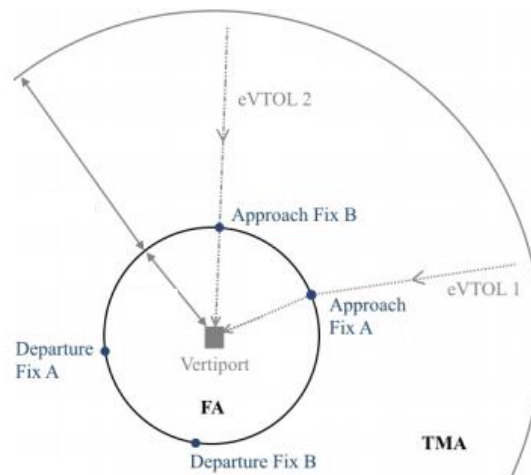
Voor alle locaties geldt daarbij dat alle obstakels binnen het veiligheidsgebied verwijderd moeten worden. Daarnaast mag de eVTOL de corridor niet verlaten om obstakelklaring te garanderen.



Figuur 19: Voorbeeld obstakelvrije zone tot 330 ft

9.2 Aan- en uitvliegroutes

Eerder onderzoek (Kleinbekman, 2019) stelt voor de aan- en uitvliegroutes vorm te geven door middel van vaste punten. Dit betekent dat op een hoogte van 330 ft (hoogste punt van de verticale corridor) hetzelfde principe als SIDs en STARs kunnen worden vormgegeven zoals afgebeeld in Figuur 20.

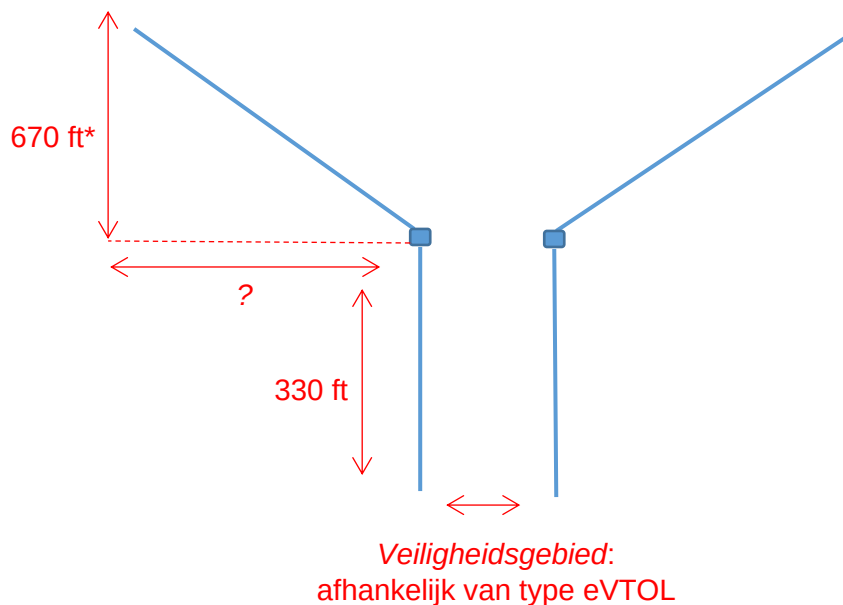


Figuur 20: Bovenaanzicht aan- en uitvlieggebied eVTOL's (Kleinbekman, 2019)

Het ontwerp van de routes kunnen worden bepaald aan de hand van de obstakels in het gebied, en op basis van de maatschappelijke impact (bijvoorbeeld het reguleren van geluidsoverlast). Daarnaast kunnen weersinvloeden (wind) en de huidige luchtruimindeling invloed hebben op het ontwerp (Airservices Australia en Embraer Business Innovation Center, 2020).

9.3 Luchthavengebied

De aan- en uitvliegroutes (tot een hoogte van 1.000ft) moeten binnen het luchthavengebied vallen. Hiervoor is het ontwerp van Figuur 20 gehanteerd, wat resulteert in het hieronder afgebeelde verticale doorsnede (Figuur 21).



* Aanname dat kruishoogte op 1.000 ft begint, of dat de eerste daling al ingezet is.

Figuur 21: Schematische verticale doorsnede van het luchtruim tot 1.000ft

Vanaf de verticale corridor (330 ft zoals beschreven in paragraaf 9.1), is de straal van de luchtruimaafbakening berekend. Gegeven is (Nathen, 2021) dat de Lilium Jet 451 seconde (31,73 minuten) doet over de klimfase, waarbij een verticale afstand van 2900 m wordt afgelegd met 275 km/h (76.4 m/s). Hieruit volgt (Berekening 1 tot en met 3):

$$\text{Rate of Climb} = \frac{\Delta \text{hoogte}}{\Delta \text{tijd}} = \frac{204}{31,73} = 6,43 \text{ m/s} \rightarrow 1260 \text{ ft/min} \quad (1)$$

$$\text{Climb Gradient} = \frac{6,43}{76,4} = 0,084 = 8,4\% \quad (2)$$

$$\text{Horizontale afstand per 204 m hoogte} = \frac{204}{0,084} = 2429 \text{ m} \quad (3)$$

Dit betekent dat op basis van de prestatiegegevens van de Lilium Jet⁷, infrastructureel gezien het U-Space-gebied een straal van minimaal 2429 meter plus de afmetingen van het veiligheidsgrondgebied moet omvatten. Deze aanpassing geldt als er gebruik gemaakt wordt van vertrek- en aankomstroutes in elke windrichting. In speciale gevallen (bijvoorbeeld in de nabijheid van luchthavens) kan hiervan worden afgeweken, waardoor de luchtruimcapaciteit afneemt. Het U-Space gebied zal dan aan de desbetreffende zijde(s) verkleint moeten worden.

⁷ Wegens een gebrek aan prestatiekenmerken van de Volodrone, worden de karakteristieken van de Lilium Jet gehanteerd.

10. Vormgeving van de grondinfrastructuur

In dit hoofdstuk is de vormgeving van de grondinfrastructuur beschreven. Op basis van de functionele eisen (paragraaf 10.1) is per concept operatie; goederenvervoer (paragraaf 10.2) en passagiersvervoer (paragraaf 10.3), een vertiport of vertistop vormgegeven.

10.1 Functionele eisen

De eisen ten aanzien van de functie(s) van de vertiport of vertistop zijn in de onderstaande paragrafen per locatie beschreven aan de hand van input van partners van de Dutch Drone Delta en geanalyseerde literatuur. Allereerst het distributiecentrum (paragraaf 10.1.1), vervolgens de verzorgingsplaats (paragraaf 10.1.2), het transferium (paragraaf 10.1.3) en tot slot de carpoolplaats (paragraaf 10.1.4).

10.1.1 Locatie: PostNL-distributiecentrum

De volgende aanvullende eisen zijn gesteld door PostNL voor de infrastructuur voor een vertiport bij een distributiecentrum:

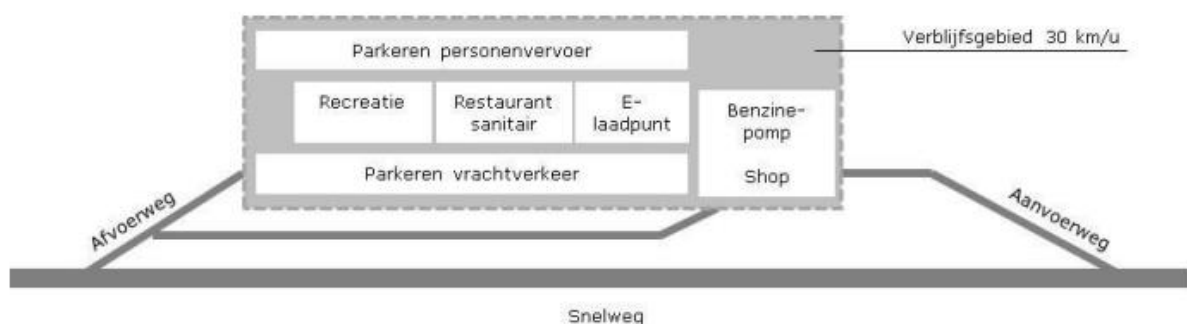
- Werkvoorraad van ongeveer 4 uur aan pakketten in de terminal.

10.1.2 Locatie: Verzorgingsplaats

Op basis van het kader inrichting verzorgingsplaats (Rijkswaterstaat, 2019) zijn de functionele eisen van de vertistop-locatie vormgegeven. Het huidige kader biedt vier basisvoorzieningen (benzinestation, wegrestaurant, servicestation en energielaadpunt) welke zijn toegestaan op een verzorgingsgebied. Aanvullende voorzieningen zijn mogelijk mits er:

- Voldoende ruimte beschikbaar is;
- Een functionele relatie is met het weggebruik;
- Geen verkeer aantrekkende werking is;
- De veiligheid niet negatief beïnvloed wordt.

Daarnaast wordt er binnen het huidige kader gesteld dat de verzorgingsplaats niet aan het achterland verbonden mag worden, maar afgebakend moet zijn. Dit betekent dat de verkeersstromen uitsluitend via de aan- en afvoerweg (Figuur 22) moeten worden afgehandeld.



Figuur 22: Basisinrichting verzorgingsplaats (Rijkswaterstaat, 2019)

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de huidige richtlijnen geen, tot geringe, mogelijkheid bieden tot het inrichten van een vertistop bij een verzorgingsplaats. Gezien de huidige wet- en regelgeving drone-operaties, en zeker UAM, in een minimale vorm toelaat zal dit doorbroken moeten worden. Op basis daarvan heeft dit onderzoek zoveel mogelijk aansluiting tot het huidige kader gezocht, maar door de gelimiteerde mogelijkheden zijn niet alle richtlijnen meegenomen. De volgende eisen zijn wel meegenomen tijdens de analyse:

- De vertistop dient zo ingericht te worden dat éénrichtingsverkeer mogelijk blijft;

- De vertistop dient de bestaande parkeercapaciteit niet aan te tasten;
- De verzorgingsplaats mag niet worden verbonden met het achterland via nieuwe wegen;
- Verkeersstromen rondom vertistop moeten zo worden afgehandeld dat er geen opstoppingen en belemmeringen kunnen ontstaan⁸.

10.1.3 Locatie: Transferium Maasvlakte

Vanuit de haven van Rotterdam zijn eisen en wensen gesteld aan de vormgeving van Transferium Maasvlakte. Uit het oriënterende interview blijkt verder dat deze partij er open in staat, waardoor er – naast de juridische eisen – een open invulling aan gegeven kan worden. De volgende minimale eisen zijn echter wel gesteld vanuit de haven, of afkomstig vanuit andere bronnen:

- Aan- en uitvliegroutes dienen geen hinder te vormen voor het scheepsverkeer, minimaal de veiligheidshoogte van 500 ft hanteren boven de haven;
- Gereserveerde ruimte voor mogelijke vertiport (Figuur 23) bekijken of de huidige busstandplaats.



Figuur 23: Voorgestelde vertiport locatie (Römers & Bakkar, 2021)

10.1.4 Locatie: Carpoolplaats

Er is in dit stadium van het onderzoek met één functionele eis voor een vertistop bij een carpoolplaats rekening gehouden.

- Verkeersstromen rondom vertiport moeten zo worden afgehandeld dat er geen opstoppingen en belemmeringen kunnen ontstaan.

10.2 Concept operatie: goederenvervoer

De volgende paragrafen zullen specifiek over de goederen concept operatie gaan. Eerst is daarom de vormgeving van de grondinfrastructuur op basis van de Volodrone uiteengezet (paragraaf 10.2.1), en vervolgens is de toepassing van een vertiport of vertistop op de twee locaties; distributiecentrum (paragraaf 10.2.2) en verzorgingsplaats (paragraaf 10.2.3) beschreven. Naast het ruimtelijke aspect moet de infrastructuur worden vormgegeven op basis van de gestelde richtlijnen met betrekking tot de verlichting en markeringen. Het onderzoek richt zich specifiek op het ruimtelijk aspect, waardoor dit verder buiten beschouwing is gelaten.

⁸ Dit onderzoek heeft niet de verkeersstromen doorgerekend, maar een voorstel gedaan van benodigde infrastructuur.

10.2.1 Vormgeving grondinfrastructuur Volodrone

Op basis van de juridische eisen blijkt dat de vormgeving van de start- en landingsplaats, en de parkeerfaciliteiten afhankelijk zijn van de eVTOL-kenmerken. Daarnaast geeft fabrikant Volocopter aan gebruik te willen maken van een batterijwisselsysteem. De vormgeving van deze drie aspecten zijn hieronder beschreven.

Start- en landingsplek

In de onderstaande formules (Berekening 4 tot en met 7) zijn de juridische eisen in combinatie met de Volodrone-karakteristieken toegepast.

$$FATO = 0,83 * rotor\ diameter = 0,83 * 9,2 = 7,6\ m \quad (4)$$

$$Safety\ Area = 0,25 * rotor\ diameter = 0,25 * 9,2 = 2,3\ m \rightarrow\ minimaal\ 3\ m \quad (5)$$

$$FATO + Safety\ Area = 7,6 + 3 = 10,6 \rightarrow\ minimaal\ 2 * rotor\ diameter = 18,4\ m \quad (6)$$

$$Oppervlak = 18,4 * 18,4 = 338,56\ m^2 \quad (7)$$

Hieruit volgt dat een oppervlak van 339 m² benodigd is voor de start- en landingsplaats.

Parkeerfaciliteiten

Dezelfde methode (met de juridische eisen voor gates) is gehanteerd voor de berekening van de benodigde ruimte van vier parkeerfaciliteiten (Berekening 8 tot en met 11).

$$Diameter\ gate = 2 * rotor\ diameter = 2 * 9,2 = 18,4\ m \quad (8)$$

$$Lengte\ 4\ gates = 4 * diameter\ gate = 4 * 18,4 = 73,6\ m \quad (9)$$

$$Oppervlak\ per\ gate = \pi * radius^2 = \pi * 9,2^2 = 265,9\ m^2 \quad (10)$$

$$Oppervlak\ 4\ gates = lengte * diameter = 73,6 * 18,4 = 1354,24\ m^2 \quad (11)$$

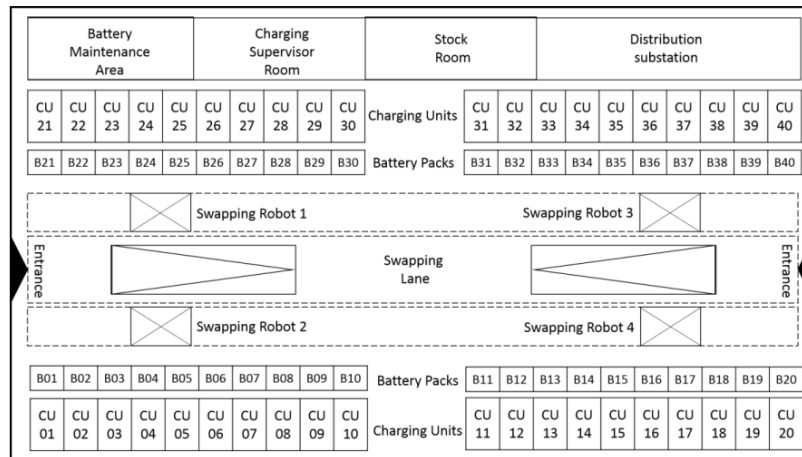
De plaatsing van vier gates neemt minimaal 1354 m² in beslag op basis van de Volodrone dimensies.

Laadterminal

Met het gebruik van het batterijwissel-principe is een laadterminal vereist waar accu's kunnen worden opgeladen. De grootte van deze terminal is afhankelijk van de capaciteit van de vertiport, gezien dit bepalend is voor het aantal benodigde accu's.

De terminal moet aan extra eisen voldoen gezien het wisselen van batterijen ook mogelijke gevaren meebrengt (Achmea, Bijlage VII). Onderzoek stelt (Black & Veatch) dat extra brandveiligheidsmaatregelen genomen moeten worden zodra batterijen in een binnenruimte opgeslagen worden. Dit betekent dat de laadterminal extra koeling en ventilatie nodig heeft. Daarnaast wordt aanbevolen (Taylor, Saldanli, & Park) om de wissel van batterijen niet in het bijzijn van passagiers te laten gebeuren vanwege het risico op brand- en explosiegevaar.

Om aan de laatste aanbeveling te voldoen is extra ruimte benodigd, om niet alleen de batterijen op te slaan, maar deze ook op een aparte locatie te verwisselen. Hierbij kan gedacht worden aan hetzelfde principe als hedendaags gebruikt wordt bij bussen in China. Het ontwerp hiervan is afgebeeld in Figuur 24. De capaciteit van de terminal is afhankelijk van het aantal batterijen dat benodigd is, wat volgt uit de capaciteit van de vertiport. Hiervoor dient echter meer informatie beschikbaar te zijn over de kenmerken van de eVTOL, batterijen en het laadsysteem.



