



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-180 | juli 2017

Milieueffecten van testfaciliteit van drones

Een Kennis-voor-Beleid studie

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Milieu



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het NLR is een toonaangevend, mondiaal opererend onderzoekscentrum voor de lucht- en ruimtevaart. Met zijn multidisciplinaire expertise en ongeëvenaarde onderzoeksfaciliteiten, levert NLR innovatieve, integrale oplossingen voor complexe uitdagingen in de aerospace sector.

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbruggt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland. Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2.

Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Milieueffecten van testfaciliteit van drones

Een Kennis-voor-Beleid studie



Probleemstelling

Het gebruik van drones in Nederland is volop in ontwikkeling. Het NLR streeft ernaar door innovaties een bijdrage te leveren aan het op een duurzame en veilige manier introduceren van drones in het luchtruim. Om drones op een verantwoorde en een duurzame manier te introduceren zijn ook testfaciliteiten nodig. Het NLR heeft al de beschikking over een dergelijke testfaciliteit, het NRTC - Netherlands RPAS Test Centre, en plannen voor andere testcentra in Nederland zijn in een vergevorderd stadium. Naast de beleidsvragen die spelen rond het gebruik van drones, moet er ook gekeken worden naar de milieu-impact van drones en als afgeleide daarvan de milieu-impact van testfaciliteiten. Daarover is nog niet veel bekend. Om die reden wordt in deze studie verkend wat de eerstkomende jaren de maximale omvang van die impact kan zijn.

RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2017-180

AUTEUR(S)

Y.S. Cheung
G.J.T. Heppe

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

juli 2017

KENNISGEBIED(EN)

Vliegtuiggeluidseffecten op
de omgeving
Externe Luchtvaart
Veiligheid en
beleidsondersteuning

TREFWOORD(EN)

Drones
Testfaciliteit
Milieu
Geluidbelasting
Externe veiligheid

Beschrijving van de werkzaamheden

Voor deze studie is de kennis van de experts over drones, alsmede hun ervaring met betrekking tot het gebruik van drones in testfaciliteiten bijeen gebracht. Hiervoor zijn interviews afgenomen. Op basis van de gegevens van het NRTC zijn vervolgens met bestaande rekentools voor de bemande vliegtuigen een aantal proefberekeningen ('worst case') voor de geluidbelasting en externe veiligheidsrisico's gemaakt.

Resultaten en conclusies

Uit de worst case benadering in deze studie (2500 starts en landingen) is gebleken dat de 56 dB(A) L_{den} geluidscontour ruimschoots binnen het NRTC terrein blijft. Ook voor een (opgehoogd) aantal van 6250 bewegingen blijft de geluidscontour binnen de terreingrenzen. Daarbij past nog de kanttekening dat deze geluidberekening een zwaar overschat beeld geeft. Bovendien is nog te beargumenteren dat in de berekening de helikopterbewegingen beginnen of eindigen op de baankoppen. In de praktijk gebruikt een testfaciliteit niet de uiteinden van de baan voor testen en oefenen van helikopter of multirotor-systeem, maar voornamelijk het midden van de baan. Dit betekent dat de berekende geluidscontouren eigenlijk nog iets binnen naar de baan zou moeten beginnen. Als gevolg hiervan kan men het totaal aantal starts en landingen bij het NRTC met meer dan een factor van 2,5 ophogen voordat de 56 dB(A) L_{den} contour de begrenzing aan de zuidkant van het luchthaventerrein zou raken.

De worst case benadering voor externe veiligheid geeft een veel te zware overschatting. De studie laat zien dat het huidige model voor de bemande vliegtuigen minder geschikt is voor een inschatting van het risico van drones. Echter, gebaseerd op de risicomodellering van bemande vliegtuigen die sterk overschat is voor drones, en uitgaande van het gebruik en omvang van NRTC is NLR van mening dat de werkelijke externe veiligheidsrisico's (de 10^{-6} PR contouren) voor vergelijkbare testfaciliteiten binnen de begrenzing van het terrein zullen blijven.

Toepasbaarheid

De uitkomsten geven een kwalitatief beeld van de milieueffecten van testfaciliteiten bij een bepaalde omvang en het (verwachte) gebruik van het terrein voor het testen van en oefenen met drones.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113 **f**) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl **i**) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-180 | juli 2017

Milieueffecten van testfaciliteit van drones

Een Kennis-voor-Beleid studie

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Milieu

AUTEUR(S):

Y.S. Cheung

G.J.T. Heppe

NLR

NLR

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar.

OPDRACHTGEVER	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
CONTRACTNUMMER	NLR projectnummer 4173120.5
EIGENAAR	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:																								
AUTEUR										REVIEWER										BEHERENDE AFDELING				
Y.S. Cheung G.J.T. Heppe										J. Vreeken J.F. Boer										P.L.J. Eijssen				
[Signature]										[Signature] 17/7 [Signature] 7-3 '17										[Signature]				
DATUM										DATUM										DATUM				
																				170717				

Inhoudsopgave

Afkortingen	4
1 Inleiding	5
2 Aanpak	6
3 Testfaciliteiten	7
4 Milieueffecten	11
4.1 Geluidbelasting	11
4.2 Externe Veiligheid	13
4.3 Bufferzone Veiligheid	15
5 Veiligheid gebruik LiPo accu	17
6 Conclusies en aanbevelingen	18
6.1 Conclusies	18
6.2 Aanbevelingen	19
7 Referenties	20
Appendix A Omschrijving veiligheidsprotocol LiPo	21

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight
DNW	Duits-Nederlandse Windtunnels
EASA	European Aviation Safety Agency
EV	Externe veiligheid
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight
GEVERS	Geïntegreerd Externe VEiligheid RekenSystem
L _{den}	Dosismaat geluidbelasting, day-evening-night
LiPo	Lithium Ion Polymeer
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NRTC	Netherlands RPAS Test Centre
PR	Plaatsgebonden Risico
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
VLOS	Visual Line Of Sight

1 Inleiding

Het gebruik van drones in Nederland is volop in ontwikkeling. Het NLR streeft ernaar door innovaties een bijdrage te leveren aan het op een duurzame en veilige manier introduceren van drones in het luchtruim. Om drones op een verantwoorde en een duurzame manier te introduceren zijn ook testfaciliteiten nodig. Het NLR heeft al de beschikking over een dergelijke testfaciliteit, en plannen voor andere testcentra in Nederland zijn in een vergevorderd stadium. Naast de beleidsvragen die spelen rond het gebruik van drones, moet er ook gekeken worden naar de milieueffecten van drones en als afgeleide daarvan de milieueffecten van testfaciliteiten. Daarover is nog niet veel bekend. Om die reden wordt in deze studie verkend wat de eerstkomende jaren de verwachte bovengrens van dit effect kan zijn.