Figuur 24: Ontwerp batterijwisselstation bussen (Li, Li, Deng, & Bao, 2018)

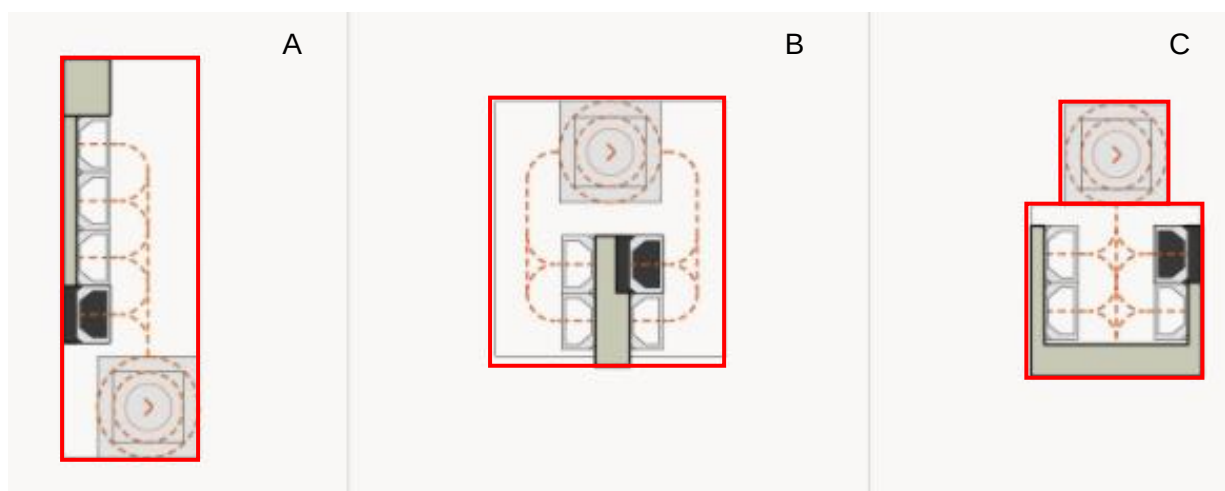
10.2.2 Toepassing locatie: Distributiecentrum

Naast de Volodrone-specifieke grondinfrastructuur, beschikt de vertiport ook over een onderhoudsopslag. Gezien het gaat om een minimale opslag, en wegens het gebrek aan literatuur, wordt aangenomen dat het oppervlak hiervan relatief verwaarloosbaar is. De minimaal benodigde ruimte die nodig is voor de vertiport bij het distributiecentrum is in de onderstaande tabel (Tabel 18) uiteengezet.

Tabel 18: Grondinfrastructuur specificaties distributiecentrum - Volodrone

Benodigde grondinfrastructuur	Specificatie
Start- en landingsplek	339 m ²
Luchttaxibaan/tussenruimte	Afhankelijk van het ontwerp
Parkeerfaciliteit (4 gates)	1354 m ²
Laadterminal	Afhankelijk van het ontwerp
Pakketterminal (volume 4 bussen)	373 m ²
Onderhoudsopslag	Verwaarloosbaar in ontwerp

Drie verschillende vertiport-ontwerpen (Figuur 25) zijn bekeken met de vormgevingseisen zoals gesteld in deze scriptie (Learn, 2020; Lilium, 2020). De berekeningen van de rood omringde vlakken zijn terug te vinden in Bijlage IX.



Figuur 25: Drie vertiport-ontwerpen met een FATO en vier gates (Lilium, 2020)

Hieruit volgen de totale oppervlakken zoals getoond is in de onderstaande tabel (Tabel 19).

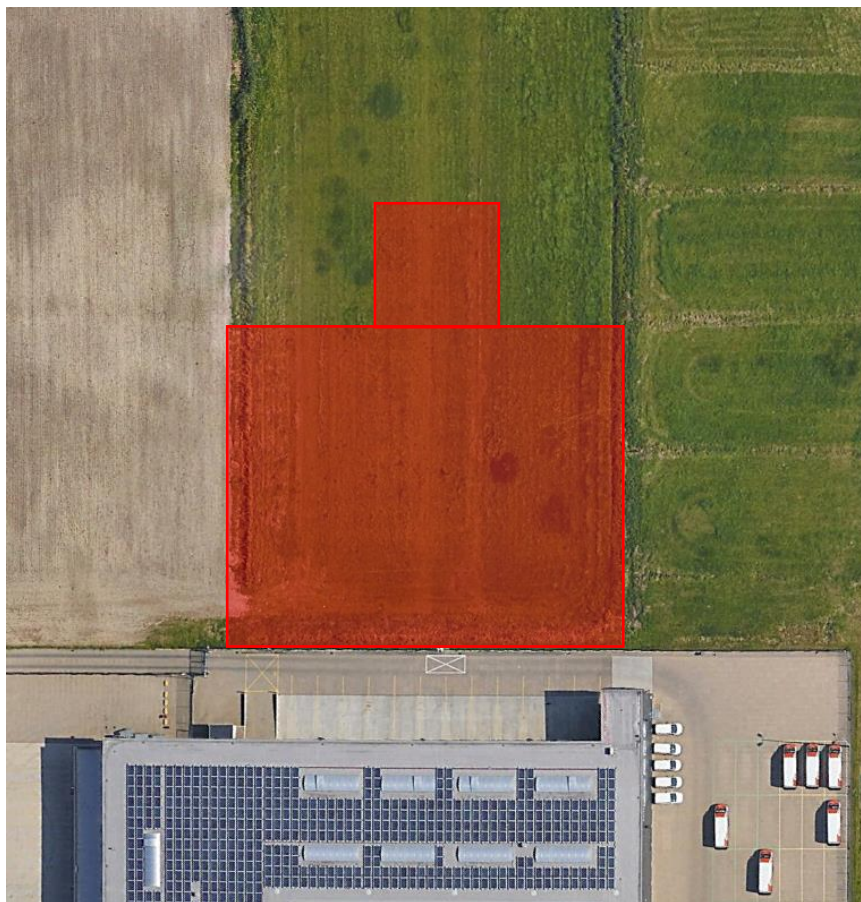
Tabel 19: Oppervlak schatting op basis van drie vertiport-ontwerpen Volodrone

	Ontwerp A	Ontwerp B	Ontwerp C
Oppervlak	4394 m ²	3246 m ²	3039 m ²

De schattingen uit Tabel 19 omvatten echter niet alle benodigde infrastructuur. In tegenstelling tot de verwaarloosbare afmetingen van de onderhoudsopslag, vergt de laadterminal extra ruimte in combinatie met een taxibaan er naar toe. Zoals vermeld ontbreekt de informatie hierover, en is het niet mogelijk om een onderbouwde schatting hiervan te maken.

Inpassing in de omgeving

Het braakliggend terrein naast het distributiecentrum biedt voldoende ruimte voor alle drie de concepten. Ontwerp A biedt de gemakkelijkste uitbreidmogelijkheden, maar de terminal van ontwerp C sluit beter aan bij het huidige distributiecentrum en vergt minder ruimte. PostNL zal daarom de belangen in samenwerking met partners moeten afwegen. In Figuur 26 is de inpassing van ontwerp C geïllustreerd.



Figuur 26: Illustratie vertiport ontwerp C (rood gearceerd) distributiecentrum

Om de onderzochte infrastructurele elementen te implementeren, zijn echter wel minimaal de volgende aanpassingen aan de omgeving nodig:

- Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur;
- Aanpassen van elektrische infrastructuur voor de laadterminal;
- Aanpassing van het huidige distributiecentrum voor de aansluiting van een vertiport.

10.2.3 Toepassing locatie: Verzorgingsplaats

Ook bij de vertistop van de goederenvervoer-operatie is gekeken naar de gevolgen op ruimtelijk gebied. Hierbij wordt aangenomen dat een pakketautomaat een afmeting van 3 bij 10 meter heeft (PostNL, Bijlage III). Tabel 20 geeft daarbij een indicatie van het benodigde oppervlak samen met de start- en landingsplek.

Tabel 20: Grondinfrastructuur specificaties verzorgingsplaats - Volodrone

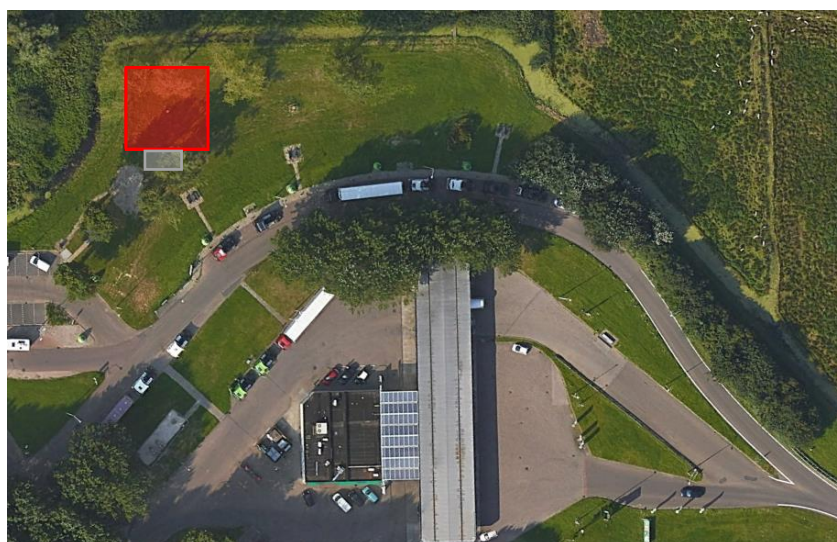
Benodigde grondinfrastructuur	Specificatie
Start- en landingsplek	339 m ²
Gerobotiseerd pakketautomaat	30 m ²
Totaal benodigd oppervlak	369 m²

Inpassing in de omgeving

De vertistop is weergegeven in een op schaal gemaakte schets (Figuur 27) waaruit blijkt dat het huidige gebied ruimtelijk gezien geschikt is voor de plaatsing van een vertistop zonder afname van de huidige capaciteit van de verzorgingsplaats. Ook wordt geschat dat de aanvoerruimte (mobiliteitsaspect) voor auto's door middel van bijvoorbeeld een pick up point voldoende is om te voldoen aan de capaciteit van 200 pakketten. Deze schatting is gebaseerd op de afmetingen van een Albert Heijn pick-up point met een oppervlak van 10 bij 25 meter.

Het grasgebied, zoals afgebeeld in Figuur 27, moet klaargemaakt worden voor de aanleg van de infrastructuur. Hieruit volgt dat er slechts geringe aanpassingen nodig zijn in dit gebied:

- Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur;
- Bomen en struiken (en eventuele andere obstakels) weghalen uit het gebied;
- Doortrekken van elektrische aansluiting (van FastNed bijvoorbeeld) ten behoeve van de verlichting op en rondom de vertistop.



Figuur 27: Illustratie vertistop verzorgingsplaats met start- en landingsplek (rood) en pakketautomaat (grijs)

10.3 Concept operatie: personenvervoer

De volgende paragrafen zijn gericht op de personenoperatie met de Lilium Jet. Eerst is daarom de vormgeving van de grondinfrastructuur op basis van de Lilium Jet uiteengezet (paragraaf 10.3.1), en vervolgens is de toepassing van een vertiport of vertistop op de twee locaties; transferium (paragraaf 10.3.2) en carpoolplaats (paragraaf 10.3.3) beschreven.

10.3.1 Vormgeving grondinfrastructuur Lilium Jet

De juridische eisen zoals uiteengezet in het theoretisch kader vormen de basis voor de vormgeving van de start- en landingsplaats en de parkeerfaciliteiten. Daarnaast is

aangenomen dat in dit concept het snellaad-systeem wordt gebruikt. De vormgeving van deze drie aspecten zijn hieronder beschreven.

Start- en landingsplek

Met de gegeven spanwijdte van de Lilium Jet is het benodigd oppervlak voor een start- en landingsplaats berekend (Berekening 12 tot en met 15)

$$FATO = 0,83 * spanwijdte = 0,83 * 13,9 = 11,5 \text{ m} \quad (12)$$

$$Safety \text{ Area} = 0,25 * spanwijdte = 0,25 * 13,9 = 3,5 \text{ m} \quad (13)$$

$$FATO + Safety \text{ Area} = 11,5 + 3,5 = 15,0 \rightarrow \text{minimaal } 2 * spanwijdte = 27,8 \text{ m} \quad (14)$$

$$Oppervlak = 27,8 * 27,8 = 772,8 \text{ m}^2 \quad (15)$$

Hieruit blijkt, op basis van de juridische eisen, dat de start en landingsplaats minimaal een oppervlak van 773 m² moet hebben.

Parkeerfaciliteit

Daarnaast is het oppervlak van vier gates berekend aan de hand van de onderstaande formules (Berekening 16 tot en met 19).

$$Diameter \text{ gate} = 2 * spanwijdte = 2 * 13,9 = 27,8 \text{ m} \quad (16)$$

$$Lengte \text{ 4 gates} = 4 * diameter = 4 * 27,8 = 111,2 \text{ m} \quad (17)$$

$$Oppervlak \text{ per gate} = \pi * radius^2 = \pi * 13,9^2 = 606,99 \text{ m}^2 \quad (18)$$

$$Oppervlak \text{ 4 gates} = lengte * diameter = 111,2 * 27,8 = 3091 \text{ m}^2 \quad (19)$$

Snelladers

Voor het snellaad-ontwerp is gekeken naar het plaatsen van vier snelladers nabij de gate. Op basis van onderzoek (Black & Veatch) wordt aangenomen dat zes 600 kW opladers met de benodigde infrastructuur een ruimte van 130 m² innemen, inclusief de benodigde veiligheidsmarges op basis van de National Electrical Code (NEC). Met een verhouding 4:6 komt dat neer op een benodigd oppervlak van bijna 87 m². Hierbij moet rekening gehouden worden met een verbruik tussen de 18 en 25 MWh energie per dag (Black & Veatch).

Om genoeg energie beschikbaar te hebben in piekuren, kan BESS-infrastructuur worden aangelegd. Het gebruik van een BESS-infrastructuur vergroot het benodigd grondoppervlak met ongeveer 43 vierkante meter voor het bewaren van 2 MWh.

10.3.2 Toepassing locatie: Transferium

De omvang van de vertiport-faciliteiten voor Transferium Maasvlakte zijn te vinden in de onderstaande tabel (Tabel 21).

Tabel 21: Grondinfrastructuur specificaties transferium – Lilium Jet

Benodigde grondinfrastructuur	Specificatie
Start- en landingsplek	773 m ²
Luchttaxibaan	Afhankelijk van ontwerp
Parkeerfaciliteit (4 gates)	3091 m ²
Laadfaciliteit (4 laders)	87 m ²
Terminal	Afhankelijk van ontwerp
Onderhoudsopslag	Verwaarloosbaar in het ontwerp

Ook voor vertiport Transferium Maasvlakte zijn de drie ontwerpen, zoals voorgesteld door Lilium, onderzocht (Figuur 25). Deze ontwerpen geven een goede weerspiegeling van een vertiport, en vullen daarmee de onbekende waarden van Tabel 21 in. De geschatte afmetingen zijn in Tabel 22 weergegeven (zie Bijlage IX voor de berekeningen).

Tabel 22: Oppervlak schatting op basis van drie vertiport-ontwerpen Lilium Jet

	Ontwerp A	Ontwerp B	Ontwerp C
Oppervlak	9274 m ²	7239 m ²	6562 m ²

Inpassing in de omgeving

De drie ontwerpen omvatten alle minimaal benodigde oppervlakken om Transferium Maasvlakte van een vertiport te voorzien. Daarnaast zijn alle drie de ontwerpen toepasbaar op het gereserveerde stuk grond bij Transferium Maasvlakte. Om aansluiting te houden met de huidige terminal, is het langwerpige ontwerp (ontwerp A) het meest geschikt (Figuur 28). Daarnaast biedt dit ontwerpmogelijkheden om uit te breiden. Het ontwerp vergt echter wel de meeste ruimte, en daarom zal de PoR in samenwerking met partners de belangen moeten afwegen alvorens een ontwerp kan worden gekozen.

Voor alle drie de ontwerpen zullen in ieder geval de volgende aanpassingen gedaan moeten worden:

- Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur;
- Aanpassen van elektrische infrastructuur voor de laadfaciliteiten;
- Aanpassing van huidige terminal ten behoeve van de passagierscapaciteit voor de vertiport.



Figuur 28: Illustratie vertiport ontwerp A (rood gearceerd) Transferium Maasvlakte

10.3.3 Toepassing locatie: Carpoolplaats

De gevolgen van de vertistop locatie nabij de carpoolplaats zijn kleiner dan vertiports. De carpoolplaats omvat slechts één start- en landingsplek gebaseerd op de Lilium Jet-kenmerken (Tabel 23).