Volgens de definities van de Wet luchtvaart valt een test- en oefenlocatie van drones (hierna: testfaciliteit) in Nederland onder de definitie van een luchthaven. Dat betekent dat drones alleen mogen vliegen als er een luchthavenbesluit of -regeling van kracht is. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) wil in het kader van verdere voorbereiding van regelgeving weten wanneer de milieucoutouren voor geluid en externe veiligheid buiten de terreinbegrenzing van een testfaciliteit komen. Bepalend hiervoor is de geluidscontour van 56 dB(A) L_{den} en de externe veiligheid 10^{-6} plaatsgebonden risicocontour, (op grond van Wet luchtvaart artikel 8.1a, derde lid), de afmeting van het terrein en het gebruik ervan. Wanneer de contouren binnen de terreinbegrenzing van een luchthaventerrein liggen, is vaststelling van een luchthavenregeling voldoende. Anders moet een luchthavenbesluit vastgesteld worden in verband met de ruimtelijke consequenties van de contouren, en in het luchthavenbesluit zijn regels voor de ruimtelijke indeling van de omgeving van de luchthaven opgenomen. In het laatste geval zijn immers de gevolgen voor omwonenden groter, zodat een uitgebreidere procedure nodig is om samen met de omgevingspartijen te bepalen wat wel en niet kan.

In het kader van het Kennis-voor-Beleid Werkprogramma Milieu heeft het NLR in een korte studie verkend wat de maximale omvang van de milieueffecten (geluid en externe veiligheid) van drones op en rond testfaciliteiten zou kunnen zijn. Met de opgedane kennis kan het NLR het Ministerie van Infrastructuur en Milieu ondersteunen door op termijn een voor beleid passend (reken)instrument te ontwikkelen waarmee de milieueffecten van drones beter inzichtelijk gemaakt kunnen worden.

2 Aanpak

Binnen het NLR werken experts uit verschillende disciplines aan de ontwikkeling van drones. In het kader van drones Research & Development is het NLR bijvoorbeeld betrokken bij diverse werkgroepen en projecten, zowel nationaal en internationaal. Verder heeft NLR vergunning om drones te testen en theorie en praktijk opleidingen te geven. Het NLR werkt samen met anderen aan initiatieven voor het opzetten van een netwerk van testfaciliteiten. Het Netherlands RPAS Test Centre (NRTC) van het NLR, gevestigd in Marknesse, beschikt over een eigen luchtruim en voldoende ruimte voor het testen van drones en het geven van praktijk opleidingen met drones op een veilige manier. Voor deze studie is de kennis van deze experts over drones, alsmede hun ervaring met betrekking tot het gebruik van drones in testfaciliteiten bijeen gebracht. Hiervoor heeft de Afdeling Milieu en Beleidsondersteuning interviews afgenomen.

Het NRTC is op dit moment de enige testfaciliteit waarmee al enige jaren ervaring is opgedaan. Op basis van de gegevens van het NRTC zijn vervolgens met bestaande rekentools voor bemande vliegtuigen een aantal proefberekeningen voor de geluidbelasting en externe veiligheidsrisico's gemaakt. Bij gebrek aan informatie van andere testfaciliteiten is de situatie bij NRTC als referentie genomen. De uitkomsten van de proefberekeningen zijn vervolgens gebruikt om op basis van een expert-judgement een uitspraak te doen over de milieueffecten van de onbemande vliegtuigen (drones) op en rond een testfaciliteit.

De reikwijdte van dit rapport beperkt zich tot drone testactiviteiten binnen het luchtruim- en/of grondgebied van één testfaciliteit (test- en oefenlocatie). Hierbinnen kunnen eventueel ook Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) operaties worden uitgevoerd, mits het luchtvaartuigstelsel aantoonbaar voldoende luchtwaardig is en separatie met ander luchtverkeer voldoende is gegarandeerd. BVLOS buiten het gebied van de testfaciliteit, bijvoorbeeld tussen twee testlocaties, valt buiten de beschouwing van dit rapport.

Op dit moment zijn er geen specifieke rekenmodellen voor drones ontwikkeld om milieueffecten in kaart te brengen. Om toch een uitspraak te doen over de grootte van de milieueffecten zijn bestaande modellen voor geluidbelasting en externe veiligheidsrisico's voor bemande luchtvaart c.q. luchthavens toegepast. De uitkomst van de berekeningen laat dan zien hoe de ligging van de contouren zich verhoudt tot de terreinbegrenzing.

3 Testfaciliteiten

Ten tijde van het opstellen van dit rapport bestond een aantal initiatieven in Nederland voor het opzetten van testfaciliteiten voor drones in Nederland. Tabel 1 geeft een overzicht van bestaande testfaciliteiten en enkele lopende initiatieven hiertoe (Ref. 1). Opgemerkt wordt dat deze tabel wellicht niet volledig is.

Tabel 1: Operationele testfaciliteiten en lopende initiatieven in Nederland

Bestaande testfaciliteiten en lopende initiatieven	Locatie
Aviolanda	Vliegbasis Woensdrecht
Vliegveld Den Helder	Den Helder Airport
Drone Hub GAE	Groningen Airport Eelde
Netherlands RPAS Test Centre (NRTC)	NLR, Marknesse
Tec Base	Twente Airport
Unmanned Valley	Voormalig marinevliegveld Valkenburg

Gezien de geografische ligging van de bestaande testfaciliteiten en lopende initiatieven is het denkbaar dat op termijn nieuwe initiatieven voor testfaciliteiten zullen ontstaan. Als mogelijke locatie wordt gedacht aan de regio Limburg.

Met uitzondering van het NRTC zijn de overige testfaciliteiten (initiatieven) gebaseerd op bestaande of voormalige luchthavens. Deze locaties kenmerken zich door voldoende (lucht)ruimte en faciliteiten (landingsbaan, toren, hangaar, gekwalificeerd personeel). Wel is het zo dat er op bestaande of voormalige luchthavens bemande luchtvaart activiteiten (lijndienst, recreatief vliegverkeer, vliegschool en zweefvliegen) (kunnen) plaatsvinden.

Ter illustratie enkele voorbeelden:

- Op vliegbasis Woensdrecht kunnen sinds januari 2017 drones getest worden. Elke woensdag stelt de vliegbasis twee keer een uur haar baan en luchtruim ter beschikking aan civiele drone-piloten (professionals en onderzoekers).
- Vliegveld Twente komt binnenkort beschikbaar voor het uitvoeren van drone vluchten op enkele dagen van de week. De overige dagen worden toegewezen aan bemande vliegoperaties. Op aanvraag kunnen bemande vliegtuigen op vliegveld Twente landen en vertrekken.
- Drone Hub GAE (Groningen Airport Eelde) is bezig met opzetten van een testlocatie op de luchthaven en heeft een werkgroep ingesteld om te kijken hoe de drone-operatie geïntegreerd kan worden met bestaande luchtvaart operatie.

Van de genoemde initiatieven is niet veel bekend over het verwachte gebruik en daarmee de omvang van de testfaciliteit voor wat betreft de types drones en aantallen drone-bewegingen per jaar. Om toch enig inzicht te krijgen over het (verwacht) gebruik van een testfaciliteit wordt de situatie van het NRTC beschouwd. Het NLR verwacht dat het aantal vluchten met drones vanaf NRTC in Marknesse de eerstkomende jaren niet door andere testcentra overschreden zal worden.