Tabel 23: Grondinfrastructuur specificaties carpoolplaats - Lilium Jet

Benodigde grondinfrastructuur	Specificatie
Start- en landingsplek	773 m ²
Totaal benodigd oppervlak	773 m ²

Het toevoegen van een tweede start- en landingsplek is mogelijk, waarbij echter rekening gehouden moeten worden met een tussenliggende afstand. In het geval van niet-gelijktijdige operaties geldt dat de twee FATO's elkaar niet mogen overlappen. In het geval van gelijktijdige operaties moet die marges vergroot worden tot minstens 120 meter, op basis van de gewichtsklasse (EASA, 2019).

Inpassing in de omgeving

De aan- en afvoer van mensen van en naar de vertistop kan plaatsvinden door middel van een voetpad van en naar de carpoolplaats (mobiliteitsaspect). Reizigers kunnen daarmee gemakkelijk overstappen op andere vervoersmiddelen wat in lijn ligt met de visie van taxibedrijf Uber (Uber Elevate, 2016). Ook zou een verhoogde start- en landingsplaats extra parkeercapaciteit kunnen geven (buiten de scope van dit project).

Op basis van de nieuwe A13-A16 aansluiting is een visualisatie (Figuur 29) gemaakt van de vertistop. Hieruit is op te maken dat de vertistop geen hinder geeft op de omliggende infrastructuur, waarbij wel minimaal de volgende aanpassingen gedaan moeten worden:

- Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur;
- Doortrekken van elektrische aansluiting (verlichting).



Figuur 29: Illustratie vertistop (rood gemarkeerd) met weg (grijs gemarkeerd) bij de nieuwe aansluiting A13-A16 – niet op schaal

11. Conclusie

Dit onderzoek heeft gekeken naar twee Urban Air Mobility-operaties om tot de beantwoording van de hoofdvraag te komen:

Welke aanpassingen aan de Nederlandse lucht- en grondinfrastructuur moeten worden doorgevoerd om Urban Air Mobility in de komende decennia mogelijk te maken, rekening houdend met juridische en functionele eisen?

De focus in dit onderzoek is gelegd op twee concept operaties (goederen- en passagiersvervoer) met twee typen eVTOL's; Volodrone en Lilium Jet. De infrastructuur voor deze operaties moet worden vormgegeven aan de hand van juridische en functionele eisen. Momenteel is de bestaande helikopter wet- en regelgeving het meest vergelijkbaar met UAM-operaties. Dit betekent dat de juridische eisen hierop kunnen worden gebaseerd – zolang UAM-wetgeving ontbreekt -, waarbij de eVTOL-kenmerken (gewicht en dimensies) gebruikt moeten worden voor de vormgeving van de infrastructuur. Functionele eisen daarentegen zijn afhankelijk van de locaties en het doeleinde van de operatie.

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat de benodigde grondfaciliteiten kunnen worden onderverdeeld in twee typen drone-luchthavens; vertiport en vertistop. Een vertiport beschikt over voorzieningen, waaronder parkeerfaciliteiten, laadinfrastructuur en minimale onderhoudsvoorzieningen, terwijl een vertistop enkel bedoeld is voor een drop-off locatie met een start- en landingsplek. Dit betekent dat er infrastructureel gezien minimaal rekening gehouden moet worden met de elementen zoals opgesomd in de onderstaande tabel (Tabel 24), welke los van elkaar moeten voldoen aan de ontwerprichtlijnen (zowel juridisch vastgesteld als functioneel vanuit betrokkenen).

Tabel 24: Minimaal benodigde grondinfrastructuur vertiport en vertistop

Vertiport	Vertistop
Start- en landingsplek	Start- en landingsplek
Parkeerfaciliteit eVTOL('s)	
Laadfaciliteit(en)	
Onderhoudsfaciliteit/opslag	
Terminal (passagiers/vracht)	

Daarnaast is gebleken dat de bijbehorende luchtinfrastructuur niet afhankelijk is van het locatiedoeleinden, maar gebaseerd is op de karakteristieken van de eVTOL's, en de huidige luchtruimindeling. Op basis van de uitkomsten van interviews, ondersteunend met literatuur, kan worden geconcludeerd dat U-Space klasse Zu in de meeste gevallen volstaat rondom een vertiport of vertistop binnen gecontroleerd luchtruim, en dat klasse Y geschikt is voor ongecontroleerd luchtruim. In stedelijke gebieden waar strengere eisen nodig worden geacht kan Zu-luchtruim (ook in ongecontroleerd luchtruim) volstaan.

Op basis van de resultaten zijn de gevolgen van de infrastructurele elementen onderzocht op vier verschillende locaties in de Randstad. Hieruit volgt dat ruimtelijk gezien vertistops, respectievelijk voor een Volodrone en Lilium Jet, een oppervlak van 339 m² en 773 m² benodigd hebben. Voor vertiports daarentegen kan het oppervlak oplopen tot ruim 9200 m² (afhankelijk van type eVTOL) om te voldoen aan een capaciteit van vier afhandelingsplaatsen met bijbehorende faciliteiten (Tabel 25). Hierbij speelt, in tegenstelling tot de luchtinfrastructuur, de functie (passagiers of vracht) van de vertiport wel een rol in het ruimtelijke aspect.

Tabel 25: Minimaal benodigd oppervlak vertiport en vertistop

	Vertiport	Vertistop
Volodrone	3039 m ²	339 m ²
Lilium Jet	6562 m ²	773 m ²

Voor de inpassing in de omgeving betekent dit dat er aanpassingen benodigd zijn om de lucht- en grondinfrastructuur te implementeren in Nederland. Het plaatsen van een verticale corridor kan obstakelklaring garanderen, waarna aan- en uitvliegroutes eVTOL's naar kruishoogte kunnen leiden en obstakels moeten wijken. Hiervoor moet de benodigde U-Space-klasse worden geïntegreerd in de huidige luchtruimindeling en moet het luchtruim afgebakend worden. Daarnaast moet de invloed op de omgeving van deze infrastructuur mee worden genomen om de zorgen omtrent geluid van omwonende – en dus de sociale acceptatie van UAM – te minimaliseren. Uit onderzoek blijkt dat dit zowel positief als negatief kan worden beïnvloed door het aanleggen van UAM-infrastructuur.

Voor de grondinfrastructuur verschilt dit van slechts geringe aanpassingen voor vertistops, tot grotere aanpassingen voor vertiports. De grond-aanpassingen die nodig zijn op basis van de vier onderzochte locaties in de Randstad zijn weergegeven in de onderstaande tabel (Tabel 26).

Tabel 26: Minimaal benodigde aanpassingen grondinfrastructuur

Concept operatie: goederenvervoer		Concept operatie: passagiersvervoer	
Distributiecentrum	Verzorgingsplaats	Transferium	Carpoolplaats
Ondergrond klaarmaken voor aanleg infrastructuur			
Ondergrondse energie infrastructuur	Doortrekken van elektrische aansluiting	Ondergrondse energie infrastructuur	Doortrekken van elektrische aansluiting
Huidige distributiecentrum voor de aansluiting van een vertiport.	Obstakels weghalen	Uitbreiding passagiersterminal	

Uit dit onderzoek is ook de conclusie getrokken dat (nog) niet alle informatie beschikbaar is om tot een compleet overzicht van de benodigde aanpassingen te komen. Het onderzoek berust op aannames met een niet-volledig juridisch kader.

12. Discussie en aanbeveling

Naar aanleiding van dit onderzoek, met de gestelde conclusies, is een discussie opgesteld om de kwaliteit van het onderzoek te evalueren (paragraaf 12.1). Hieruit volgen suggesties voor vervolgonderzoek (paragraaf 12.2) en worden vervolgstappen voor opdrachtgever Rijkswaterstaat voorgesteld (paragraaf 12.3).

12.1 Discussie

Het uitgevoerde onderzoek geeft een eerste invulling van de benodigde infrastructuur, met bijbehorende gevolgen op de omgeving. Hiermee is voldaan aan de verwachtingen van dit onderzoek om met een overzicht te komen van de benodigde infrastructuur en bijbehorende aanpassingen. Dit betekent dat een deel van de resultaten van toepassing zijn op alle soorten UAM-operaties, maar het gevolg op de omgeving is specifiek gericht op de vier gekozen locaties. Daaruit volgt dat het antwoord op de hoofdvraag niet op elk type operatie of eVTOL kan worden toegepast.

De resultaten geven wel een praktisch inzicht ten aanzien van de benodigde infrastructuur om UAM-operaties mogelijk te maken. Aan de hand van het theoretisch kader is de vormgeving namelijk toegepast op Nederlandse locaties. Hierdoor zijn nieuwe inzichten naar boven gekomen, die voor opdrachtgever Rijkswaterstaat en partners van de Dutch Drone Delta houvast kunnen bieden aan de vormgeving van een drone-luchthaven. De geïnterviewde partijen zijn daarmee ook representatief voor de Nederlandse belangen en inrichting.

Ondanks dit resultaat, is het onderzoek in de toekomst te verbeteren op de volgende punten:

- De gebrekkige informatievoorziening vanuit eVTOL-fabrikanten en de geringe praktijkervaring zorgde voor veel aannames. Verbetering in het onderzoek kan daarom worden aangebracht door in samenwerking met eVTOL-fabrikanten de eVTOL-kenmerken in kaart te brengen;
- De kwaliteit van dit onderzoek kan daarnaast worden verhoogd door de wet- en regelgeving van de gecertificeerde categorie toe te passen. Hierdoor liggen de ontwerpisen in lijn met de Europese richtlijnen, welke echter op z'n vroegst in 2025 beschikbaar zijn (European Union, 2021). Dit betekent dat het onderzoek mogelijk niet replicerbaar is vanaf dat moment;
- Als laatste punt kan het onderzoek kwalitatief verbeterd worden door met een concrete businesscase te werken. Hierdoor zijn minder aannames nodig, wat de betrouwbaarheid en kwaliteit positief kan beïnvloeden.

De onderzoeker concludeert hieruit dat de UAM-wereld nog niet ver genoeg ontwikkeld is. Dit laat echter wel zien dat dit onderzoek, en de oprichting van de Dutch Drone Delta, de kennis binnen Nederland verhoogd op gebied van UAM. Het geeft daarmee een startpunt om vanuit verder te werken en voorbereid te zijn om de wet- en regelgeving voor de gecertificeerde categorie toe te passen voor UAM.

12.2 Vervolgonderzoek

Op basis van de limitaties binnen dit project, wordt geadviseerd om vervolgonderzoek uit te voeren. Hiermee kan de kwaliteit worden verhoogd en kunnen ontbrekende factoren worden aangevuld. De volgende vervolgonderzoeken worden in ieder geval aanbevolen:

1. Opzetten van een eVTOL-marktonderzoek

Gezien het ontwerp van de lucht- grondinfrastructuur (deels) gebaseerd is op de karakteristieken van eVTOL's, is het aan te raden om een marktonderzoek te starten

naar huidige, en toekomstige eVTOL's. Hierbij moet de focus liggen om de prestatiekenmerken en vormgeving van de eVTOL.

2. Inpassing U-Space in het huidige luchtruim

Vervolgonderzoek naar de inpassing van verschillende U-Space klassen in het huidige Nederlandse luchtruim wordt door de onderzoeker noodzakelijk geacht voordat een drone-luchthaven kan worden aangelegd. Hierbij is de relatie tot verschillende grondgebieden (stedelijk, wegen) van belang, gezien dit in dit onderzoek gering aan bod is gekomen.

3. In kaart brengen laad- en energie infrastructuur

Om beter inzicht te krijgen in de benodigde elektrische infrastructuur, moet gericht onderzoek worden uitgevoerd naar de laadinfrastructuur voor UAM. Hieruit moet ook volgen welke aanpassingen aan het energienet gedaan moeten worden (Netbeheer Nederland).

4. Onderzoek naar toepassing van onderhoud

Aanvullend onderzoek moet worden uitgevoerd om te inventariseren welke mogelijkheden haalbaar zijn voor het uitvoeren van onderhoud (on-site of extern). Dit onderzoek kan worden uitgevoerd in samenwerking met huidige onderhoudsbedrijven (gevestigd op luchthavens bijvoorbeeld) en eVTOL-fabrikanten.

5. Onderzoek naar het toepassen van verhoogde infrastructuur

Dit onderzoek heeft zich gericht op infrastructuur op het grondoppervlak. In stedelijke omgeving kan het echter efficiënter zijn om op een verhoogd oppervlak een vertiport of vertistop te plaatsen (bijvoorbeeld op daken). De gevolgen hiervan zullen moeten worden onderzocht om de haalbaarheid van deze concepten te kunnen beoordelen.

12.3 Vervolgstappen Rijkswaterstaat

Deze scriptie geeft Rijkswaterstaat een overzicht van de benodigde lucht- en grondinfrastructuur en bijbehorende aanpassingen. Vanuit dit onderzoek zijn twee aanbevelingen gedaan aan opdrachtgever Rijkswaterstaat:

1. Uitvoering vervolgonderzoek

Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om het in paragraaf 12.2 genoemde vervolgonderzoek te laten uitvoeren binnen de Dutch Drone Delta. Daarbij is betrokkenheid bij het vervolgonderzoek binnen de Dutch Drone Delta van belang om op de hoogte te blijven van de ontwikkelingen van de onderzoeksresultaten.

2. Toepassing hedendaags luchtwaardige drones

Daarnaast kan op korte termijn de toepassing van de huidige luchtwaardige drones en kleinere drones (voor enkele pakketjes) voor Rijkswaterstaat interessant zijn. Daarom wordt geadviseerd om uit te zoeken in hoeverre de uitkomsten van dit onderzoek toepasbaar zijn op hedendaagse drones met kleinere afmetingen.

Bibliografie

- Airbus. (2019, Februari 11). *Urban Air Mobility: on the path to public acceptance*. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2019/02/urban-air-mobility-on-the-path-to-public-acceptance.html>
- Airsevices Australia en Embraer Business Innovation Center. (2020). *UATM Concept of Operations*. Prodigy Plus. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://embraerx.com>
- Alexander, R. (2020, April 1). *Do eVTOL air taxis have a place in sustainable cities?* Opgehaald van EVTOL: <https://evtol.com/features/evtol-air-taxis-sustainable-cities-response/>
- Altran. (2020). *En-route to Urban Air Mobility*. Retrieved Maart 2021, from <https://www.altran.com/as-content/uploads/sites/27/2020/03/en-route-to-urban-air-mobility.pdf>
- Antcliff, K. R., Moore, M. D., & Goodrich, K. H. (2016). Silicon Valley as an Early Adopter for On-Demand Civil VTOL Operations. *AIAA Aviation 2016*, (pp. 1-17). Washington DC. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160010150>
- Antea Group. (2021). *Inpassing vertiports-vertistops*. Opgeroepen op Mei 2021
- Bacchini, A., & Cestino, E. (2019, Februari 28). Electric VTOL Configurations Comparison. *Aerospace*, 6(26). doi:10.3390/aerospace6030026
- Baur, S., Schickram, S., Homulenko, A., Martinez, N., & Dyskin, A. (2018). *Urban Air Mobility; The rise of a new mode of transportation*. München: Roland Berger. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/Roland_Berger_Urban_Air_Mobility.pdf
- Black & Veatch. (sd). *eVTOL Electrical Infrastructure Study for UAM Aircraft*. National Institute of Aerospace. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.bv.com/sites/default/files/2019-11/NASA_eVTOL_Electric_Infrastructure_Study.pdf
- Brown, C., Ahmed, M., Das, D., & Anderson, J. (2020). *Aviation 2030; Disruption beyond COVID-19*. KPMG International. Retrieved Maart 2021, from <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2020/10/aviation-2030-disruption-beyond-covid-19.pdf>
- CAA. (2020). *Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace*. Crawley. Retrieved Februari 2021, from [https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP722%20Edition8\(p\).pdf](https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP722%20Edition8(p).pdf)
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2020, December 18). *Regionale kerncijfers Nederland*. Opgeroepen op Februari 2021, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/70072ned?q=bevolkingsdichtheid>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2021, Januari 29). *Mobiliteit in coronatijd*. Opgeroepen op Februari 2021, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/welvaart-in-coronatijd/mobiliteit>
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2020, December 16). *Prognose: Bevolking blijft komende 50 jaar groeien*. Retrieved Maart 2021, from <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/51/prognose-bevolking-blijft-komende-50-jaar-groeien>