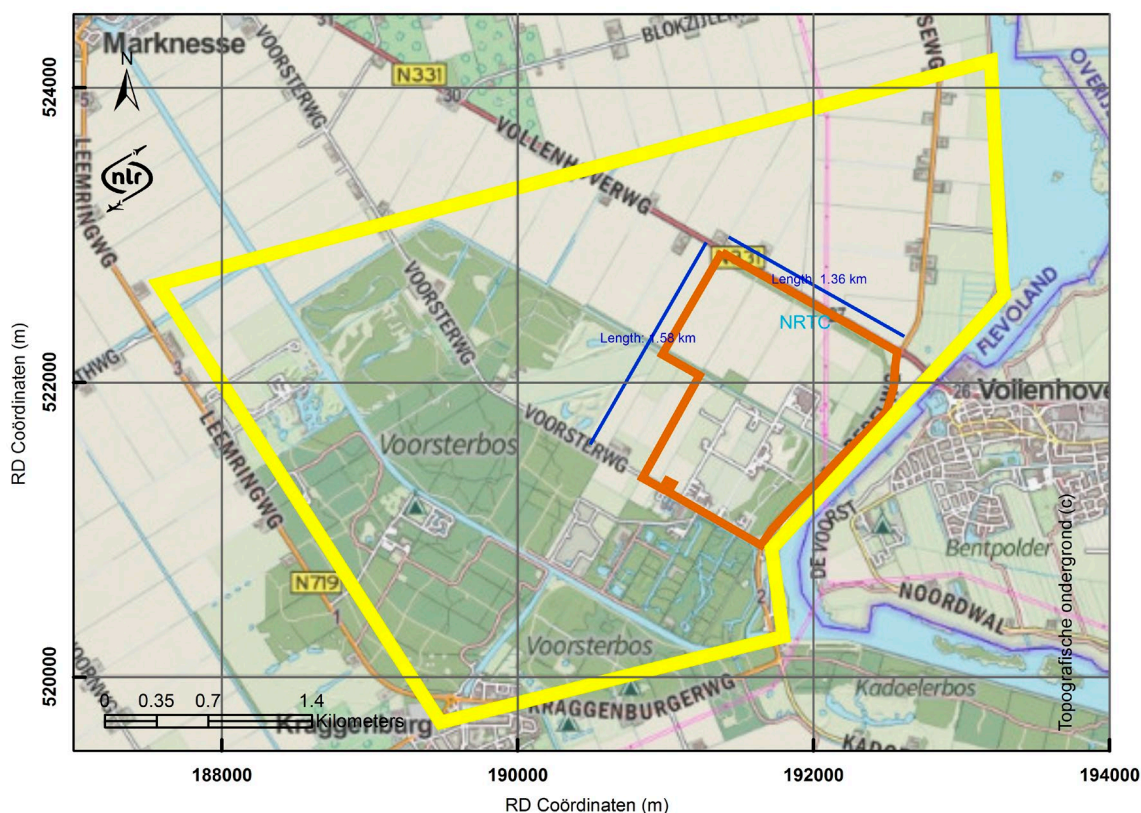
Hieronder wordt het NRTC beschreven wat betreft het luchtruim, het terrein en het gebruik. Figuur 1 geeft de afbakening van het luchtruim aan voor het NRTC en Figuur 2 laat de begrenzing zien van het terrein NRTC. De afmetingen van het terrein zijn ongeveer 1,6 bij 1,4 km. Daarmee komt het NRTC terrein grotendeels overeen met het gehele terrein van NLR te Marknesse, Flevoland. Dit terrein is aangemerkt als luchthaventerrein. Daarnaast heeft het

NLR een RPAS Operator Certificate (ROC) van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) voor het opereren met (experimentele) onbemande luchtvaartuigen.

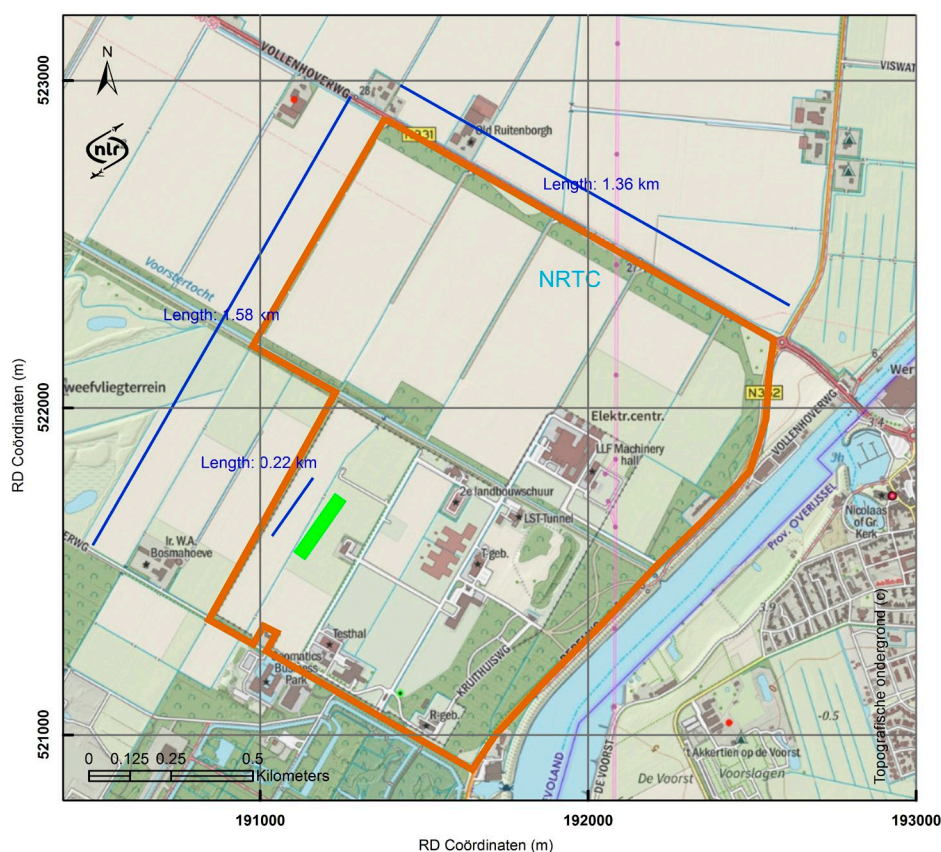
Voor het NRTC is een grasbaan gedefinieerd en deze is circa 220 meter lang: deze heeft een richting 03-21. Gezien de ligging van het testcentrum en de baanligging biedt dit voldoende mogelijkheden voor het testen van drones en geven van praktijklessen.

In Nederland is de civiele operatie van drones, zowel professioneel als recreatief, gereguleerd. De operationele beperking geldt ook voor de operatie van drones vanaf en op een testfaciliteit. Men mag volgens de huidige regelgeving een drone-vlucht alleen binnen gezichtsveld Visual Line of Sight (VLOS) uitvoeren; de afstand voor het waarnemen van de drone is afhankelijk van de grootte van drone, maar wordt beperkt tot maximaal 500 meter. Met een extra waarnemer of 'observer' erbij mag men een drone binnen Extended Visual Line of Sight (EVLOS) opereren. Het ROC van het NLR voorziet daarmee in de mogelijkheid tot maximaal 1.300 meter van de piloot te opereren.

Het NRTC luchtruim wordt afgebakend door de gele lijn in Figuur 1. Dit is de grens van het Tijdelijk Gebied met Beperkingen (TGB) dat bij beschikking van ILT is ingesteld ten behoeve van de test en opleidingsactiviteiten. Dit gebied is ingesteld op werkdagen en strekt zich uit van 0 tot 1500 ft hoogte. Dit gebied wordt aangeduid met NLR RPAS TC LOW. Daarnaast kan het NLR RPAS TC HIGH via NOTAM actief worden gemaakt. Dit gebied heeft dezelfde grenzen als het LOW gebied, maar strekt zich uit van 1500 ft tot 3500 ft. Door de TGB beschikking kunnen vluchten op grotere hoogte worden uitgevoerd, dan die volgens de regeling op afstand bestuurd luchtvaartuigen geldig is (hoogte van 400 ft (120 m)).



Figuur 1 : Luchtruim van NRTC (afgebakend door gele lijnen)



Figuur 2 : Terreingrens van NRTC (gegeven in oranjebruin) en de grasbaan (in licht groen)

Volgens de informatie van het NRTC komt men naar het testcentrum hoofdzakelijk voor volgende drie doeleinden:

1. Praktijktraining voor de RPA-L vliegopleiding
2. Technische keuring van drones
3. Testvluchten, bijvoorbeeld vanwege een nieuw systeem of onderdeel in de drone

In 2016 heeft het NRTC circa 2750 vluchten en 325 vliegreuren verwerkt. Tabel 2 (pagina 10) geeft de verdeling van vliegreuren en vluchten over verschillende typen toestellen en gewichtscategorieën. Het merendeel van de drones (95%) weegt minder dan 25 kg. De drones die op het NRTC worden gevlogen zijn voor 90% of meer elektrisch aangedreven. Het resterende deel gebruikt fossiele brandstoffen voor voortstuwing. Momenteel geldt dit ook in algemene zin voor het gebruik van test- en oefenlocaties. Gezien de toenemende belangstelling voor het vervoer van (kleine) goederen door drones en huidige marktontwikkelingen lijkt het logisch dat de belangstelling voor drones met een maximum gewicht van meer dan 25 kg toeneemt. Vóór 2016 zijn er ook vluchten met zwaardere toestellen gerapporteerd. Het gaat daarbij om vluchten met een onbemande helikopter met een maximaal startgewicht van boven de 200 kg.

Tabel 2: Aantal vluchten en vliegbewegingen bij NRTC in 2016

2016	Vliegbewegingen	Vluchten*
Fixed wing 0 – 25 kg	61.72	618
Helicopter ** 0 – 25 kg	254.62	2010
Helicopter ** 25 – 150 kg	8.97	118
Other Aircraft ***	0.67	11
Totaal	325.98	2757

*) Eén vlucht bestaat uit 2 vliegbewegingen: één start en één landing.

**) Multirotor-systemen (quad-, hexa- en octocopters) vallen onder de groep 'helicopter'.

***) 'Other aircraft' is een drone-type met een configuratie anders dan vastvleugelig vliegtuig en helikopter. Bijvoorbeeld een hybride type.

Op basis van deze gebruiksstatistieken zijn invoergegevens samengesteld waarmee enkele proefberekeningen van geluidbelasting en externe veiligheid worden uitgevoerd. De uitkomsten van deze berekeningen worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

4 Milieueffecten

Voor de testfaciliteit wanneer deze als luchthaven wordt bestempeld zal volgens de Wet luchtvaart een luchthavenregeling of een luchthavenbesluit aan de orde zijn. De ligging van de milieucontouren - de geluidscontouren van 56 dB(A) L_{den} en de 10^{-6} (per jaar) plaatsgebonden risicocontour - is hiervoor bepalend.

Gevalideerde rekenmodellen voor drones moeten nog worden ontwikkeld en zijn daarom niet beschikbaar. Om inzicht te krijgen in de milieueffecten van drones op en rond een testfaciliteit worden enkele proefberekeningen uitgevoerd gebruikmakend van bestaande rekenmodellen voor geluidbelasting en externe veiligheid voor kleine luchtvaart. De lichtste of kleinste bemande vliegtuigen die toepasbaar zijn in de huidige rekenmodellen worden beschouwd.

Opgemerkt wordt dat de proefberekeningen als 'worst-case' moeten worden gezien, omdat de milieu-impact van drones veelal minder is dan die van kleine luchtvaart. De uitkomsten van de berekeningen kunnen (zeer) conservatief zijn voor de drone operaties op testfaciliteiten. In de onderbouwing van verdere regelgeving is het belangrijk dat hierover op de goede manier wordt gecommuniceerd. Er wordt aanbevolen om over te gaan op verplichte registratie (van vlieguren en incidenten) om voldoende data te kunnen genereren om de rekenmodellen aan te passen / uit te breiden met drone specifieke aspecten.

Uitgangspunten voor de berekeningen van geluidbelasting en externe veiligheid:

- 2500 bewegingen op jaar basis bestaande uit starts en landingen.
- Onderscheid gemaakt in twee types drones: fixed wing en helikopter (incl. multirotor systeem).
- Als fixed wing drone is Diamond DV20 gebruikt (het meest geluidsarme en lichtste type).
- Als helikopter is Robinson R22 gebruikt (het meest geluidarme en lichtste type).
- Voor externe veiligheid wordt onderscheid gemaakt tussen Robinson R22 voor gebruik 'training' en 'non-training'.
- Als start- en landingsbaan is een airstrip gebruikt (lengte ca. 220 meter) zoals aangegeven op het NRTC-terrein (fig. 2).
- Als vliegroutes worden rechte vliegbanen gebruikt voor opstijgend en landend verkeer.
- Maximale vlieghoogte is 500 ft (alleen geluidbelasting).
- Voor berekening geluidbelasting zijn vliegroutes gebruikt met begin- en eindpunten liggend op de baaneinden.
- Voor berekening externe veiligheid zijn helikoptersectoren gebruikt (tophoek van 10 graden) liggend op de baaneinden.
- Geluidbelasting is berekend in een rekengrid met 10m interval, en externe veiligheid met 25m celgrootte.

4.1 Geluidbelasting

Figuur 3 toont het resultaat van de geluidbelastingsberekening¹. In deze berekening is uitgegaan van 100% helikopterterverkeer van het lichtste type, Robinson R22 (geluidscategorie 11, maximaal startgewicht ca. 635 kg, standaard hoogtepfiel maximale vlieghoogte 500ft). Het totaal aantal starts en landingen is 2.500 en is evenredig verdeeld over de baankoppen. Het baangebruik is dus 50%-50% en er is geen meteotoeslag toegepast.