- Choi, W., & Hampton, S. (2020). Scenario-Based Strategic Planning for Future Civil Vertical Take-off and Landing (VTOL) Transport. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 1-31. doi:10.15394/jaaer.2020.1808
- Civil Aviation Authority. (2016). *Policy for the Establishment and Dimensions of Aerodrome Traffic Zones (ATZ)*. Opgeroepen op April 2021, van <http://www.anaerialview.com/docs/20100702ATZEstablishmentAndDimensionsFINAL.pdf>
- Creighton, D., Parsons, H., Alvarez, L. M., Gunn, B., Perez-Franco, R., & Johnstone, M. (2020). *Advanced Aerial Mobility and eVTOL aircraft in Australia*. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.deakin.edu.au/__data/assets/pdf_file/0009/2247858/Deakin-University-Mobility-Whitepaper-Advanced-Aerial-Mobility-and-eVTOL-aircraft-in-Australia.pdf
- Dronewatch. (2020, September 14). *Elon Musks 400 Wh/kg-voorspelling ook relevant voor dronesector*. Retrieved April 2021, from <https://www.dronewatch.nl/2020/09/14/elon-musks-400-wh-kg-voorspelling-ook-relevant-voor-dronesector/>
- Dutch Drone Academy. (2021). *EU Droneregels*. Opgehaald van <https://dronewijzer.nl/easa/>
- EASA. (2019). *CS-HPT-DSN*. Wet- en regelgeving. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annex%20to%20ED%20Decision%202019-012-R%20CS-HPT-DSN.pdf>
- EASA. (2021). *Civil Drones (Unmanned aircraft)*. Retrieved Maart 2021, from <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas>
- EASA. (2021). *Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and (EU) 2019/945)*. European Union. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20for%20Unmanned%20Aircraft%20Systems%20%28Regulations%20%28EU%29%202019-947%20and%20%28EU%29%202019-945%29.pdf>
- EASA. (2021). *High-level regulatory framework for the U-Space*. EASA. Opgeroepen op April 2021
- EASA. (2021). *Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems and for urban air mobility in the European Union aviation system*. Opgeroepen op April 2021, van https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/tor_rmt.0230_issue_3_0.pdf
- EASA. (2021). *Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe*. EASA. Opgeroepen op Mei 2021, van <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf>
- EASA. (sd). *Annexes to the draft Commission Regulation on Air Operations - OPS*. EASA. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annexes%20to%20Regulation.pdf>
- Eibfeldt, H. (2020). *Sustainable Urban Air Mobility Supported with Participatory Noise Sensing*. Hamburg. doi:10.3390/su12083320
- Eibfeldt, H., Vogelpohl, V., Stolz, M., Papenfub, A., Biella, M., Belz, J., & Kügler, D. (2020, April 4). The acceptance of civil drones in Germany. *CEAS Aeronautical Journal*, 665-676. doi:10.1007/s13272-020-00447-w

- Environmental and Energy Study Institute. (2019, Februari 22). *Fact Sheet | Energy Storage*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://www.eesi.org/papers/view/energy-storage-2019>
- European Union. (2021). *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 - regulatory framework for the U-Space*. Brussel: Official Journal of the European Union. Opgeroepen op April 2021, van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0664>
- FAA. (1996). *Vertiport characteristics*. Virginia: U.S. Department of Transportation. Opgeroepen op April 2021, van <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA313609.pdf>
- FAA. (2004). *Nonmilitary Helicopter Urban Noise Study*. Washington DC. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/04nov-30-rtc.pdf
- FAA. (2016). *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. Oklahoma City: United States Department of Transportation.
- FAA. (2018). *Advisory Circular; Aiport Terminal Planning*. U.S. Department of Transportation. Retrieved Maart 2021, from https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC-150-5360-13A-Airport-Terminal-Planning.pdf
- FAA. (2020). *Concept of Operations v1.0*. Washington DC: U.S. Department of Transportation. Opgeroepen op Maart 2021, van https://nari.arc.nasa.gov/sites/default/files/attachments/UAM_ConOps_v1.0.pdf
- FAA. (2020). *Concept of Operations v2.0*. Washington DC: U.S. Department of Transportation. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/media/UTM_ConOps_v2.pdf
- FAA. (2020, Juni 3). *Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM)*. Opgeroepen op Februari 2021, van https://www.faa.gov/uas/research_development/traffic_management/
- Fadhil, D. N. (2018). *A GIS-based Analysis for Selecting Ground Infrastructure Locations for Urban Air Mobility*. München. Retrieved Maart 2021, from https://www.bgu.tum.de/fileadmin/w00blj/msm/theses/fadhil_2018.pdf
- Feldhoff, E., & Rogue, G. S. (n.d.). *Determining infrastructure requirements for an air taxi service at cologne bonn airport*. Aachen. Retrieved April 2021, from http://www.via.rwth-aachen.de/downloads/DLRK2020_530069_paper.pdf
- Gemeente Almelo. (n.d.). *Programma van Eisen Verkeer en Vervoer*. Retrieved Mei 2021, from https://www.planviewer.nl/imro/files/NL.IMRO.0141.BP00030-0601/tb_NL.IMRO.0141.BP00030-0601_81.pdf
- GVB. (2021). *Bus in cijfers*. Opgeroepen op April 2021, van <https://over.gvb.nl/ov-in-amsterdam/feiten-en-cijfers/bus-in-cijfers/>
- Hasan, S. (2018). *Urban Air Mobility (UAM) Market Study*. Presentatie, NASA. Opgehaald van <https://ntrs.nasa.gov/citations/20190002046>

- ICAO. (1979). *Annex 5; Units of Measurement to be used in air and ground operations*. ICAO. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://www.theairlinepilots.com/forumarchive/quickref/icao/annex5.pdf>
- ICAO. (2001). *Annex 11; Air Traffic Services*. Opgeroepen op Februari 2021
- ICAO. (2005). *Annex 2: Rules of the Air*. Opgeroepen op Februari 2021
- ICAO. (2013). *Annex 14; Aerodromes*. Montréal. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-14-Aerodromes-Vol-II-Heliports.pdf>
- ICAO. (2016). *Doc 4444; Air Traffic Management*. Montréal: International Civil Aviation Organization. Opgeroepen op Februari 2021
- ICAO. (2018). *Annex 16; Environmental Protection*. Retrieved Maart 2021
- ICAO. (n.d.). *UTM Guidance*. Retrieved Februari 2021, from <https://www.icao.int/safety/UA/Pages/UTM-Guidance.aspx>
- Infas Institut. (2018). Akzeptanz unbemannter Luftfahrzeuge. Opgeroepen op April 2021, van https://www.dlr.de/content/de/downloads/2018/akzeptanz-unbemannter-luftfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile&v=10
- Informatiepunt Leefomgeving. (2021). *Regelgeving voor de fysieke leefomgeving*. Retrieved Maart 2021, from <https://iplo.nl/regelgeving/>
- International Transport Forum (ITF). (2021). Ready for Take Off? Integrating Drones into the Transport System. Parijs: OECD Publishing. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://www.itf-oecd.org/integrating-drones-transport-system>
- Jaeger, J. (2021). Let's talk about the future - UAM: Ground Operations & Infrastructure / Lufthansa Systems. [YouTube]. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.youtube.com/watch?v=9XePBvHXuOc>
- Kadaster. (2021, April). *Kadasterdata*. Opgehaald van Online kadastrale kaart: <https://www.kadasterdata.nl/kadastrale-kaart#/4.3197421/52.0045607/17.5>
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2017). *Drones in het personen- en goederenvervoer*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.kimnet.nl/publicaties/rapporten/2017/09/26/drones-in-het-personen---en-goederenvervoer>
- King, H. (2021, Februari 1). World's first airport for flying cars and delivery drones to launch in 2021. *Passenger Terminal Today*. Opgeroepen op Februari 2021, van https://www.passengerterminaltoday.com/news/technology/worlds-first-airport-for-flying-cars-and-delivery-drones-to-launch-in-2021.html?utm_source=mailing&utm_medium=email
- Kleinbekman, I. (2019). *eVTOL Arrival Sequencing and Scheduling in On-Demand Urban Air Mobility*. Delft. Opgeroepen op April 2021, van <http://resolver.tudelft.nl/uuid:0d0a18da-de1f-4cfa-afe8-b03314b0db49>
- KPN. (2021). *Dekkingskaart mobiel bellen en internetten*. Retrieved Maart 2021, from <https://www.kpn.com/netwerk/dekkingskaart.htm>
- Kysely, D. (2019, Februari 4). *Infrastructure in Urban Air Mobility*. Opgeroepen op Maart 2021, van SkyPorts: <https://skyports.net/2019/02/infrastructure-in-urban-air-mobility/>

- Learn, B. (2020). Sky Design Considerations. [YouTube]. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.youtube.com/watch?v=t1oJzOF5iN4>
- Li, W., Li, Y., Deng, H., & Bao, L. (2018, Juli 19). Planning of Electric Public Transport System under Battery Swap Mode. *Sustainability*, 10(7). doi:doi.org/10.3390/su10072528
- Lilium. (2020, Juli 2). *Designing a scalable vertiport*. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://lilium.com/newsroom-detail/designing-a-scalable-vertiport>
- Lilium. (2021, Maart). *Investor Presentation*. Retrieved Maart 2021, from <https://lilium.com/investors>
- Lilium. (2021). *Lilium Jet*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://lilium.com/jet>
- Lilium. (sd). *Lilium Jet*. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://lilium.com/the-jet>
- Lilium Technology (2021). Lilium Jet Technology with Daniel Wiegand, Matthias Meiner, Brian Phillipson & Alastair McIntosh. [YouTube]. Opgeroepen op April 2021, van <https://www.youtube.com/watch?v=s0VNWlghgp0>
- Lineberger, R., Hussain, A., Metcalfe, M., & Rutgers, V. (2019). *Infrastructure barriers to the elevated future of mobility*. Deloitte Development LLC. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/5103_Infrastructure-barriers-to-elevated-FOM/DI_Infrastructure-barriers-to-elevated-FOM.pdf
- Littau, P. (2021). Reshaping the future of logistics with Volodrone. Opgeroepen op April 2021, van <https://mobilitet2021.no/wp-content/uploads/2021/02/Peter-Littau.pdf>
- Luchtverkeersleiding Nederland. (2021, Januari). *En Route Charts; Controlled airspace (ENR 6-2.1)*. Retrieved Februari 2021, from <https://www.lvn.nl/eaip/2021-01-14-AIRAC/html/index-en-GB.html>
- LVNL. (2021, Januari 28). *AIP AD 3.EHHA-VAC*. Retrieved April 2021
- LVNL. (2021, Februari 25). *VFR chart The Netherlands*. Retrieved Maart 2021, from <https://vfrchart.lvn.nl/>
- McIntosh, A. (2021). *Technology behind the Lilium Jet*. Opgeroepen op April 2021, van <https://lilium.com/newsroom-detail/technology-behind-the-lilium-jet>
- Minister van Verkeer en Waterstaat en de Staatssecretaris van Defensie. (2021, Februari 16). *Regeling luchtverkeersdienstverlening*. Retrieved Maart 2021, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0009899/2021-02-16>
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Defensie. (2012). *Luchtruimvisie; Huidige inrichting en beheer van het Nederlandse luchtruim*. Den Haag. Opgeroepen op Februari 2021
- Morgan Stanley Research. (2019, Januari 23). *Are Flying Cars Preparing for Takeoff?* Retrieved from <https://www.morganstanley.com/ideas/autonomous-aircraft>
- Mourik, R. (2020). *Verkenning Urban Air Mobility*. TwynstraGudde. Opgeroepen op Februari 2021
- NASA. (2018, November). *Urban Air Mobility (UAM) Market Study*. Opgehaald van <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/uam-market-study-executive-summary-v2.pdf>

- NATA. (2019). *Urban Air Mobility: Considerations for Vertiport Operation*. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.nata.aero/assets/Site_18/files/GIA/NATA%20UAM%20White%20Paper%20-%20FINAL%20cb.pdf
- Nathen, P. (2021). *Architectural performance assessment of an electric vertical take-off and landing aircraft based on a ducted vectored thrust concept*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://lilium.com/investors>
- Nationale Spoorwegen (NS). (2020, Februari 27). *NS Jaarcijfers 2019*. Opgeroepen op Februari 2021, van NS: <https://nieuws.ns.nl/ns-jaarcijfers-2019--treinreiziger-gaat-er-in-5-jaar-fors-op-vooruit/>
- Netbeheer Nederland. (2021). *Netcapaciteit*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://www.netbeheernederland.nl/dossiers/netcapaciteit-60>
- Porsch Consulting. (2018). *The Future of Vertical Mobility*. Opgeroepen op Maart 2021, van https://www.porsche-consulting.com/fileadmin/docs/04_Medien/Publikationen/TT1371_The_Future_of_Vertical_Mobility/The_Future_of_Vertical_Mobility_A_Porsche_Consulting_study__C_2018.pdf
- Port of Antwerp. (2021). *Geozone*. Retrieved April 2021, from Drones in the port area: <https://www.portofantwerp.com/en/drones-port-area#luchtvaart>
- PostNL. (2021, Maart 10). *PostNL onthult nieuwe gerobotiseerde pakketautomaat in samenwerking met Jumbo*. Opgeroepen op Maart 2021, van PostNL persberichten: <https://www.postnl.nl/over-postnl/pers-nieuws/nieuws/2021/postnl-onthult-nieuwe-gerobotiseerde-pakketautomaat-in-samenwerking-met-jumbo.html>
- PricewaterhouseCoopers LLP. (2018). *Skies without limits; Drones - taking the UK's economy to new heights*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://www.pwc.co.uk/intelligent-digital/drones/Drones-impact-on-the-UK-economy-FINAL.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2019). *Kader inrichting verzorgingsplaatsen*. Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud. Opgeroepen op April 2021, van https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_165221_31/
- Rijkswaterstaat. (sd). *Minder files en betere doorstroming*. Opgeroepen op Februari 2021, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/minder-files/index.aspx>
- Römers, I., & Bakkar, A. (2021). *Vertiport Seaport-Airport Rotterdam*. Opgeroepen op Maart 2021
- Scerri, A. (2020, Oktober 2). *Performance guarantees will be critical for eVTOL market adoption*. *EVTOL*. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://evtol.com/opinions/evtol-performance-guarantees/>
- Schiphol & Dutch Drone Delta. (2021). *Onderzoek naar de toekomst van Urban Air Mobility*. Opgehaald van <https://www.schiphol.nl/nl/innovatie/pagina/onderzoek-naar-toekomst-urban-air-mobility-dutch-drone-delta/>
- SESAR. (2019). *Corus: U-space Concept of Operations*. Corus Consortium. Opgeroepen op Maart 2021

- SESAR Joint Undertaking. (2017). *U-Space Blueprint*. Luxemburg. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF>
- SESAR Joint Undertaking. (2020). *Supporting Safe and Secure drone operations in Europe*. Luxemburg: Office of the European Union. Opgeroepen op Februari 2021
- Shaheen, S., Cohen, A., & Farrar, E. (2021). *The Potential Societal Barriers of Urban Air Mobility*. Universiteit van Californië. doi:10.7922/G28C9TFR
- Soarizon. (2020, September 10). *What are VLOS, EVLOS and BVLOS? Why do they affect drone operations?* Retrieved Maart 2021, from <https://www.soarizon.io/news/what-are-vlos-evlos-and-bvlos-why-do-they-affect-drone-operations>
- Taylor, M., Saldanli, A., & Park, A. (sd). *Analysis of Alternate Vertiport Designs*. Fairfax: George Mason University. Opgeroepen op April 2021, van https://catsr.vse.gmu.edu/pubs/IEEEConferencePaper_AnalysisAlternateVertiportDesignsICNS.pdf
- Tesla. (2019, Maart 6). *Introducing V3 Supercharging*. Retrieved Maart 2021, from https://www.tesla.com/nl_NL/blog/introducing-v3-supercharging?redirect=no
- To70. (sd). *Strategic planning of airport and airspace*. Opgeroepen op Mei 2021, van <https://to70.com/areas-of-expertise/strategic-planning/>
- TU Delft. (2021, Maart 09). *Ambulance vast in het verkeer? Niet als het een 'Urban Air Vehicle' is*. Opgehaald van Ambulance vast in het verkeer? Niet als het een 'Urban Air Vehicle' is
- Uber Elevate. (2016). *Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation*. Opgeroepen op Februari 2021
- United Nations. (2020). *Demographic Yearbook (70th ed.)*. New York. Opgehaald van <https://unstats.un.org/unsd/demographic-social/products/dyb/dybsets/2019.pdf>
- Vascik, P. D., & Hansman, R. J. (2019). Development of vertiport capacity envelopes and analysis of their sensitivity to topological and operational factors. *AIAA Scitech 2019 Forum*. San Diego. doi:10.2514/6.2019-0526
- VNG Realisatie. (2020). *Drones binnen de gemeente*. Den Haag. Opgeroepen op Februari 2021
- Volocopter (2018). *Mobility of the Future: How Volocopter Integrates Air Taxis Infrastructure into Megacities*. [YouTube]. Retrieved April 2021, from <https://www.youtube.com/watch?v=jO24YaCYu80>
- Volocopter. (2021). *The roadmap to scalable urban air mobility*. Bruchsal: Volocopter GmbH. Opgeroepen op Maart 2021, van <https://press.volocopter.com/images/pdf/Volocopter-WhitePaper-2-0.pdf>
- Volocopter. (sd). *Press - images*. Volocopter. Opgehaald van <https://press.volocopter.com/index.php/media-images/products>
- Volocopter. (sd). *Volodrone*. Opgeroepen op Februari 2021, van <https://www.volocopter.com/en/volodrone/>
- World Health Organization. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Opgehaald van Environment and health: <https://www.euro.who.int/en/health->

topics/environment-and-health/noise/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region

Yedavalli, P., & Mooberry, J. (2019). *An Assessment of Public Perception of Urban Air Mobility*. Airbus. Opgeroepen op Maart 2021

Zandt, I., Keuken, R., & Oosterlee, A. (2020). Geluidhinder en Slaapverstoring van vliegverkeer in de wijde omgeving van Luchthaven Schiphol. Veiligheidsregio Kennemerland.