Uit het resultaat van de 'worst case' berekening is gebleken dat bij 2500 starts én landingen de 56 dB(A) L_{den} contour ruim binnen de terreinbegrenzing ligt. Om te zien welke geluidscontour nog past binnen de terreinbegrenzing, is tevens de 56 dB(A) L_{den} contour berekend met opgeschaald aantal bewegingen. Figuur 3 laat zien dat de

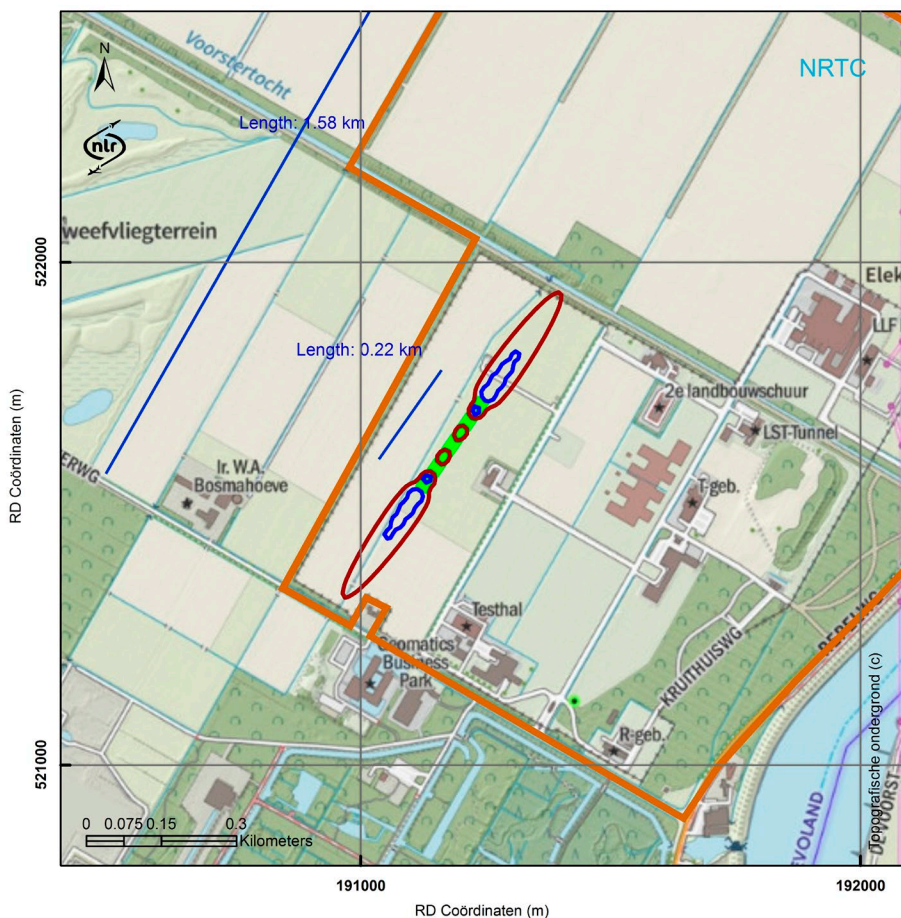
¹ Er zijn ook geluidberekeningen uitgevoerd voor een fixed-wing toestel. Voor fixed-wing is uitgegaan van het microlight-aircraft (MLA), DV20 (categorie 8, max. startgewicht ca. 750 kg). Uit de rekenuitkomsten blijkt dat de geluidbelasting van helikopterterverkeer van R22 (cat 11) dominanter is dan die van DV20 (cat 8) bij gelijk aantal bewegingen. Voor worst-case benadering wordt alleen het resultaat van R22 beschouwd.

'opgeschaalde' 56 dB(A) L_{den} contour aan de zuidkant van het luchthaventerrein net binnen de begrenzing valt. De hiervoor toegepaste schaalfactor is (bijna) 2,5. Met andere woorden, voor een testfaciliteit als het NRTC kan het totaal aantal bewegingen zonder ruimtelijke consequenties worden opgehoogd tot 6250.

Zoals gezegd is de berekening van geluidbelasting conservatief en zijn de uitkomsten zwaar overschat. In de berekening beginnen of eindigen de helikopterbewegingen op de baankoppen. In de praktijk gebruikt het NRTC niet alleen de uiteinden van de baan voor testen en oefenen van helikopter of multirotor-systeem, maar voornamelijk het midden van de baan. Dit betekent dat de geluidscontouren eigenlijk iets dichter bij de baan zouden beginnen. Als gevolg hiervan kan men het totaal aantal starts en landingen met meer dan een factor van 2,5 ophogen opdat de 56 dB(A) L_{den} contour de begrenzing aan de zuidkant van het luchthaventerrein zou raken.

Opmerkingen:

- 1) R22 beschikt over een verbrandingsmotor terwijl een zeer groot deel van de drones die momenteel op het NRTC opereren elektrisch aangedreven zijn. Er bestaat een groot verschil in geluidsproductie tussen R22 en een elektrisch aangedreven drone.
- 2) Op dit moment zijn er nog onvoldoende gegevens beschikbaar van geluidproductie bij elektrisch aangedreven drones. Binnen het Europese Framework Contract project EASA.2016.FC21.SC01 is NLR ten tijde dit schrijven samen met een aantal Europese partners bezig om standaard meetmethodes en metriekeken op te zetten voor de geluidsproductie en certificatie van drones (die elektrisch worden aangedreven of verbrandingsmotor hebben).



Figuur 3: 56 dB(A) L_{den} (blauw) bij 2500 helikopterbewegingen van Cat 11. Tevens gepresenteerd is een 56 dB(A) L_{den} (rood) contour bij het bewegingsaantal dat opgeschaald is met een factor van 2,5

4.2 Externe Veiligheid

Figuur 4 toont het resultaat van de plaatsgebonden risicoberekening die overeenkomstig het externe veiligheidsberekenningsvoorschrift (gebaseerd op de Wet luchtvaart) met GEVERS 2.1 is uitgevoerd. In de externe veiligheidsberekening zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als voor de geluidbelasting. Voor eenmotorig zuiger-aangedreven (Single Engine Piston) helikopter wordt onderscheid gemaakt tussen de twee operatietypes: training en non-training. Beide types zijn afzonderlijk berekend. Voor externe veiligheid heeft 'training' een hogere ongevalkans dan 'non-training'. Het verschil is ongeveer een factor 3,5 (zie referentie 2). In het figuur is ook de contour berekend voor de 'non-training', deze contour past redelijk goed binnen de terreinbegrenzing.

Uit het resultaat van de 'worst case' berekening met de R22 helikopter voor training blijkt dat bij 2500 starts én landingen de 10^{-6} PR-contour buiten de terreinbegrenzing komt. De 10^{-6} PR contour overschrijdt de zuidkant van de begrenzing van het terrein.

Opgemerkt wordt dat voor een gelijk aantal bewegingen de berekeningsuitkomsten van externe veiligheid (de 10^{-6} PR contouren) een grotere omvang hebben dan de equivalente geluidscontouren (56 dB(A) L_{den}). Uitgaande van de wettelijk vastgestelde grenswaarden en rekenmodellen voor geluid en externe veiligheid en gelet op het gebruik en de omvang van het NRTC zijn de risicocontouren bepalender dan de geluidscontouren.