Bijlagen



Bijlage I: brainstormsessie uitwerking

De eerste brainstormsessie die medio februari 2021 plaatsvond is uitgewerkt op basis van een transcriptie van de sessie. Daaruit zijn middels een gestructureerd format de uitgangspunten van de betrokken partners van de Dutch Drone Delta uiteengezet (Tabel 27). De concept operaties en aannames zijn mede op deze sessie georganiseerd.

Tabel 27: Uitwerking brainstormsessie Dutch Drone Delta

Titel	Antennemasten-dekking
Inbrenger	KPN
Categorie	Grondinfrastructuur
Beschrijving	Als je naar een vlucht van 40 kilometer kijkt, dan heb je in potentie over zo'n 180 masten die aangeroepen zouden kunnen worden door een drone. Dus qua infrastructuur, zou je aan de ene kant een kader moeten hebben van de minimale netwerkverbinding die nodig zijn, oftewel het feit of die verbinding behaalt kan worden met de huidig infrastructuur. Zo niet, dan kunnen we kijken naar additionele grondinfrastructuur. Dat kan zijn of extra masten, of met extra antennes die gericht zijn richting de lucht. De dichtheid van masten is in stedelijke omgeving hoger, maar dat hoeft in principe niet uit te maken voor de netwerksterkte en kwaliteit die je ontvangt. Ik denk dat er een kader moet zijn van welke snelheden en welke latency er nodig is voor dit soort dronevluchten, zodat je ook in kaart kan brengen of je een bepaalde corridor wel of niet kan halen.

Titel	Slicing en 5G
Inbrenger	KPN
Categorie	Luchtinfrastructuur
Beschrijving	De luchtinfrastructuur kan KPN onder andere vertellen over corridors en dergelijke. Bijvoorbeeld slicing, de 5G-techniek, waarbij je eigenlijk ieder device die daar behoefte aan heeft, een bepaalde functionaliteit aangereikt krijgt en bij wijze van spreken ook gevolgd wordt vanuit de antennes. Dus dan kan ik me ook voorstellen voor wat betreft de luchtinfrastructuur je gaat gebruiken. Daarmee bedoel ik te zeggen dat, als je hebt gedefinieerd dat je een bepaalde latency nodig hebt en een bepaalde bandbreedte, dat je die in een soort slicing een stukje van de data aangereikt krijgt. Dus dat zou ook een onderdeel kunnen zijn van de luchtinfrastructuur.

Titel	Aanpakverschillen grond- en luchtinfrastructuur
Inbrenger	Port of Rotterdam
Categorie	Grond- en luchtinfrastructuur
Beschrijving	DHL die wat kleine pakketjes naar een tankstation vliegt, is een heel leuk concept, ik denk ook een heel realistisch concept. Maar tegelijkertijd zie ik een drone met een container en het concept dat je liet zien van Volocopter wordt, zijn wel heel uiteenlopende concepten, die allemaal denk ik, een hele andere infrastructuur op de grond nodig hebben. Op het moment dat je in de lucht, dat vraag ik me af, zit zoals die infrastructuur met U-Space en de verbinding. Op dat moment vraag ik me af of niet grosso modo elke drone hetzelfde is, snap je? Elke keer moet de drone op een bepaalde manier gemonitord worden en heeft verbinding nodig en noem maar op, dus daar valt het verschil misschien een beetje werkt, dat kan ik me zo voorstellen. Maar voor de infrastructuur op de grond is het wezenlijk anders van welk concept je uitgaat.

Titel	Integratie luchtruim
Inbrenger	LVNL & NLR
Categorie	Luchtinfrastructuur
Beschrijving	In de lucht maakt eigenlijk niet zoveel uit en dat is misschien ook wel meteen mijn vraag bij dit verhaal. Wat is het verschil tussen in Urban Air Mobility en de huidige mogelijkheden voor helikopters bijvoorbeeld, lichte helikopters. Betekent dat, dat we een nieuwe manier moeten gaan vinden van luchtruiminrichting of kunnen sommige operaties ook volgens de huidige VFR-regels bijvoorbeeld vliegen. Dus denk dat het goed is om na te denken over wat de verschillen zijn met de huidige operatie. Zoals bijvoorbeeld nu een minimale vlieghoogte van 500ft die is met name bedoelt dat als vliegers een probleem krijgen ze nog veilig een weiland kunnen vinden om een noodlanding te maken. En dan kan je je ook bij drones afvragen, wat gebeurt er als er dus heel veel lager word gevlogen? Dus nou, dat soort vragen zijn denk ik belangrijk, maar helemaal eens dat het qua regels in de lucht niet uit wat er vliegt. - LVNL Als het gaat om het U-Space concept, wat nog verre van uitgestuiterd is, daar wordt nu ook een project voor opgetuigd vanuit de EU, maar ik kan me wel voorstellen dat je op termijn een soort van infrastructuur krijgt waarbij het mogelijk wordt om hoge prioriteit vluchten, denk aan medische, en andere zaken met een hoge prioriteit, bijvoorbeeld de brandweer, dat die wel een soort van voorkeurspositie in zo'n infrastructuur krijgen. Dus in die zin kan er wat ongelijkwaardigheid optreden als het gaat om de drone gebruikers. Voor de rest denk ik dat het voor reguliere gebruikers inderdaad voor iedereen zo'n beetje gelijk is. – NLR

Titel	Meenemen van sociale acceptatie
Inbrenger	Space53
Categorie	Maatschappelijke impact
Beschrijving	Volgens mij, als je kijkt naar de infrastructuur op de grond is het voor een gemeente denk ik vooral interessant om daarbij aan te haken om te kijken wat dat ruimtelijk betekent. Maar ik pleit er toch ook voor om niet te vergeten dat ondanks dat het U-Space-concept geen fysieke interventie hoeft te doen het wel degelijk effect heeft op de grond afhankelijk van de operatie. Ook hoe de publieke perceptie is, ondanks dat je je richt op de infrastructurele impact. Maar je kunt, denk ik niet vergeten dat ook als je in de lucht vliegt dat het toch impact heeft om in ieder geval de perceptie ook van mensen. En in zekere zin zou je dat parallel kunnen trekken tussen het verschil of je mensen met een elektrische auto langs iemands huis laat rijden of met een goederentrein.

Titel	Grondinfrastructuur impact-analyse
Inbrenger	Antea Group
Categorie	Grondinfrastructuur
Beschrijving	Als je kijkt naar de omgeving, waar de drone overheen vliegt. Als je nu nieuwe infrastructuur aanlegt dan voer je daar planstudies op uit. Daar heb je eigenlijk een aantal onderdelen waar je dan naar kijkt: externe veiligheid, naar de impact op geluid, impact op de ecologie en dat soort elementen. Ik kan me voorstellen dat als je naar deze twee voorbeeldroutes kijkt, je daar wel een soort planstudie-achtig iets op kan loslaten. En datzelfde geldt voor zo'n vertiport zelf. En dan pak je verschillende punten dus eigenlijk al automatisch mee. Dat is dus wel een hele relevante.

Titel	Afweging concept operatie locatie
Inbrenger	NS
Categorie	Concept operatie
Beschrijving	NS: Ik had niet verwacht dat je op de Randstad zou komen, want als je kijkt die kansen zou ik denken dat de noordelijke provincies iets meer zouden lenen voor de behoefte die dr is. RWS: Het gaat mij erom dat het naar de snelweg is, dus als diezelfde type route vanaf Groningen Airport naar de snelweg is maakt het voor mij niet uit. Antea: Omdat dit een fictieve case is zou ik juist iets in de Randstad pakken, dat is misschien wat moeilijker, maar dit is nu n fictieve case. – NLR en Achmea zijn het daarmee eens – KPN: Vanuit KPN maakt het niet uit.

Titel	Vliegen in CTR of niet?
Inbrenger	LVNL
Categorie	Concept operatie
Beschrijving	Binnen een CTR vliegen kan prima. De vraag is of je anders gaat opereren dan een helikopter? Wil je geen radio of klaring bijvoorbeeld krijgen. Als je er vanuit gaat dat de operatie continue plaatsvindt, dan gaat de luchtverkeersleider daar namelijk geen zin in hebben. Dus ik verwacht echt dat er een U-Space gebied moet komen, en als je dat dan zonder luchtverkeersleiding doet, dan moet je je afvragen wat het verschil is van wel of niet in de CTR vliegen. Op dit moment maakt het wel uit, want daar vliegen geen vliegtuigen waar je niet van af weet. Dus als je wel met luchtverkeersleider wil vliegen dan is binnen een CTR goed, maar anders maakt het niet uit. Overigens moet je bij het eerste afvragen of het dan echt UAM is. Qua capaciteit zit er ook n groot verschil in. Het afhandelen door een luchtverkeersleider heeft een stuk lagere capaciteit dan het aanwijzen van U-Space gebied met automatische separatie.

Titel	Tot hoever loopt infrastructuur door?
Inbrenger	Arjan van Vliet - Ministerie
Categorie	Lucht- en grondinfrastructuur
Beschrijving	Omdat het een fictieve case is zou ik toch willen doorgaan op UAM. En dat je er dus van uitgaat dat sommige dingen er zijn, zoals Detect en Avoid-systeem.

Titel	Invloed verzekering op de operatie
Inbrenger	Achmea
Categorie	Concept operatie
Beschrijving	Wat voor impact hebben de operaties op de verzekerings-kant? Aansprakelijkheid etc.

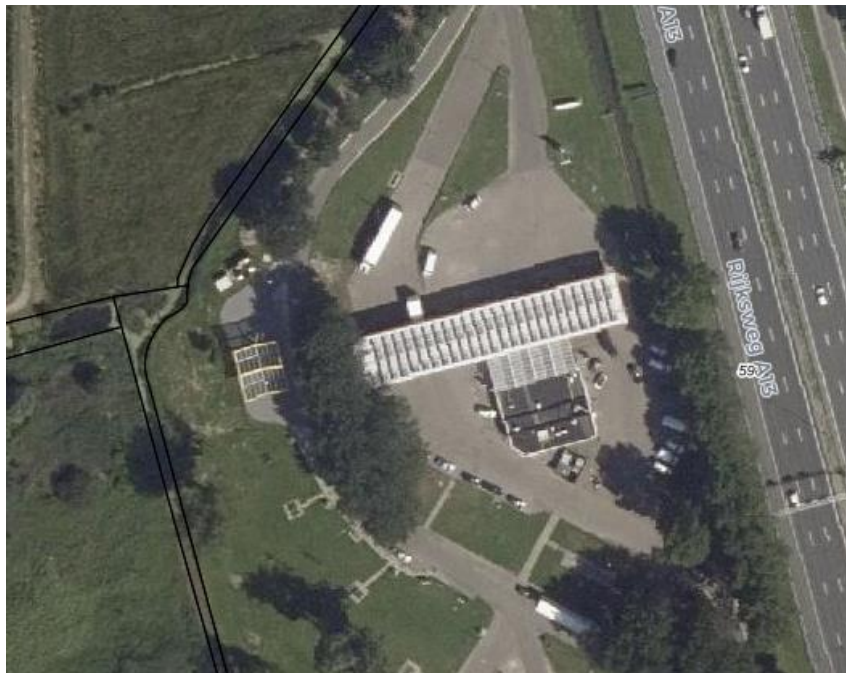
Bijlage II: concept operatie locaties

De locaties twee concept operaties, goederen- (sectie A) en passagiersvervoer (sectie B), zijn te vinden in de bijlage.

Goederen concept operatie



Figuur 30: Goederen-operatie vertrekpunt (Kadaster, 2021)



Figuur 31: Goederen-operatie eindpunt (Kadaster, 2021)

Passagiers concept operatie



Figuur 32: Personenvervoer-operatie vertretpunt (Kadaster, 2021)



Figuur 33: Personenvervoer-operatie aankomstpunt (Kadaster, 2021)

Bijlage III: interview PostNL

De uitwerking van het interview met PostNL is in deze bijlage uiteengezet.

Open interview – 10 maart '21

In tegenstelling tot de andere interviews, is het eerste interview met PostNL een open interview geworden. Het doel van deze sessie was namelijk om gezamenlijk na te denken over de concept-operatie voor goederenvervoer. Daarbij zijn ook de aannames en getallen gebaseerd op het gesprek met PostNL. Vanwege de methode waarop het interview is gehouden (open), is het interview in een brainstorm-vorm uitgewerkt.

Tabel 28: Uitwerking open interview PostNL

Titel	Aandeel PostNL Nederland
Beschrijving	Grofweg 60 tot 70% van de Nederlandse pakketten wordt door PostNL bezorgd. Dat komt neer op zo'n 1 tot 1,4 miljoen pakketten per dag. Uitgaande van één miljoen, verdeeld over 25 sorteercentra, betekent dat, dat er gemiddeld 40.000 pakketten per distributiecentrum per dag worden vervoerd.
Titel	Pakketautomaat
Beschrijving	Een probleem waar veel vervoerders mee zitten is de verschillen in pakketgrootte, en het gebrek aan standaardisering. Grofweg heeft twee derde van de pakketten een inhoud van zo'n 12 liter, wat neer komt op schoenendoos-formaat. Verder zou je kunnen aannemen dat die pakketten gemiddeld zo'n 2 kilogram zwaar zijn. <i>Gevraagd wordt naar het aandeel van pakketten bij pakketautomaten.</i> Het aandeel van pakketten naar afhaalpunten (waar ook pakketautomaten onder vallen) is vrij klein. Consumenten willen het vaak toch thuisbezorgd hebben. PostNL is echter wel steeds meer pakketautomaten aan het uitrollen in Nederland. Desalniettemin kan het interessant zijn om naar autonome vluchten te kijken die ook geautomatiseerd de pakketautomaten aanvullen. Vanuit PostNL hebben we de wens om in de toekomst autonome vluchten uit te voeren.
Titel	Infrastructuur distributiecentrum
Beschrijving	Waar je rekening mee moet houden is dat alle daken van een sorteercentrum vol liggen met zonnepanelen. Voor de concept-operatie zou het sorteercentrum in Den Hoorn langs de A4 een optie kunnen zijn om binnen de CTR van Rotterdam te vliegen. Qua grote is het afhankelijk van het aantal beweging. Stel 4 drones tegelijk afhandelen.). Dan heb je tussen de 30 en 40 pakketten per uur per drone (uitgaande van 2 minuten afhandelen). Dus tussen de 120 en 160 per uur op die terminal. Dat is de voorraad van een 60-70% beladen pakketbus. Dus dat wordt geen heel grote hub; neem voor de terminal in eerste instantie bijvoorbeeld het volume van vier bussen (12 x 2,55 x 3,05 m (GVB, 2021)). Dan heb je voor 4 uur werkvoorraad.

Bijlage IV: interview Port of Rotterdam

Het oriënterende interview start met een korte introductie, waarbij partner Port of Rotterdam al eerder betrokken is in dit project. Hierdoor is de introductie kort, en is het interview gestart met de drie standaard vragen die bij elk interview worden gesteld.

Uitwerking interview 19-03-2021 met Port of Rotterdam.

Standaardvraag 1: Wat is jullie visie op het gebied van Urban Air Mobility (UAM)?

Wij denken dat UAM in de toekomst zeker gaat plaatsvinden. We denken ook dat het een goede aanvulling is op de huidige transportmogelijkheden in de haven. En als je UAM definieert als passagiersvluchten, dan denken we dat er zeker behoefte aan is aangezien dit matig geregeld is in de haven. Er is nauwelijks openbaar vervoer bijvoorbeeld. Veel bedrijven regelen eigen busjes, dus dat geeft aan dat er een vervoerbehoefte heeft.

Daarnaast testen we autonomie veelvuldig in de haven op het gebied van goederen, dus voor schepen en het laden/lossen. Op gebied van passagiersvervoer doen we dit nog niet, en daar liggen kansen voor UAM.

Standaardvraag 2: Welke stappen nemen jullie al op het gebied van infrastructuur om die visie waar te maken?

We doen natuurlijk mee met de Dutch Drone Delta, en nog het AMU-LED project. Dus we kijken mee naar de behoeftes op gebied van infrastructuur. Voor goederen autonomie zijn er al concrete gebieden toegewezen, en zelfs al in aanleg. Dus dat is voor ons al een stuk eerder in ontwikkeling. We zullen zelf niet als vervoerder gaan optreden, maar wij zien onze rol in de ontwikkeling van de grond- en luchtinfrastructuur. Ruimte in de haven is zeer schaars, dus ik denk dat we daar ook een belangrijke rol in (gaan) hebben.

Interviewer: legt uit hoe de volgende fase van het onderzoek eruit ziet.

Standaardvraag 3: Welke bijdrage denken jullie vanuit jullie expertise te kunnen leveren op de impact-analyse van dit onderzoek?

Ik denk dat wij hierin heel erg mee willen denken. Als het gaat om infrastructuur, dan heb ik geleerd dat daar van alles bij komt kijken. Dat heeft over het algemeen vele consequenties die wij nog niet kunnen overzien. Wij kunnen daarin wel meedenken vanuit zowel het economisch perspectief als het meedenken in alternatieve locaties bijvoorbeeld. Tot slot kunnen we mee doen in het meedenken voor alle benodigde aanpassingen en ontwikkelingen.

Vooraf gemaakte topic-lijst voor de open vragen tijdens het ongestructureerde deel van dit interview:

- *Businesscase voor de concept operatie capaciteit bepaling*
- *Infrastructuur op de haven (Transferium)*
- *Beheer van het luchtruim in het havengebied (verkeersmanagement, scheepverkeer)*

Open vraag: Hoe ziet jullie businesscase eruit voor mogelijke UAM-vluchten in de haven?

Ik heb een schatting gemaakt waarbij er zo'n 30 zeevarenden per dag vervoerd worden vanuit de haven naar het vliegveld. Dit is wat ik dus schat qua totale aantallen, waarbij je er dus vanuit gaat dat iedereen de vertiport gebruikt. Maar dat is een verkeerde aanname denk ik. Stel dat de kosten vergelijkbaar zijn met een taxi of trein, dan kan je wel van 100% uit gaan. Maar als

de kosten significant hoger zijn, dan zal je bijvoorbeeld van 50% uit moeten gaan. Daarnaast moet je natuurlijk ook naar de tijdswinst kijken.

Je hebt het dan over alleen die doelgroep, maar je hebt ook nog veel werknemers die naar de haven moeten. Het is daar niet bewoont, dus allemaal transport. Dus ik denk dat dat de twee potentiële doelgroepen zijn.

Open vraag: Hoe zien jullie de toekomst van Transferium Maasvlakte, die gebruikt wordt in de concept operatie?

Het transferium is een gebied in ontwikkeling, waar we verschillende modaliteiten aan elkaar willen knopen. Het is echt nog in ontwikkeling, dus de vraag is altijd wie doen er mee. Als we zeggen dat we hier ook met passagiersdrones willen opereren, dan zullen we daar dingen voor gaan ondernemen. Alle modaliteiten bij de OV-hub moeten uiteindelijk een toegevoegde waarde hebben.

Open vraag: Is er ook al nagedacht over hoe zo'n vertiport bij het Transferium zou moeten worden vormgegeven (qua locatie bijvoorbeeld)?

Ja over de locatie bij het Transferium is nagedacht, zeker gezien de schaarste ruimte in de haven. Ik zal je daar nadere informatie over toesturen.

Extra informatie over het Transferium wordt toegestuurd naar de interviewer.

Open vraag: Zien jullie nog meer potentiële locaties in het havengebied?

Er zijn nog wel wat potentiële locaties, maar zoals gezegd zijn die wel schaars. Wat belangrijk voor ons is, is het bepalen van waar zo'n hub het beste functioneert. Transferium is voor ons wel echt de eerste aangewezen plaats.

Open vraag: Zien jullie nog een rol in het beheren van het luchtruim rondom de haven?

Wij willen een rol in de aanvraagprocedure voor de vlucht. In de hele procedure moeten ook de bedrijven betrokken worden zodra je het hebt over vluchten die over het havengebied gaan. Er moet dus een flow georganiseerd worden waar ook wij in betrokken worden om toestemming te geven om over het havengebied te vliegen. Dus daar willen we ook een rol in hebben. Voor het echte verkeersmanagement in de lucht kan ik me voorstellen dat wij daarin betrokken raken, maar daar is nog niks over besloten.

Open vraag: Hoe kijken jullie tegen de integratie met het scheepverkeer aan?

Ik denk sowieso dat de drone moet weten dat het schip er is. De schepen zullen niet uitwijken voor de drones, dus als er iemand van koers moet veranderen dan is het de drone. We zijn ook aan het nadenken over hoe we kunnen doorgeven wat de risicoklasse van een schip is, dus dat is de communicatie naar de drone (operator). Dus dat moet je wel in een bepaalde mate automatiseren in bijvoorbeeld het UTM-systeem. Daarnaast moet ook het schip weten dat er een drone in de omgeving is.

Interviewer: legt uit wat de komende tijd de planning is.

Standaardvraag 4: Welke resultaten van dit onderzoek zouden jullie kunnen helpen met het waarmaken van de visie op gebied van UAM?

We zouden het interessant vinden hoeveel plaats er eigenlijk voor een vertiport is. Wat moet er wijken, wat is echt een *no go*, hoe ver moeten windmolens er vandaan zijn. Dat zijn wel allemaal dingen waar wij geïnteresseerd in zijn.

Standaardvraag 5: Op welke manier willen jullie betrokken blijven in dit onderzoek?

Als je concretere resultaten hebt, dan kunnen we met mensen vanuit het havenbedrijf kijken naar het overzicht. Daar kunnen we mensen op gebied van infrastructuur bij betrekken.

Einde interview na 27:00 minuten.

Bijlage V: luchtruimclassificaties

Een uitgebreider overzicht ten aanzien van de luchtruimclassificatie is gegeven in de onderstaande afbeelding (Figuur 34).

Klasse		IFR	VFR
A	Separatie	Alle luchtvaartuigen	VFR niet toegestaan
	Service	Luchtverkeersleiding	VFR niet toegestaan
	ATC klaring	Vereist	VFR niet toegestaan
B	Separatie	Alle luchtvaartuigen	Alle luchtvaartuigen
	Service	Luchtverkeersleiding	Luchtverkeersleiding
	ATC klaring	Vereist	Vereist
C	Separatie	IFR t.o.v. IFR IFR t.o.v. VFR	VFR t.o.v. IFR
	Service	Luchtverkeersleiding	Luchtverkeersleiding voor separatie t.o.v. IFR, luchtverkeersinformatie (traffic info) t.o.v. VFR
	ATC klaring	Vereist	Vereist (En-route GAT VFR vluchten boven FL195 worden niet toegestaan)
D	Separatie	IFR t.o.v. IFR	Niet verleend
	Service	Luchtverkeersleiding en luchtverkeersinformatie (traffic info) over VFR vluchten	Luchtverkeersleiding / Luchtverkeersinformatie (traffic info) over IFR en VFR vluchten
	ATC klaring	Vereist	Vereist
E	Separatie	IFR t.o.v. IFR	Niet verleend
	Service	Luchtverkeersleiding en voor zover uitvoerbaar luchtverkeersinformatie (traffic info) over VFR vluchten	Luchtverkeersinformatie voor zover uitvoerbaar (traffic info)
	ATC klaring	Vereist	Niet vereist
F	Separatie	IFR t.o.v. IFR voor zover uitvoerbaar	Niet verleend
	Service	Luchtverkeersadvies (ATAS) en vluchtinformatie op verzoek	Vluchtinformatie op verzoek
	ATC klaring	Niet vereist	Niet vereist
G	Separatie	Niet verleend	Niet verleend
	Service	Vluchtinformatie op verzoek	Vluchtinformatie op verzoek
	ATC klaring	Niet vereist	Niet vereist

Figuur 34: Luchtverkeersdeinstverleningsklassen volgens de ICAO standaard (Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Defensie, 2012)

Bijlage VI: interview LVNL

Het oriënterende interview start met een korte introductie, waarbij partner Luchtverkeersleiding (LVNL) al eerder betrokken is in dit project. Hierdoor is de introductie kort, en is het interview gestart met de drie standaard vragen die bij elk interview worden gesteld.

Uitwerking interview 23-03-2021 met LVNL.

Standaardvraag 1: Wat is jullie visie op het gebied van Urban Air Mobility (UAM)?

We hebben eigenlijk geen formele visie op gebied van UAM, wel voor drones. Wij doen niet per se iets vanuit LVNL met bijzondere luchtvaartuigen. We handelen bijzondere luchtvaartuigen wel af, maar hanteren daarbij vooralsnog de luchtvaartstandaarden zoals die gelden vanuit wet- en regelgeving, zolang er geen andere regels zijn voor UAM-voertuigen. Als je het aan mij vraagt is het wel de ontwikkeling van drones richting U-Space. UAM moet daarin onderdeel worden van alle luchtruim gebruikers, waarbij UAM en bemande luchtvaart door elkaar gaan en van elkaar op de hoogte zijn. Daarnaast in toenemende mate onderlinge separatie waardoor de luchtverkeersleiding er minder (actief) mee betrokken is.

Standaardvraag 2: Welke stappen nemen jullie al op het gebied van infrastructuur om die visie waar te maken?

Tegen UAM-operators zeggen we nu, gedraag je zoals een 'normaal' vliegtuig. Er is al heel veel in de huidige luchtvaart, dus gebruik de komende jaren daar zoveel van. Maar zodra je wel richting automatische en autonome moeten we wel gaan denken over onderlinge separatie en afstemming met mede luchtruimgebruikers. De stappen die we daar nu voor zetten is het project plan vanuit het ministerie naar U-Space. Waarbij je dus specifieke stukken luchtruim als U-Space classificeert. Daar werken we nu naartoe met U-Space prototype luchtruim. In de toekomst zullen we daar ook heen gaan waarbij je dus of in U-Space klasse luchtruim vliegt met corridors bijvoorbeeld, of flexibelere in andere klassen waarbij wel de informatievoorziening op orde moet zijn. Samen met partners zetten we daarin stappen om de vluchtaanvraag en reserveringsgebieden op de kaart te zetten zodat je weet waar drones vliegen. Die infrastructuur is dus nu wel aan het ontwikkelen. De volgende stap is dat het ook gevolgen heeft voor de huidige bemande vliegtuigen waarbij je in specifiek luchtruim (U-Space) niet mag vliegen tenzij je aangesloten bent in het U-Space netwerk en je informatie daarvan kan ontvangen in de cockpit.

Interviewer: legt de beoogde concept operaties uit en met de bijbehorende scope voor het luchtruim.

Standaardvraag 3: Welke bijdrage denken jullie vanuit jullie expertise te kunnen leveren op de impact-analyse van dit onderzoek?

Zeker als je het over CTR-gebied hebt, daar moeten wij toestemming voor geven. Dat kan gewoon met een vluchtaanvraag. Verder is het natuurlijk interessant om te kijken of we echt U-Space gebieden aan kunnen leggen, zoals bijvoorbeeld de Rotterdamse haven. Dat is niet per se dat wij dat gaan faciliteren, maar daar zul je ons wel voor nodig hebben om een prototype airspace te maken.

Vooraf gemaakte topic-lijst voor de open vragen tijdens het ongestructureerde deel van dit interview:

- Vormgeving aan- en uitvliegroutes
- Integratie met bemande luchtvaart
- U-Space beheergebied rondom luchthaven

Open vraag: Hoe worden in de huidige bemande luchtvaart aan- en uitvliegroutes rondom een vliegvelden ‘beschermd’?

Ik denk dat je in de huidige luchtvaart een aantal ‘smaken’ hebt om een luchthaven of heliport te beschermen voor de bemande luchtvaart. Het simpelste is een niet-gecontroleerde luchthaven waarbij er op de kaart een klein ‘rondje’ komt te staan. Alternatief is een Aerodrome Traffic Zone (ATZ) binnen de bestaande klasse G, waar streng wordt geadviseerd om daar niet te vliegen als je niet van plan bent op de luchthaven te landen. En de laatste is echt een andere classificatie luchtruim, zoals klasse E bijvoorbeeld, maar dan is er een verkeersleider nodig om in het gebied bepaalde diensten te leveren aan met name IFR verkeer.

Open vraag: Wat zou de meest waarschijnlijke aanpak voor een vertiport zijn gebaseerd op de bemande luchtvaart-concepten?

De eerste met een niet-gecontroleerde luchthaven lijkt me niet ideaal gezien je gaat kijken naar autonome operaties. Hierin wil je dat juist de bemande luchtvaart ook oplet. Ook de laatste waarbij je bijvoorbeeld een klasse E luchtruim definieert is niet de wens denk ik, gezien je daar dan met een luchtverkeersleider moet gaan zitten. Dus een ATZ, of dus een U-space airspace met bijvoorbeeld klasse Y is dan denk ik het meest logische. Je hebt dan geen radioverplichting, en op de luchtvaartkaart is duidelijk voor de bemande luchtvaart dat je daar niet moet komen als je niet van plan bent er te gaan landen.

Open vraag: Wat zijn de voordelen daarvan ten opzichte van een klasse Z-luchtruim?

Hoe meer verkeer je verwacht, en dus hoe meer risico er is, hoe meer ‘luchtverkeersleiding’ je zult willen. Maar hoe meer je naar verkeersleiding gaat, hoe zwaarder de eisen aan het verkeer dat in dat gebied vliegt. Het is daarmee een schaal en het is nu zoeken voor de vertiport naar een optimum: acceptabel veiligheidsniveau met een acceptabele eisen-set voor de gebruikers.

Aangezien ik verwacht dat de vertiports vooralsnog zullen worden geplaatst in luchtruim dat niet per se super druk zal zijn (klasse G), en er geen separatedienstverlening is, kan ik me voorstellen dat een persoon die de hele dag toestemming gaat geven aan elke individuele vlucht die het gebied wil doorkruisen een behoorlijk zwaar middel is. Sowieso kost dit uiteraard veel geld om iemand dat werk te laten doen, is het de vraag hoe vaak die vertiport zal worden gebruikt. Dit stelt ook redelijk zware eisen aan de gebruikers, als het gaat om het altijd moeten vragen om toestemming, en daarmee minder vliegvrijheid/flexibiliteit. Ook zal de capaciteit hoger worden, omdat er geen ‘separatie’ zal moeten worden gerealiseerd door het systeem of door de gebruiker (separatie heeft als basis een bepaalde afstand lateraal of verticaal of in tijd). Hiermee is Zu een nadeel:

- Duur
- Zware eisen aan luchtruim
- Zware eisen aan gebruikers
- Minder flexibiliteit voor gebruikers
- Minder capaciteit van luchtruim
- Relatief beperkte veiligheidswinst t.o.v. Y, omdat er geen grote stromen verkeer worden verwacht, maar vooral VFR recreatief verkeer.

In Y-luchtruim zijn de gebruikers zelf verantwoordelijk voor separatie, middels het op de hoogte zijn van de positie van anderen. Dit stelt nog steeds eisen aan de gebruikers (ook bemande vliegers), maar er is een grotere flexibiliteit, doordat geen toestemming nodig is. Ook is er meer capaciteit mogelijk omdat er geen separatie-normen zijn, en dus: Elkaar niet raken is goed genoeg. Het is mogelijk iets minder veilig dan Zu, omdat alsnog een positie-informatie over het hoofd kan worden gezien, of dat deze informatie wordt genegeerd, of men neemt aan dat een drone of ander vliegtuig in zicht is, maar dat een botsing ontstaan met een ander vliegtuig dat niet als zodanig was herkend. Maar doordat het luchtruim niet vol zit met grote

vliegtuigen en dus geen aanleiding was voor iets anders dan klasse G luchtruim, is er geen gigantisch risico voorzien met Y.

Uiteraard gaat dit uit van klasse G luchtruim. Mocht er gevlogen gaan worden in andere klassen, dan geeft dat al aan dat er blijkbaar meer (IFR) verkeer wordt verwacht, en dus de gewenste mate van controle hoger is.

Open vraag: Worden er nog eisen gesteld aan de afmetingen van een ATZ in de huidige regelgeving?

Er zijn volgens mij geen specifieke regels. Daarin moet in ieder geval het circuitgebied liggen, je vertrek- en aankomstroute dus. Dus als je bijvoorbeeld naar Teuge kijkt, welke een ATZ heeft voor de avond, zie je dat de ATZ begint vanaf het VFR reporting point tot aan de baan inclusief het circuit. Afmetingen dienen dus zo te worden gekozen dat de lokale activiteiten starten en landing in het gebied veilig kunnen worden uitgevoerd. Dus tot kruishoogte wil je eigenlijk zo'n gebied hebben bij de vertiport.

Open vraag: En wat betreft U-Space?

Waar we wel naartoe moeten is dat je een stukje U-Space stukje luchtruim binnen klasse G aanlegt. Dat betekent dan dat je er in mag als je onderdeel bent van U-Space. Dat gebied maak je dan niet al te hoog. Daar moeten we wel naartoe, maar dat wordt nu nogal 'spannend' gevonden. Ik denk dat het wel een hele goede stap zou zijn, en het meest logische voor toekomstige vertiports. Een ATZ is voor nu wel een goed beginpunt.

Open vraag: Wat is vanuit jullie oogpunt een mogelijke kruishoogte voor onbemande luchtvaartuigen?