Externe veiligheid wordt modelmatig bepaald door drie elementen: ongevalkans, ongevallocatie en ongevalgevolgen. Bij de modellering externe veiligheid van luchthavens (bemande luchtvaart) is uitgebreid ongeval- en statistische analyse nodig. Voor drones zijn dergelijke ongevalstatistieken (nog) niet voorhanden. NLR is van mening dat de plaatsgebonden risicocontouren zoals vastgesteld met het bestaande externe veiligheidsmodel van bemande luchtvaart te zwaar overschat zijn voor het soort drones die het meeste voorkomen bij het NRTC (multirotor-systemen).

Hieronder is een aantal argumenten gegeven dat voor drones elk modelement is overschat:

1. De ongevalkarakteristieken van helikopters en die van multirotor-systemen zijn verschillend. Bij helikoptercrash kan door het glijden zonder motorvermogen (autorotatie) de helikopter verder komen. Dit aspect bepaalt mede de ongevallocatie van helikopter, de afstanden ten opzichte van de start- en landingsplaats van helikopter, in het model.
Uit de ervaringen van NRTC valt het multirotor-systeem bij crashen vrijwel recht naar beneden. Verder geldt dat als gevolg van regelgeving een drone gelimiteerd is tot een beperkte hoogte. Als gevolg hiervan kan een multirotor-systeem dus niet ver verwijderd raken van de test- en oefenlocatie. De modellering van ongevallocatie van helikopter is dan voor drones in de vorm van een multirotor-systeem overschat. Afgaand op berichten in de media zijn er enkele incidenten geweest met zogenaamde 'fly-away' drones (zowel fixed wing als multirotor systemen). Een 'fly-away' is een ongecontroleerde dronevlucht die bijvoorbeeld ontstaat door het verliezen van verbinding (*loss of command and control link*). Een 'fly-away' kan ver komen afhankelijk van de resterende batterijduur en windrichting. Bij NRTC heeft een dergelijke 'fly-away' zich nog niet voorgedaan. Wel zijn er noodprocedures of mitigatie-maatregelen om een 'fly-away' tegen te gaan, waardoor de veiligheid van derden (andere luchtruim-gebruiker en/of mensen op de grond) gewaarborgd blijft.

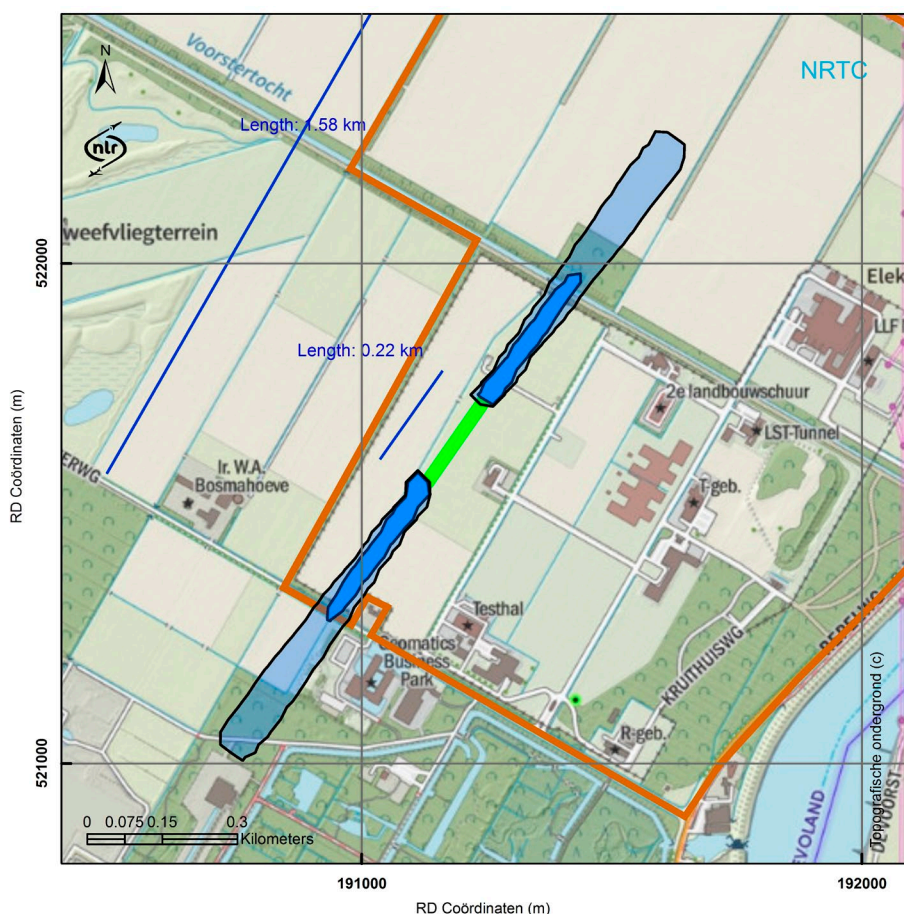
2. In de berekening is uitgegaan van het lichtste helikoptertype, te weten Robinson R22. Dit type weegt circa 635 kg. Uit Tabel 2 is afgeleid dat ongeveer 95% van de dronevluchten in 2016 bij NRTC is uitgevoerd door helikopters (incl. multirotor systemen) en fixed wing van onder de 25 kg. Het merendeel daarvan komt van helikopters inclusief multirotor-systemen.

In het EV-model wordt het ongevalgevolgebied (crash gebied) bepaald door de grootte van helikopter in termen van het maximaal startgewicht. Aangezien het maximaal startgewicht van R22 vele malen hoger is ($635/25 = 25$ keer) dan de meest gangbare drones bij NRTC (multirotor-systemen), geeft het toepassen van ongevalgevolgen van helikopter een uitkomst die zwaar overschat is voor de drones.

Naast het ongevalgevolgebied is letaliteit ook een onderdeel van de modellering van de ongevalgevolgen. Letaliteit is gedefinieerd als de fractie mensen buiten het luchtvaartuig, maar binnen het ongevalgevolgebied, dat bij een ongeval met een luchtvaartuig overlijdt. Door het ontbreken van de ongevallenstatistieken en beperkt onderzoek op dit gebied is een inschatting van een representatieve waarde voor letaliteit van drones niet mogelijk.

3. De ongevalkansen die voor de helikopter zijn toegepast hebben betrekking op ongevallen die tot een afstand van 2 à 3 kilometer plaats hebben gevonden (zie referentie 2). Zoals eerder in punt 1 genoemd komt bij een crash het multirotor-systeem niet ver. Bovendien is vanwege de huidige regelgeving de drone operatie beperkt tot VLOS-afstand. Afhankelijk van de grootte van de drone kan de VLOS-afstand oplopen tot maximaal 500 meter (met EVLOS loopt de afstand tot 1.300 meter), en zijn de ongevalkansen van helikopters dus overschat voor de drone operaties binnen de huidige regelgeving.