In de huidige luchtvaart geldt dat je 500ft boven het hoogste obstakel in landgebieden moet vliegen, en 1000ft boven stedelijk gebied. Waarom zou je daarvan afwijken? Het is een relatief veilige hoogte waar je ook nog veilig kan uitwijken. Als je daar als UAM-toestel van gaat afwijken, dat kan, maar dan moet je je afvragen wat het verschil is. Dat is echt onderdeel van het operationeel concept dat je uitkiest. Wat je wel hebt is dat je onder die minimale hoogte dus minimaal verkeer tegen komt. Boven die hoogte kom je alle recreatieve vliegers tegen en krijg je ook meer weerstand tegen het aanleggen van specifieke U-Space gebieden. Daarentegen zeggen UAM-operators wel in gesprekken met ons dat zij ook hoger willen vliegen, net als de bemande luchtvaart, gezien dat efficiënter is. Maar voor dit project zou ik zeggen, wijk er niet van af en hou dat als aanname.

Interviewer: ronden het 'buitengebied' onderwerp af om vervolgens te gaan kijken binnen bijvoorbeeld een ATZ-gebied.

Open vraag: Zijn er nog eisen ten aanzien van de inrichting van circuits en aan- en uitvliegroutes?

Nee er zijn geen richtlijnen dat een circuit op een bepaalde afstand van de baan moet liggen. Je wil dat het type vliegtuig wat er vliegt een veilige landing kan maken. Daarbij wil je op 400ft zitten als je uitgedraaid bent, dus 400ft op je final approach. Meestal liggen de circuithoogtes voor VFR-verkeer op zo'n 700 – 1.000ft in Nederland.

Open vraag: En hoe zien jullie een soortgelijk circuit voor vertiports?

Nou, als je met eVTOL's te maken hebt, dan wil je natuurlijk in ieder geval iets doen met verticaal stijgen en landen. Dus ik denk niet dat je zo'n groot circuit nodig hebt, dus je kunt 'm veel korter maken.

LVNL: laat aanvliegeroute heliport Amsterdam zien.

Wat je ziet is dat je aankomt op 900ft. Daar is dan een kort circuit waarbij je een final hebt van pak en beet 500 meter. Dat betekent een 1 kilometer doorsnede, dus dan zou je een gebied van 1 bij 1 kilometer kunnen hanteren als uitgangspunt voor het circuitgebied. Verticaal kost namelijk heel veel vermogen, dus je wil zo lang mogelijk in een voorwaartse vlucht blijven.

Open vraag: Zitten er verder nog separatiestandaarden aan vast tussen de onbemande luchtvaartuigen tijdens een autonome vlucht?

Als de operatie zich in klasse Y luchtruim afspeelt dan hebben wij daar als LVN niet veel over te 'vinden'. De mensen zijn dan zelf verantwoordelijk voor de onderlinge separatie. Als je zegt we maken er wel een gecontroleerd gebied, bijvoorbeeld klasse Z, van, dan zullen we er wel wat van moeten vinden. Maar ik denk niet dat dat een reëel scenario is, zeker niet met autonome vluchten. Daar heb je geen verkeersleiding voor nodig met de huidige aantallen verkeer.

Open vraag: Zijn er verder nog elementen die belangrijk voor ons zijn om mee te nemen?

Wat belangrijk is, is dat je goed de omgeving meeneemt. Wat we zien bij de aanleg van luchthavens is dat het lastig is vanwege alle omgevingsfactoren. Dus hoe kleiner je het circuitgebied hebt hoe beter. Behalve dat, is het denk ik belangrijk zoveel mogelijk huidige richtlijnen te hanteren, en bij het ministerie gaan kijken voor een klasse U-Space luchtruim.

Daarnaast heb je te maken met obstakels. Uiteraard gaan wij daar niet over, dat is allemaal wettelijk vastgelegd, maar zoals je het voorstelt (cilindervorm op basis van helikopterwetgeving) lijkt dat me prima. Zolang het aansluit op het daadwerkelijke vlieggedrag.

Standaardvraag 4: Welke resultaten van dit onderzoek zouden jullie kunnen helpen met het waarmaken van de visie op gebied van UAM?

Ja voor ons is het meest interessant hoe je dat eerste segment vorm geeft, en dan met name de integratie met de bemand luchtvaart. Dat is denk ik niet eens zozeer een LVNL vraag, maar meer vanuit de hele luchtvaart. Daarnaast, hoe ga je dat bijvoorbeeld publiceren op de luchtvaartkaart. ATZ of U-Space? Ik denk dat dat wel een hele relevante uitkomst is.

Standaardvraag 5: Op welke manier willen jullie betrokken blijven in dit onderzoek?

Ik heb geen tijd om echt data te genereren, maar ik sta er voor open om meer vragen te beantwoorden.

Einde interview na 36:00 minuten.

Bijlage VII: interview Antea

Het oriënterende interview start met een korte introductie, waarbij partner Antea al eerder betrokken is in dit project. Hierdoor is de introductie kort, en is het interview gestart met de drie standaard vragen die bij elk interview worden gesteld.

Uitwerking interview 16-03-2021 met Antea.

Standaardvraag 1: Wat is jullie visie op het gebied van Urban Air Mobility (UAM)?

Mijn visie is dat UAM echt een nieuwe dimensie wordt in het nieuwe mobiliteitssysteem. Om de simpele reden omdat er een behoefte is aan mobiliteitsvormen, in welke vorm dan ook. Maar dat mensen goederen of personen van A naar B willen vervoeren dat is al zo oud als de mensheid bestaat zegmaar. Dus dat zal altijd zo blijven, maar de druk op het mobiliteitssysteem is groot, en wordt steeds groter. Je ziet dat het lastig is, weinig fysieke plek, maar ook vanuit het oogpunt van milieu. Er is ook veel weerstand tegen sommige vormen, maar uiteindelijk wil iedereen zich wel verplaatsen. Kortom, ik geloof met technologische ontwikkelingen dat er veel meer mogelijkheden zijn in het mobiliteitssysteem. Ik geloof voornamelijk in een combinatie van modaliteiten, waaronder dus vliegen met drones.

Het is echter wel erg complex, technologisch gezien, maar ook fysiek. Ik vergelijk het altijd met de huidige ontwikkelingen met zelfrijdende auto's (* geeft voorbeeld *). Als ik die problemen vergelijk met UAM dan heb je veel minder fysieke problemen. Je hebt alleen bepaalde plekken waar je start of land. Je kan ze nieuw bouwen, maar ook op bestaande plekken, dus je hebt veel minder fysieke barrières.

Dus ik denk dat het er zeker aan komt, en het gaat ook heel veel impact hebben. Vanuit Antea richten we ons dan op de effecten op de leefomgeving. Dat is ook waar wij ons op willen voorbereiden.

Standaardvraag 2: Welke stappen nemen jullie al op het gebied van infrastructuur om die visie waar te maken?

Wij geloven dat je klein en realistisch moet beginnen. Dus ik geloof ook heel erg in het leren van 'doen'. Dat is ook de reden waarom ik denk dat het goed is om dit te combineren met andere lopende usecase in de Dutch Drone Delta. Ik geloof in het uitvoeren specifieke usecases om daar van te leren. Bij dit project ga je eigenlijk ook wat 'doen'. Niet in de zin van het daadwerkelijk uitvoeren van een vlucht, maar je gaat letterlijk dingen uitwerken, en dan ga je dingen tegenkomen.

Wat we bij Antea nu al doen is bijvoorbeeld drones gebruiken voor het monitoren van bepaalde gebieden. Dat is natuurlijk minder *spannend*, maar wat wij willen is mensen bij Antea kennis laten maken met drones. Daar leren wij zelf ook veel van. Met de dingen die nu al kunnen, probeer daar zoveel mogelijk mee te doen, want ook daar leer je van.

Interviewer: legt kort het project nogmaals uit met, de status van het project.

Standaardvraag 3: Welke bijdrage denken jullie vanuit jullie expertise te kunnen leveren op de impact-analyse van dit onderzoek?

Als je dingen op de grond gaat zetten, bijvoorbeeld een vertiport, dan heeft dat natuurlijk impact. Dat is onze core business, om ergens een locatie gerealiseerd (zowel de planvormingskant als de uitvoering) te krijgen. We kijken onder andere naar wat voor procedures, wetten en regels je moet kijken om zo iets mogelijk te maken. Wij hebben ook een

samenwerkingsverband met Pal V. Zij hebben ook infrastructuur nodig waarbij wij helpen om dat voor elkaar te krijgen. Hiervoor zijn we in gesprek zijn met gemeentes et cetera. Je ziet dat je daar, voor een relatief simpele infrastructuur, veel verschillende onderdelen tegenkomt.

Mijn doel is ook om mensen daar meer voor op te leiden. Dus niet in het proces zelf, want daar hebben we ervaring mee, maar voor vliegende mobiliteiten. Dat is ook waarom voor mij de Dutch Drone Delta interessant is om dingen te doen. Specifiek voor dit deel zijn we ook met andere partners bezig om tot een soort blauwdruk te komen van hoe zou je zoiets aanpakken. Voor dit project zouden we hier ook bij kunnen helpen, waarbij ik moet zeggen dat er nog veel open eindjes zullen zijn in de relatief korte tijd van dit project. Maar ik denk dat dat niet erg is, als we dat ook weer meenemen in de vervolgprojecten binnen de Dutch Drone Delta. Dit is eigenlijk een eerste stap naar de grotere drone-operaties.

Interviewer: legt uit wat het doel van dit project is, overzicht geven van de aanpassingen.

Open eindjes zullen ook onderdeel zijn van de uitkomst van dit onderzoek

Vooraf gemaakte topic-lijst voor de open vragen tijdens het ongestructureerde deel van dit interview:

- *Inhoud van een planstudie (komt voort uit een opmerking tijdens de brainstormsessie);*
- *Resultaat van soortgelijke impact onderzoeken;*
- *Bijdrage tijdens de impact-analyse.*

Open vraag: Verwacht je dat een soortgelijke aanpak om met een blauwdruk te komen relevant is voor de impact-analyse voor dit onderzoek?

Je hebt al aardig de concept operaties uitgewerkt als ik het zo zie. Als je concreet de locaties met ons deelt waar je wat zou 'bouwen', met een x aantal drone bewegingen, dan kan ik wel regelen dat er een ruimtelijk expert met jou gaat kijken met welke aspecten je allemaal rekening moet houden. Dat is zowel voor de bouw zelf, maar ook voor de route. Zo'n drone route zie ik als een drone luchtweg, en dat zie ik dan even hetzelfde als de aanleg van een fysieke weg. Hierbij voeren we een planstudie uit, dus die zou je op eenzelfde soort manier voor een luchtweg kunnen doen. Het is dus zeker relevant.

Interviewer: laat de scope van dit project zien waarbij de aandacht gericht is op de grondinfrastructuur en de eerste fase in de lucht (take-off & landing). Focus ligt niet op de hele 'luchtweg'.

Open vraag: In hoeverre denken jullie dat we binnen dit onderzoek zo ver kunnen komen?

Ik denk dat dat niet helemaal gaat lukken. Het hoeft ook niet helemaal gezien de fases waar we bij de Dutch Drone Delta in zitten, dus ik denk dat het goed is om juist die eerste stap zorgvuldig te doen. Oftewel kijken naar alle aspecten waar je aan moet denken. Dus nog niet de blauwdruk zelf helemaal vormgeven.

Open vraag: Is het ook interessant om te kijken naar de aanpak die jullie gebruiken in het Pal V project waar je het eerder over had?

Dat is nog erg verkennend, daar hebben niet veel concreets gedaan. Dat komt mede doordat de certificering van het Pal V-model steeds opschuift, waardoor wij ook mee opschuiven. Het heeft voor ons niet veel zin om er dan al mee te starten als Pal V zelf bijvoorbeeld een paar maanden nog niet eens van de infrastructuur gebruik kan maken. Dus daar heb je voor dit project nog niks aan.

Open vraag: Hoe bepalen jullie bij Antea voor soortgelijke projecten de impact van bepaalde infrastructurele veranderingen?

Bijvoorbeeld in ruimtelijke processen gaat het vaak ook om de milieuruimte. Hoe meer beweging iets aantrekt, hoe lastiger het planologisch wordt. Een vliegveld is vrij lastig, want het levert veel beweging op, het neemt veel ruimte in beslag en de vliegtuigen zijn belastend voor het milieu. Dit project ligt er ergens tussenin. Passagiersvervoer zal bijvoorbeeld meer impact hebben dan de cargo operatie die je hebt gedefinieerd. Bij jouw eerste concept operatie met de pakketten is het voor Rijkswaterstaat bijvoorbeeld interessant om te weten hoeveel pakketjes daar dan per dag kunnen worden opgehaald. Als mensen dan bij een verzorgingsplaats met de auto gaan stoppen en het pakket ophalen zal dat meer verkeer opleveren, waar in principe een verzorgingsplaats niet voor bedoelt is. Deze zijn zo ingericht waarbij je de functie *tanken* hebt, en een functie *rusten* (parkeerplaats). Je ziet ook dat dat vaak gescheiden is. Voor zo'n nieuwe pick-up point met drones zal je dus een nieuw gebied moeten creëren. Hetzelfde proces is gedaan bij de plaatsing van FastNed oplaadpunten bij verzorgingsplaatsen. Dus hoe meer verkeer, en meer mensen hoe moeilijker het dus wordt. Ruimtelijk en verkeerstechnisch gezien. Wij kunnen daarin expertise aanleveren op gebied van de planologische kant. Ik denk dat je je daarop moet concentreren.

Hierin kan Rijkswaterstaat waarschijnlijk ook ondersteunen aangezien zij zelf ook dingen aanleggen. Je hebt ook een aantal voorbeelden van projecten die kijken naar wat je wel en niet op verzorgingsplaatsen kan maken. Dus interessant om Rijkswaterstaat daar ook naar te vragen om mee te nemen in de impact-analyse. Wat ging goed of fout, en tegen welke problemen liepen zij toen aan bijvoorbeeld?

Standaardvraag 4: Welke resultaten van dit onderzoek zouden jullie kunnen helpen met het waarmaken van de visie op gebied van UAM?

Naast het leer- en ontwikkelingsproces van onze mensen op gebied van drones ben ik wel benieuwd wat er nog uit jouw literatuuronderzoek komt. Kom je ook voorbeelden tegen waarbij ze ook echt nagedacht hebben over de ruimtelijke ordening, de planologische kant, of blijft het bij ontwerpen en richt het zich op de vertiport zelf. Dat eerste zou voor mij vanuit Antea interessant zijn. En natuurlijk het totale verhaal, daarbij vind ik het wel belangrijk dat we het connecten met de andere usecases die lopen binnen de Dutch Drone Delta.

Standaardvraag 5: Op welke manier willen jullie betrokken blijven in dit onderzoek?

Ik denk dat als je nog zo'n grote brainstormsessie organiseert, dat we dan weer aanhaken. Daarnaast natuurlijk het eindresultaat, maar als je tussendoor nog vragen hebt dan kan je ze altijd stellen. En ik denk dat het goed is dat we zo'n ruimtelijk expert een keer laten aanhaken om mee te denken. Ik denk dat dat vanuit ons voldoende is in dit tijdsbestek voor dit project.

Einde interview na 39:50 minuten.

Bijlage VIII: interview Achmea

Het oriënterende interview start met een korte introductie, waarbij partner Achmea al eerder betrokken is in dit project. Hierdoor is de introductie kort, en is het interview gestart met de drie standaard vragen die bij elk interview worden gesteld.

Uitwerking interview 16-03-2021 met Achmea.

Standaardvraag 1: Wat is jullie visie op het gebied van Urban Air Mobility (UAM)?

Vanuit Achmea-innovatie kijken we naar nieuwe en opkomende risico's, en dan zie je dat UAM toch iets is waar vrij snel een veel ontwikkeling in is, en dat brengt ons ook bij de keuze of we hier wat mee willen ja of nee. Vanuit mijn kant, innovatie, is deze ontwikkeling natuurlijk meer dan interessant.

Standaardvraag 2: Welke stappen nemen jullie al op het gebied van infrastructuur om die visie waar te maken?

Enerzijds hebben wij een aantal drone piloten in dienst die een drone kunnen besturen bij schade of iets dergelijks, en ook in de agrarische tak. Tegelijkertijd kijken we ook naar de infrastructurele kant, aangezien wij ook gebouwen verzekeren. Dus dan vinden we het interessant als een eigenaar bijvoorbeeld een dak op zijn gebouw wil gaan verhuren als landingsplaats. Dus we worden sowieso gedwongen om keuzes op gebied van UAM te maken. En we zien daarnaast ook gewoon de risico's. Wij zijn de grootste mobiliteitsverzekeraar in Nederland, dus we moeten gaan kijken wat we hier mee gaan doen.

Standaardvraag 3: Welke bijdrage denken jullie vanuit jullie expertise te kunnen leveren op de impact-analyse van dit onderzoek?

Het is deels inderdaad de infrastructuur, maar tegelijkertijd mag er niks de lucht in als het niet verzekerd is. Dus ook daar zijn we naar aan het kijken. Ergens zullen we iets moeten doorbreken. En daarbij is het natuurlijk interessant om hierin mee te kijken.

Interviewer: legt uit wat het doel van dit project is, overzicht geven van de aanpassingen, en zet de concept operaties uiteen.

Vooraf gemaakte topic-lijst voor de open vragen tijdens het ongestructureerde deel van dit interview:

- *Verschil vanuit verzekerings-oogpunt naar diverse vormen van infrastructuur*
- *Focus van verzekeraars op ontwerp van infrastructuur*
- *Rol van verzekeraars in soortgelijke projecten*

Open vraag: Hoe kijken jullie naar de verschillende vormen van infrastructuur (zoals uitgelegd bij de concept operaties)?

Ja die nieuwe vertiport concepten zijn natuurlijk ook heel erg interessant, maar op een gegeven moment gaat iemand zeggen ik wil mijn operatie verzekeren. Dat is anders dan een stukje heen en weer vliegen, dus je moet snappen hoe dat in elkaar zit. Tegelijkertijd moet je kijken naar hoe hou je dingen veilig. En daarnaast heb je natuurlijk allerlei aansprakelijkheids aspecten. Dus een combinatie van die elementen moet je denk ik meenemen, ook voor als er iets fout gaat.

Bij bestaande bouw, zoals in je concept operatie zo'n distributiecentrum, is het voor een verzekeraar natuurlijk ook zeer interessant. Stel ze melden dat niet en er gebeurt wat, dat de

drone bijvoorbeeld per ongeluk op het distributiecentrum land, dan zijn ze daar niet voor verzekerd. Dus ook dan moeten wij weten en begrijpen hoe je hier mee om gaat.

Open vraag: In z'n algemeenheid, hoe verloopt zo'n soortgelijk proces als bijvoorbeeld een distributiecentrum een nieuw 'verzekerings-element' toe wil voegen?

Meestal komt er dan een risico-deskundige die er naar gaat kijken, of dat de verzekeraar zelf al zegt 'hier hebben we niks voor'. In het laatste geval moet je dan ook kijken naar de gevolgen, misschien dat je die klant helemaal kwijt raakt, dus je zou kunnen overwegen om daar anders naar te kijken.

Open vraag: Kijken jullie daar vanuit jullie eigen expertise naar?

Wij gaan natuurlijk uit van wet- en regelgeving. Maar we kijken ook zelf naar de activiteiten van een bedrijf. Dus stel je komt voor een distributiecentrum met zoveel vierkant meters, en vrachtwagens bijvoorbeeld, dan stellen we daar het risico van op met een bijbehorende premie. En stel dat ze ook vuurwerk in de winter verkopen, dan komt daar weer een set aan eisen bij wat natuurlijk impact heeft. Datzelfde geldt voor drone-operaties, en alles anders dan waar je voor verzekerd bent als bedrijf. Het lastige is dat we voor dit soort operaties (nog) geen data hebben.

Open vraag: Is dat dan ook wat jullie willen bereiken (dataverzameling) door mee te doen met de Dutch Drone Delta?

Nou, we moeten in ieder geval snappen wat nou de risico's zijn, en welke mitigerende stappen er kunnen worden ondernomen. Net als dat bijvoorbeeld piloten gecertificeerd moeten zijn. Zo zijn er nog meer vraagstukken waar voor ons antwoorden op moeten komen. In de luchtvaart is bijvoorbeeld alles met terrorisme uitgesloten, dus hoe gaan we dat voor UAM vormgeven?

Open vraag: Hebben jullie ook een specifieke aanpak bij de risicobepaling met betrekking tot de omgeving (dicht-/dunbevolkt, landbouw/stedelijk etc.)?

Ja dat is ook risicobepalend. Als je één vlucht doet dat kan je specifiek naar die vlucht kijken, maar als je meerdere vluchten gaat doen dan zul je echt moeten kijken naar de operatie zelf. Daarbij is de onderliggende omgeving minder belangrijk. In het toekomstige UTM-systeem ben je daarvan ook afhankelijk van je specifieke route, en als je kijkt naar de usecases van Uber bijvoorbeeld, dan ga je niet al die vluchten afzonderlijk bekijken. Bij bijvoorbeeld een touringcar bedrijf kijken we ook niet naar alle routes die ze rijden, maar we kijken naar het aantal bussen, aantal kilometers en de soort operatie etc. Iets soortgelijks zullen we ook voor UAM moeten doen.

Dus ook die vragen, vlucht of operatie verzekeren, moeten wij beantwoorden.

Open vraag: Hoe beoordelen jullie de risico's van *nieuwe* infrastructuur?

Er zijn maar weinig dingen die echt 'nieuw nieuw' zijn. Meestal is het op iets bestaands gebaseerd. Dus als er een nieuwe auto is, dan kijk je naar soortgelijke auto's om te verzekeren. In het begin bij Tesla lag de auto vrij laag op de weg waardoor er meerdere keren accu schade ontstond bij drempels. Dat heeft veel geld gekost, dus wat dat betreft springen verzekeraars ook niet zo snel in hele nieuwe concepten. Als een drone land waar je niet verwacht dat het toestel land, dan is dat altijd duur.

Open vraag: Zijn er dan nog bepaalde risico's waar je op voor hand in ieder geval rekening mee moet houden?

Nou bijvoorbeeld die batterijen, dat is ook weer een nieuw dingetje. Als zo'n batterij gaat branden, dan gaat dat niet uit. Dus daar zul je ook mitigerende maatregelen nemen. Dus daar

zul je met brandweer en verzekeraars ook naar moeten kijken, voordat je een vertiport bouwt. Bij elektrische auto's is dat nu hetzelfde met de vraag of ze wel of niet in een parkeergarage mogen staan. Er was afgelopen jaar een keer een accu in een parkeergarage gaan branden, en dat krijg je en lastig tot niet uit, en het wordt zo heet dat ook metaal een keer gaat smelten. Dus dat heeft ook impact op de constructie, en ik denk dat je daar ook specifiek op ontwerpen. Maar de wetenschap is daar ook nog niet helemaal over uit. En vanuit ervaring weten wij daar ook wel van, wat je in ieder geval niet moet doen. Wellicht dat daar in een later stadium nog mensen over kunnen meedenken.

Interviewer: legt uit wat de komende tijd de planning is.

Standaardvraag 4: Welke resultaten van dit onderzoek zouden jullie kunnen helpen met het waarmaken van de visie op gebied van UAM?

Wij zouden de inzichten in risico's willen zien, en ook hoe andere partijen erin staan. Dus dat is wel erg relevant voor ons. Daar zal het voornamelijk in zitten, waar heb je allemaal impact en wat is daar vanuit de verzekeraar voor nodig.

Standaardvraag 5: Op welke manier willen jullie betrokken blijven in dit onderzoek?

Ik denk dat wij nog kennis op gebied van risicoanalyse kunnen geven. Dus dat kan interessant en relevant zijn voor de impact bepaling van dit onderzoek.

Einde interview na 25:26 minuten.

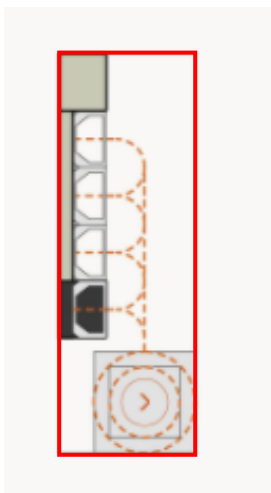
Bijlage IX: vertiport-ontwerp berekeningen

Deze bijlage omvat de berekeningen die gebruikt zijn om een inschatting te maken van het benodigde oppervlak van verschillende vertiport-ontwerpen die plaats bieden aan vier eVTOL's, zoals aangenomen in de concept operaties van dit onderzoek. De drie vertiport-ontwerpen van Lilium (Lilium, 2020) met de karakteristieken van de Volodrone en de Lilium Jet zijn gebruikt ter referentie.

Let op: de visualisaties zijn niet op schaal.

Volodrone

Ontwerp A



De breedte van zowel de FATO, de gate als de terminal wordt aangenomen als de totale breedte van dit ontwerp.

$$\begin{aligned} \text{Breedte} &= \text{FATO breedte} + \text{Gate breedte} + \text{terminal breedte} \\ &= 18,4 + 18,4 + 3 = 39,8 \text{ m} \end{aligned}$$

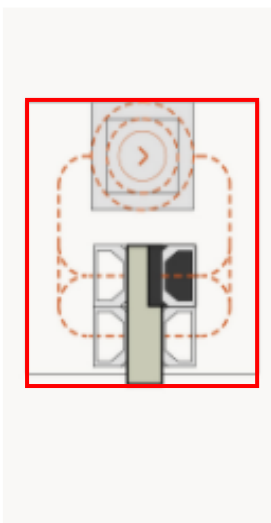
De lengte staat gelijk aan de lengte van de FATO, de 4 gates en de terminal (bijvoorbeeld onderhoudsopslag). Hierbij wordt aangenomen dat de lengte van de terminal gelijk staat aan de lengte van één gate.

$$\begin{aligned} \text{Lengte} &= \text{FATO lengte} + \text{Lengte 4 gates} + \text{terminal} \\ &= 18,4 + 73,6 + 18,4 = 110,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 39,8 * 110,4 = 4394 \text{ m}^2$$

Ontwerp B



De breedte van de FATO en de breedte van de luchttaxibaan met veiligheidsgebied wordt aangenomen als de totale breedte.

$$\begin{aligned} \text{Breedte} &= \text{FATO breedte} + (2 * \text{Taxibaan breedte}) \\ \text{Taxibaan breedte} &= 2 * \text{rotor diameter} = 2 * 9,2 = 18,4 \text{ m} \\ \text{Breedte} &= 18,4 + (2 * 18,4) = 55,2 \text{ m} \end{aligned}$$

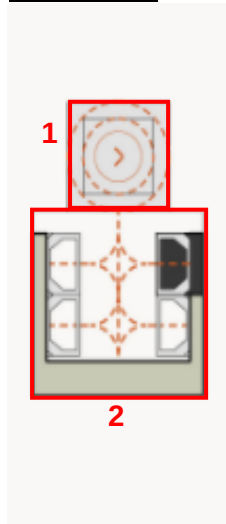
De lengte is gelijk aan de lengte van de FATO en 2 gates, met een aangenomen tussenruimte gelijk aan twee keer de breedte van het onderstel (gelijk aan luchttaxibaan breedte).

$$\begin{aligned} \text{Lengte} &= \text{FATO lengte} + \text{Lengte 2 gates} + (2 * \text{UCW}) \\ &= 18,4 + 36,8 + (2 * 1,8) = 58,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 55,2 * 58,8 = 3246 \text{ m}^2$$

Ontwerp C



Ontwerp C is ingedeeld in twee vlakken; de FATO en het parkeer/terminalgedeelte.

Het oppervlak van de FATO (1) is gelijk aan de lengte keer de breedte.

$$\text{Oppervlak FATO (1)} = \text{FATO breedte} * \text{FATO lengte} = 18,4 * 18,4 = 339 \text{ m}^2$$

De breedte het tweede vlak is gelijk aan de breedte van twee gates, de pakketterminal en de taxibaanbreedte zoals berekend in ontwerp B.

$$\begin{aligned} \text{Breedte} &= (2 * \text{breedte gate}) + \text{breedte terminal} + \text{taxibaan breedte} \\ &= (2 * 18,4) + 3 + 18,4 = 58,2 \text{ m} \end{aligned}$$

De lengte staat gelijk aan de lengte van de lengte van twee gates.

Daarnaast zijn de tussenruimtes, hetzelfde als in ontwerp B, en de lengte van de terminal meegenomen. Een lengte van 6 m voor de terminal (twee keer breedte van een bus) wordt gebruikt voor de berekening.

$$\text{Lengte} = \text{Lengte 2 gates} + (2 * \text{UCW}) + \text{lengte terminal} = 36,8 + (2 * 1,8) + 6 = 46,4 \text{ m}$$

Dit geeft een oppervlak voor vierkant twee van:

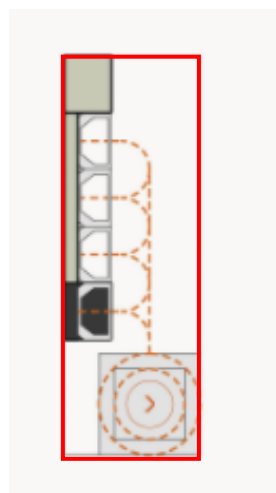
$$\text{Oppervlak vierkant 2} = 58,2 * 46,4 = 2700 \text{ m}^2$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 339 + 2700 = 3039 \text{ m}^2$$

Lilium Jet

Ontwerp A



De breedte van zowel de FATO als de gate wordt aangenomen als de totale breedte van dit ontwerp.

$$\text{Breedte} = \text{FATO breedte} + \text{Gate breedte} = 27,8 + 27,8 = 55,6 \text{ m}$$

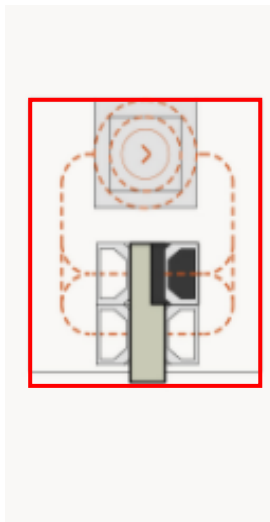
De lengte staat gelijk aan de lengte van de FATO, de 4 gates en de terminal. Hierbij wordt aangenomen dat de lengte van de terminal gelijk staat aan de lengte van één gate.

$$\begin{aligned} \text{Lengte} &= \text{FATO lengte} + \text{Lengte 4 gates} + \text{terminal} \\ &= 27,8 + 111,2 + 27,8 = 166,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 55,6 * 166,8 = 9274 \text{ m}^2$$

Ontwerp B



De breedte van de FATO en de breedte van de luchttaxibaan met veiligheidsgebied wordt aangenomen als de totale breedte.

$$\begin{aligned}
 \text{Breedte} &= \text{FATO breedte} + (2 * \text{Taxibaan breedte}) \\
 \text{Taxibaan breedte} &= 2 * \text{spanwijdte} = 2 * 13,9 = 27,8 \text{ m} \\
 \text{Breedte} &= 27,8 + (2 * 27,8) = 83,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

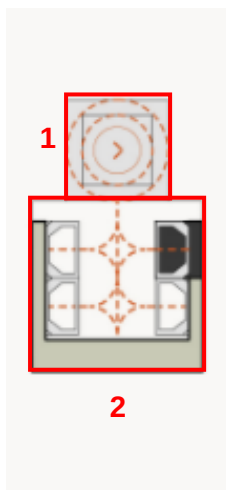
De lengte is gelijk aan de lengte van de FATO en 2 gates, met een aangenomen tussenruimte gelijk aan twee keer de breedte van het onderstel (gelijk aan luchttaxibaan breedte).

$$\begin{aligned}
 \text{Lengte} &= \text{FATO lengte} + \text{Lengte 2 gates} + (2 * \text{UCW}) \\
 &= 27,8 + 55,6 + (2 * 1,7) = 86,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 83,4 * 86,8 = 7239 \text{ m}^2$$

Ontwerp C



Ontwerp C is ingedeeld in twee vlakken; de FATO en het parkeer/terminalgedeelte.

Het oppervlak van de FATO (1) is gelijk aan de lengte keer de breedte.

$$\begin{aligned}
 \text{Oppervlak FATO (1)} &= \text{FATO breedte} * \text{FATO lengte} = 27,8 * 27,8 \\
 &= 773 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

De breedte het tweede vlak is gelijk aan de breedte van twee gates, de zijterminal (aangenomen 3 meter) en de taxibaan breedte zoals in ontwerp B berekend.

$$\begin{aligned}
 \text{Breedte} &= (2 * \text{breedte gate}) + \text{breedte terminal} + \text{taxibaan breedte} \\
 &= (2 * 27,8) + 3 + 27,8 = 86,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

De lengte staat gelijk aan de lengte van de lengte van twee gates. Daarnaast zijn de tussenruimtes, hetzelfde als in ontwerp B, en de lengte van de terminal meegenomen. Een lengte van 8 m voor de terminal (twee keer breedte van een bus) wordt gebruikt voor de berekening.

$$\text{Lengte} = \text{Lengte 2 gates} + (2 * \text{UCW}) + \text{lengte terminal} = 55,6 + (2 * 1,7) + 8 = 67 \text{ m}$$

Dit geeft een oppervlak voor vierkant twee van:

$$\text{Oppervlak vierkant 2} = 86,4 * 67 = 5789 \text{ m}^2$$

Samengevat geeft dit het volgende totale oppervlak:

$$\text{Totale oppervlak} = 773 + 5789 = 6562 \text{ m}^2$$