Gebaseerd op de bovengenoemde drie argumenten in combinatie met het gebruik van NRTC is NLR van mening dat de externe veiligheidsrisico's (de 10^{-6} PR contouren) binnen de begrenzing blijven: ongevallocaties beperkter, veel kleiner ongevalgevolgebied en ongevalkansen beperkt tot korte afstand. Daarnaast laat huidige regelgeving geen dronevlucht toe voor grotere vliegafstanden.



Figuur 4: 10^{-6} PR-contouren bij 2500 vliegbewegingen van R22 helikoptertype bij verschillende EV-operatietypes (lichtblauw: 'training'; donkerblauw: 'non-training')

4.3 Bufferzone Veiligheid

In algemene zin is te stellen dat op een testfaciliteit of test- en oefenlocatie van drones waarvan men gebruik mag maken zonder een bewijs van luchtwaardigheid, brevet en/of operator certificaat, het hieruit voortkomend risico dient te worden gemitigeerd. Ervan uitgaande dat het gebruik van het luchtruim boven de test- en oefenlocatie zou worden beperkt of gesloten voor ander verkeer zou dit in hoofdzaak kunnen worden gedaan door een combinatie van:

- Bufferzone
 - Hierbij wordt een veilige afstand gecreëerd tussen een testlocatie en objecten/personen die geen deel uitmaken van de testlocatie.
 - Voor operaties met multirotor-systemen en helikopters kan worden gedacht aan een bufferzone die afhankelijk is van de hoogte van de voorziene vliegoperatie. Gebaseerd op ervaringen met het gebruik in het eigen testcentrum NRTC, zou bijvoorbeeld de bufferzone gelijk zijn aan de helft van de maximaal toegestane vlieghoogte.
 - Voor vliegtuigen en toestellen vallend onder de 'Other Aircraft' categorie (bijv. Tilt-rotor) dient per keer te worden vastgesteld of de aanwezige bufferzone toereikend is.

- Procedurele waarborgen

Hierbij wordt, met behulp van vastgelegde eisen en verificaties, geverifieerd dat de uit te voeren operatie in combinatie met de technische staat van het toestel en de vliegvaardigheid van de vlieger voldoende waarborgen bieden dat objecten/personen (die geen deel uitmaken van de testlocatie) niet in gevaar worden gebracht. Tevens dienen procedures te waarborgen dat bij een eventuele 'fly-away' (hetzij door technisch falen, hetzij door onbedoelde besturingsinput) adequaat wordt opgetreden.

- Technische voorzieningen

Hierbij wordt door technische hulpmiddelen de kans en/of het effect van het risico gereduceerd. Meer concreet zijn dit technische hulpmiddelen waarmee de kans op een negatief effect van het (onbedoeld) verlaten van het beoogd operatiegebied wordt verlaagd (kans reductie) of de schade die ontstaat bij het (onbedoeld) neerkomen van een systeem wordt gereduceerd (effect reductie). Voorbeelden van dergelijke hulpmiddelen zijn geofencing, parachutesystemen, flight termination systemen (niet zijnde een 'return-home' functionaliteit), transponders, netten, tuiertouw, etc.

De (optimale) invulling en combinatie van één of meer van bovenstaande aspecten, om de geïdentificeerde risico's voldoende te mitigeren, is afhankelijk van de specifieke omgevingssituatie van de testlocatie en het beoogd gebruik. De beheerder van de testlocatie dient altijd een veiligheidsanalyse voor het beoogd gebruik uit te voeren en de (overige) daarin geïdentificeerde risico's tot een acceptabel niveau te mitigeren, en er dient procedureel te zijn vastgelegd hoe te handelen bij noodsituaties.

5 Veiligheid gebruik LiPo accu

Zoals eerder aangegeven, zijn de drones die op het NRTC worden gevlogen voor 90% of meer elektrisch aangedreven. Vanuit het oogpunt van emissie is dit gunstig voor de lokale luchtkwaliteit. Uit de langere ervaringen met het ontwikkelen, testen en opereren van onbemande vliegtuigen heeft het NRTC een gedegen werkprocedure opgebouwd met betrekking tot de veiligheid en behandeling van oplaadbaar Lithium-Ion-Polymeer (hierna: LiPo) accu, die gangbaar is bij een drone die elektrisch wordt aangedreven. Dit type accu komt vaak voor bij een multirotor-systeem, zoals een quadcopter.

Voor het veilig gebruik van LiPo accu heeft het NLR de procedures en werkvoorschriften gedetailleerd in een document (Ref. 3) vastgelegd. Het doel hiervan is om de risico's te beperken, om de veiligheid te vergroten, medewerkers op de hoogte te stellen van de gevaren en een protocol te beschrijven hoe om te gaan met een LiPo accu op het gebied van veiligheid en milieu.

In de interne werkprocedure van NLR zijn de belangrijkste gevaren van het gebruik van een LiPo accu opgenomen, te weten:

- Letsel aan ogen of huid ten gevolge van ontbranding accu
- Brandwonden (oog en huid) ten gevolge van ontbranding accu
- Brandgevaar

Voorts is er een werkbeschrijving c.q. veiligheidsprotocol opgenomen voor de behandeling van LIPO accu bij:

- Laden en ontladen
- Afvoeren
- Opbergen

Ook bij incidenten heeft NRTC een duidelijk protocol voor veiligheid om te volgen. Na een incident, bijvoorbeeld als gevolg van laden/ontladen of impact, kan een LiPo accu instabiel worden en (spontaan) ontbranden. De accu kan daarom niet veilig op een reguliere manier worden afgevoerd en deze dient daarom met een speciaal hiervoor vervaardigde constructie ter plekke onschadelijk worden gemaakt. Dit zorgt ervoor dat enerzijds de veiligheid gewaarborgd blijft, anderzijds de uitstoot van gevaarlijke stoffen van kapotte accu zoveel mogelijk wordt vermeden. De werkwijze en veiligheidsvoorschriften hiervoor zijn ook in de werkprocedure beschreven.

In appendix A is wordt het NLR veiligheidsprotocol voor behandeling van LiPo globaal omschreven.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

De meeste dronevluchten die momenteel op een testfaciliteit plaatsvinden, betreft multirotor-systemen met elektrische aandrijving. Deze drone-systemen zijn gunstig vanuit het oogpunt van emissies. De drone accu's van Lithium-Ion-Polymeer (LiPo) dienen met aandacht en met het juiste protocol te worden behandeld in verband met brandrisico's en uitstoot van gevaarlijke stoffen bij kapotte accu's.

Het NLR heeft een drone testfaciliteit die in bedrijf is en waarvan de omvang bekend is. Over de omvang van het gebruik van drones bij andere lopende initiatieven voor testfaciliteiten is niet veel bekend. Wel hebben enkele van die initiatieven als voordeel dat de (lucht)ruimte en faciliteiten (landingsbaan, hangaar, personeel) groter zullen zijn. Dit komt omdat de initiatieven zich baseren op een bestaande of voormalige luchthaven. Om die reden is het NLR van oordeel dat in die gevallen de milieucontouren zonder problemen zijn in te passen bij een gebruik met eenzelfde omvang als het NRTC, waarbij de eventuele interactie met ander luchtverkeer geborgd dient te zijn.

Uit de *worst case* benadering in deze studie (2500 starts en landingen) is gebleken dat de 56 dB(A) L_{den} geluidscontour ruimschoots binnen het NRTC terrein blijft. Ook voor een (opgehoogd) aantal van 6250 bewegingen blijft de geluidscontour binnen de terreingrenzen. Daarbij past nog de kanttekening dat deze geluidberekening een zwaar overschat beeld geeft. Bovendien is nog te beargumenteren dat in de berekening de helikopterbewegingen beginnen of eindigen op de baankoppen. In de praktijk gebruikt een testfaciliteit niet de uiteinden van de baan voor testen en oefenen van helikopter of multirotor-systeem, maar voornamelijk het midden van de baan. Dit betekent dat de geluidscontouren eigenlijk dichter bij de baan zouden beginnen. Als gevolg hiervan kan men het totaal aantal starts en landingen bij het NRTC met meer dan een factor van 2,5 ophogen voordat de 56 dB(A) L_{den} contour de begrenzing aan de zuidkant van het luchthaventerrein zou raken.

De *worst case* benadering voor externe veiligheid geeft een veel te zware overschatting. De studie laat zien dat het huidige model voor de bemande vliegtuigen minder geschikt is voor een inschatting van het risico van drones. Echter, gebaseerd op de risicomodellering van bemande vliegtuigen die sterk overschat is voor drones, en uitgaande van het gebruik en omvang van NRTC is NLR van mening dat de externe veiligheidsrisico's (de 10^{-6} PR contouren) voor vergelijkbare testfaciliteiten binnen de begrenzing van het terrein zullen blijven.

Opgemerkt wordt dat voor een gelijk aantal bewegingen de berekeningsuitkomsten van externe veiligheid (de 10^{-6} PR contouren) een grotere omvang hebben dan de equivalente geluidscontouren (56 dB(A) L_{den}). Op basis van de wettelijk vastgestelde grenswaarden en rekenmodellen voor geluid en externe veiligheid en gelet op het gebruik en de omvang van het NRTC zijn de risicocontouren bepalender dan de geluidscontouren.

6.2 Aanbevelingen

Gezien de snelle ontwikkeling van drones en het toenemende gebruik daarvan zullen er meer testfaciliteiten in Nederland komen. Echter, er zijn nog geen wettelijk modellen ontwikkeld om de milieueffecten zoals geluidbelasting en externe veiligheidsrisico's van drones rondom een testfaciliteit te bepalen. Om te kunnen vaststellen of er ruimtelijke consequenties zijn voor een testfaciliteit vanwege de milieueffecten van drones is het aanbevolen om een hanteerbaar, eenvoudig rekeninstrument (rekentool) te ontwikkelen. Hiermee kan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu snel inzicht krijgen over de milieueffecten behorend bij het verwacht gebruik en de omvang van de testfaciliteit.

Het is ook aanbevolen om de beschikbaarheid van de gegevens voor geluid en (externe) veiligheid te inventariseren, en deze gegevens te verzamelen in een database. Het opzetten van een dergelijke database kan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu helpen om inzicht te krijgen over het gebruik en de effecten van drones op het milieu om daarmee een passend milieu-beleid te ontwikkelen. Op termijn kan het Ministerie bepalen of wettelijk milieu-modellen voor drones moeten worden ontwikkeld die aansluiten bij de ontwikkeling van de EASA regelgeving. De verzamelde gegevens kunnen dan worden toegepast in de modelontwikkeling.

Operaties binnen terreingrenzen (onder andere VLOS) kunnen de ligging van de berekende contouren van geluidbelasting en externe veiligheid significant wijzigen. Aanbevolen wordt om, na de ontwikkeling van specifieke modellen voor milieueffecten van drones, deze operaties in de berekeningen mee te nemen.

7 Referenties

1. Smeltink, J.W., Bergmans, D.H.T. en Nieuwenhuisen, D. (2016), Test- en oefenlocaties voor drones in Nederland, NLR-CR-2016-152, Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum NLR.
2. Cheung et al (2008), A model to calculate third party risk due to civil helicopter traffic at heliports, With the focus on inland heliports in the Netherlands, NLR-CR-2007-003, Netherlands Aerospace Centre NLR.
3. Hanema, A.F., (2015), NLR.AVHA LIPO. Procedures en werkvoorschriften, NLR managementsysteem, concept 21-08-2015, Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum NLR.

Appendix A Omschrijving veiligheidsprotocol LiPo

Dit appendix geeft een globale omschrijving van het veiligheidsprotocol dat NRTC hanteert voor de behandeling van LiPo accu bij:

- Laden en ontladen
- Afvoeren
- Opbergen

Voor ieder onderdeel van proces (laden en ontladen, afvoeren, en opbergen) zijn werkstappen beschreven in referentie 3. Het doel van de NLR procedures en werkvoorschriften is om de risico's te beperken, om de veiligheid te vergroten, medewerkers op de hoogte te brengen van de gevaren en een protocol te beschrijven hoe om te gaan met een LiPo accu op het gebied van veiligheid en milieu.

De belangrijkste gevaren van het gebruik van LiPo accu zijn:

- Letsel aan ogen of huid t.g.v. ontbranding accu
- Brandwonden (oog en huid) t.g.v. ontbranding accu
- Brand t.g.v. ontbranding accu

Per procesonderdeel (laden en ontladen, afvoeren, en opbergen) wordt een risicoklasse gekoppeld waar betreffende personen in normale omstandigheden mee te maken krijgen. Als de medewerker volgens het opgestelde protocol werkt, kan hij in een lagere, acceptabele risicoklasse terecht komen.

- Voor het “laden en ontladen” bevat het proces het opstellen van laad/ontlaad systemen, aankoppelen LIPO, instellen van juiste laadprocedure, aanbrengen van safety bag, en handhaven en controle van veiligheidsprotocol.
- Voor het “afvoeren” bevat het proces het veiligstellen van LiPo, neutraliseren van LiPo, afvoeren van LiPo, en handhaven en controle van veiligheidsprotocol.
- Voor het “opbergen” bevat het proces het terugbrengen van spanning van LiPo naar opslagvoltage, controleren op beschadigingen, opbergen in de aangewezen opslaglocatie, op Locatie een veilige opslaglocatie creëren en het bekend maken van de opslaglocatie, en handhaven en controle van veiligheidsprotocol.

Verder wordt per procesonderdeel veiligheidsprotocol beschreven. Het veiligheidsprotocol voor laden en ontladen en afvoeren wordt onderscheid in drie niveaus van veiligheid:

1. Eigen veiligheid
2. Veiligheid van derden
3. Veiligheid algemeen

En het veiligheidsprotocol voor opbergen wordt onderscheid in twee niveaus van veiligheid:

1. Veiligheid algemeen
2. Veiligheid opslaglocatie

Elk niveau bestaat uit aantal aandachtspunten waaraan men zich moet houden.

Deze pagina is opzettelijk blanco.

NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210
e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl