



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Haalbaarheid *gebruik onbemande meetvliegtuigjes bij calamiteiten*





Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Haalbaarheid gebruik onbemande meetvliegtuigjes bij calamiteiten

RIVM Rapport 2014-0074
NLR Rapport NLR-CR-2014-378

Colofon

© RIVM 2014

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

K. Tukker, RIVM
H.W. Jentink, NLR
E.M. van Putten, RIVM
M.C. Roelofs, NLR
C.F. Muller, NLR
J. Vreeken, NLR

Contact:
Karin Tukker
Centrum Veiligheid
karin.tukker@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht met subsidie van NCVT, in het kader van Veiligheid door Innovatie.

Bij dit onderzoek is gebruikgemaakt van en samengewerkt met trainingscentrum Troned, onderdeel van Safety Campus Twente.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Onbemande vliegtuigjes die zijn toegerust met moderne meetinstrumenten, maken het in principe mogelijk om bij calamiteiten metingen hoog in de lucht te verrichten. Dat kan tot nu toe alleen nog op de grond. Het bleek mogelijk om een radioactieve bron vanuit een onbemand vliegtuigje te meten, maar om dat te vertalen naar de stralingsdosis tijdens een kernongeval zijn ingewikkelde berekeningen nodig. Ook kan een rookpluim worden bemonsterd, alleen zijn de uitkomsten daarvan niet eenduidig. Beide technieken zijn veel belovend en er lijken voldoende mogelijkheden te zijn om de eventuele juridische problemen van het inzetten van onbemande vliegtuigjes tijdens calamiteiten op te lossen. Meer vliegproeven en data zijn nodig voordat deze onbemande vliegtuigjes daadwerkelijk kunnen worden toegepast.

Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM en het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), dat aangeeft hoe deze technologische innovatie werkbaar kan worden gemaakt. Hiertoe is eerst verkend voor welk type calamiteiten de inzet van onbemande vliegtuigjes het meest relevant is. Op basis daarvan is gekozen voor chemische branden en kernongevallen. Vervolgens is uitgezocht welke typen vliegtuigjes en meetapparatuur het beste voor deze calamiteiten kunnen worden ingezet.

Bij een chemische brand kan een onbemand vliegtuigje ingezet worden om de omvang en de hoogte van de rookpluim te bepalen. Daarnaast kan het vliegtuigje monsters nemen van de rook in de pluim. Bij een kernongeval kan het vliegtuigje ingezet worden om de radioactieve wolk in kaart te brengen en de radioactiviteit in het besmette gebied te meten. Een groot voordeel van het gebruik van een onbemand vliegtuigje is dat er geen of minder hulpverleners naar het gebied hoeven te worden gestuurd en dat ook in 'onveilig gebied' dicht bij een bron kan worden gemeten. Hierdoor worden zij niet of minder aan straling blootgesteld.

Er bestaan verschillende types onbemande vliegtuigjes. Voor de inzet bij chemische branden en kernongevallen lijken de aeroplane- en rotorcraftvliegtuigjes de meest voor de hand liggende keuze. Dat komt door het gewicht dat ze mee kunnen nemen, door de mogelijkheid om stil te hangen in de lucht en door de grotere afstanden die ze kunnen overbruggen. Voor de meet- en bemonsteringsapparatuur is een keuze gemaakt uit technieken die binnen het RIVM worden gebruikt.

onbemande meetvliegtuigjes, calamiteiten, chemische brand, kernongeval, pluim

Abstract

In principle, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with modern measuring instruments can be used to perform measurements at high altitudes in the event of a disaster. In the past such measurements could only be carried out at ground level. Tests have demonstrated that UAVs can be used to conduct radioactive source measurements in the event of a nuclear accident, but complex calculations are required to convert the resulting data into radiation dose levels. It is also possible to take samples from a plume of smoke, although this method does not produce clear results. Both techniques are very promising and it appears to be possible to resolve legal problems associated with the use of UAVs during disasters. Additional flight tests and more information are required before such UAVs can be used in practice.

These are the main conclusions of a study conducted by the Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) in conjunction with the National Aerospace Laboratory of the Netherlands (NLR) to explore the practical applications of this innovative technology. The study focused on the types of disasters in which UAVs can be deployed most effectively. A preliminary analysis showed that chemical fires and nuclear accidents offered the most appropriate conditions. The researchers subsequently investigated which types of UAV and measuring devices are most suitable for deployment during the aforementioned disasters.

During a chemical fire, UAVs can be used to measure the diameter and height of the plume. The UAV can also take samples of the smoke in the plume. In the event of a nuclear accident, UAVs can be deployed to map the radioactive cloud and measure radioactivity levels in the contaminated area. One major advantage of using UAVs is that they reduce or even completely eliminate the need to send first responders to the area, while retaining the ability to perform measurements close to the source in the 'danger zone'. As a result, first responders are exposed to lower radiation levels or even no radiation at all.

There are various types of UAVs currently on the market. Aeroplane and rotorcraft UAVs appear to be the most obvious choice for use during chemical fires and nuclear accidents, in light of their carrying capacity, hovering capabilities and greater radius of action. The measuring and sampling equipment used in the study was selected from the technologies already in use at RIVM.

Keywords: UAV, disaster, chemical fire, nuclear accident, plume

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

1 Inleiding – 11

2 Scenario's waarbij de inzet van onbemande meetvliegtuigjes wenselijk is – 13

- 2.1 Scenario's waarbij een onbemand meetvliegtuigje ingezet kan worden – 13
- 2.2 Uitkomst klankbordgroep – 13
- 2.3 Relevant chemisch scenario uitgewerkt – 14
- 2.4 Relevant radiologisch scenario uitgewerkt – 15

3 Inzet van onbemande meetvliegtuigjes – 17

- 3.1 Verschillende typen onbemande meetvliegtuigjes – 17
 - 3.1.1 Overzicht toepasbaarheid – 18
 - 3.2 Inzet bij chemische calamiteiten – 19
 - 3.2.1 Metingen bij chemische calamiteiten – 19
 - 3.2.2 Huidige technieken – 19
 - 3.2.3 Functionaliteiten van een onbemand meetvliegtuigje – 22
 - 3.2.4 Risico's – 22
 - 3.3 Inzet bij radiologische calamiteiten – 23
 - 3.3.1 Metingen bij radiologisch calamiteiten – 23
 - 3.3.2 Meetapparatuur – 25
 - 3.3.3 Functionaliteiten onbemand meetvliegtuigje – 26
 - 3.3.4 Risico's – 26

4 Technische haalbaarheid: vliegproeven – 27

- 4.1 Vliegproef chemische meting en bemonstering – 27
- 4.2 Uitvoering chemische vliegproeven – 27
- 4.3 Vliegen in een rookwolk – 30
- 4.4 Resultaten van de metingen en bemonsteringen – 31
 - 4.4.1 eNose – 31
 - 4.4.2 Temperatuur – 33
- 4.5 Conclusie chemische vliegproeven – 35
- 4.6 Radiologische vliegproeven – 36
- 4.7 Uitvoer radiologische vliegproeven – 36
- 4.8 Resultaten van de metingen – 38
- 4.9 Conclusie radiologische vliegproeven – 40

5 Juridische haalbaarheid – 43

- 5.1 Introductie – 43
 - 5.1.1 Wettelijk kader – 43
 - 5.1.2 Internationale wet- en regelgeving – 43
 - 5.1.3 Nationale wet- en regelgeving – 44
 - 5.1.4 Toekomstige wet- en regelgeving – 45
- 5.2 Juridische haalbaarheid – 45
 - 5.2.1 Ontheffingenbeleid – 45
 - 5.2.2 Onder de huidige regelgeving – 46
 - 5.2.3 Ontheffing van het Bewijs van Luchtwaardigheid – 46
 - 5.2.4 Ontheffing van het Bewijs van Bevoegdheid – 47
 - 5.2.5 Ontheffing voor het beroepsmatig deelnemen aan het luchtverkeer met lichte onbemande luchtvaartuigen – 47
- 5.3 Klasse 1-vluchtuitvoering – 48

5.4 Klasse 2-vluchttuitvoering – 48

5.5 Conclusie – 49

6 Economische haalbaarheid – 51

6.1 Financiële aspecten en haalbaarheid – 51

7 Conclusie – 53

8 Literatuur – 55

Bijlage A: mogelijke ongevalsscenario's – 57

Bijlage B: voorbeelden van types meetvliegtuigjes – 61

Bijlage C: huidige chemische meettechnieken – 67

Bijlage D: indicatieve tekeningen en foto's van vliegtuigjes met een geïntegreerde detectoren – 69

Bijlage E: luchtvaartregels voor onbemande luchtvaartuigen – 75

Samenvatting

Het RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) en het NLR (Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium) werken samen aan het project 'Haalbaarheidsstudie gebruik onbemande meetvliegtuigjes bij calamiteiten', waarvoor de NCTV (Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid) van het Ministerie van Veiligheid en Justitie een subsidie heeft verleend.

Voor de haalbaarheidsstudie zijn verschillende mogelijke ongevalsscenario's bekeken, voor zowel chemische als radiologische calamiteiten. Voor alle ongevalsscenario's is overwogen of de inzet van onbemande meetvliegtuigjes relevante metingen zou kunnen opleveren. De scenario's zijn met een klankbordgroep besproken en beoordeeld op relevantie. De twee door de klankbordgroep als meest relevant beoordeelde scenario's, een grote chemische brand en een radiologisch (kern)ongeval met lozing, zijn vervolgens verder uitgewerkt.

Het nut van de inzet van een onbemand vliegtuigje bij een grote chemische brand ligt voornamelijk bij het in kaart brengen van de pluim en het bepalen van de concentratie in de pluim, omdat dit lastig of vaak onmogelijk is met metingen vanaf de grond.

Bij een radiologische brand of een kernongeval is er met name tijdswinst te behalen in het bepalen van de ligging van de radiologische wolk of het besmette gebied. Daarnaast is een groot voordeel van de inzet van onbemande vliegtuigjes dat de stralingsdosis van hulpverleners gereduceerd kan worden. Zowel voor een chemische brand als voor een radiologisch (kern)ongeval is gekeken welke meetgegevens, verkregen met een onbemand meetvliegtuigje, relevant kunnen zijn voor optimalisatie van de meetstrategie. Vervolgens is er bepaald welke meet- en of bemonsteringsapparatuur daarvoor geschikt zou zijn en met wat voor type vliegtuigje de metingen en of bemonsteringen het beste uitgevoerd kunnen worden. Bij een chemische brand kan het beste bemonsterd worden met een canister om snel en efficiënt relatief nauwkeurige informatie te verkrijgen over een breed scala aan vluchtige stoffen. Om deze bemonstering goed uit te kunnen voeren en de rookpluim beter in kaart te kunnen brengen wordt gebruikgemaakt van eNose-sensoren.

Om een radiologische wolk of oppervlaktebesmetting in kaart te brengen wordt gebruikgemaakt van een dosistempomonitor. De onbemande vliegtuigjes die voor zowel een chemische brand als een radiologisch ongeval het meest praktisch zijn, zijn van het type aeroplane en rotorcraft.

Voor zowel het chemische als het radiologische scenario is een vliegproef bedacht om aan te tonen dat de gekozen meet- en bemonsteringsmethoden geschikt zijn. Voor de chemische vliegproef is gekozen om een aeroplane- en een rotorcraftvliegtuigje uit te rusten met een eNose-sensor en een canister voor de bemonstering. Met beide vliegtuigjes is in een rookpluim gemeten en bemonsterd. De rookpluim was verder verdund dan je op het oog zou verwachten. De aeroplane heeft een hoge snelheid en is dus meer geschikt voor grotere, dikke rookpluimen. De rotorcraft is in staat om in een pluim te blijven hangen en van daaruit de eerste meetresultaten te versturen. De eNose op de oktokopter kon de gassen in de rookpluim wel waarnemen. Voor de radiologische vliegproeven is een dosistempomonitor aan het rotorcraftvliegtuigje bevestigd. Hiermee is een parcours gevlogen over een gebied waarin een radioactieve bron was geplaatst. Uit de vliegproeven bleek dat het goed mogelijk is om met een onbemand vliegtuigje een radioactieve

bron te detecteren. Ook is echter aangetoond dat er veel omgevingsfactoren zijn die een aanzienlijke invloed op de meetwaarde hebben. De meetwaardes zullen daarom door middel van berekeningen gecorrigeerd moeten worden.

Om met een onbemand vliegtuigje te mogen vliegen wordt op dit moment gebruikgemaakt van de mogelijkheid die de Wet luchtvaart biedt om ontheffing te verlenen. Om de onbemande vliegtuigjes op ad-hoc-basis bij calamiteiten in te kunnen zetten zijn aanvullende ontheffingen noodzakelijk, maar ook dat lijkt haalbaar gezien het grote maatschappelijk belang.

Ten aanzien van economische haalbaarheid zijn kostenindicaties gegeven. De baten zullen aanzienlijk zijn, vanwege de beperking van de (kans op) schade door een betere inschatting van de ernst van een calamiteit en efficiëntere inzet van hulpdiensten.

Hoewel met de uitkomsten van de vliegproeven niet alle onderzoeksvragen volledig beantwoord kunnen worden, lijkt het zowel technisch als juridisch haalbaar om onbemande vliegtuigjes in te zetten bij chemische en radiologische calamiteiten. Voordat de onbemande vliegtuigjes daadwerkelijk ingezet kunnen worden bij calamiteiten zal aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn.

1 Inleiding

Het RIVM en het NLR werken samen aan het project 'Haalbaarheidsstudie gebruik onbemande meetvliegtuigjes bij calamiteiten', waarvoor de Nationaal Coördinator Terrorismedebestrijding en Veiligheid (NCTV) van het Ministerie van Veiligheid en Justitie een subsidie heeft verleend. Het doel van dit project is de haalbaarheid vast te stellen van het doen van metingen vanuit de lucht bij calamiteiten. Deze metingen (indien succesvol) kunnen additionele meetgegevens opleveren waarmee sneller een beter beeld van de ongevalssituatie verkregen wordt, met geringere blootstelling van hulpverleners aan schadelijke stoffen. Op basis van deze extra informatie kunnen beter passende maatregelen worden genomen en kunnen hulpdiensten, bestuurders, pers en publiek beter en sneller worden geïnformeerd.

Bij chemische en/of radiologische calamiteiten en aanslagen, zoals bijvoorbeeld een grootschalige chemiebrand of een aanslag met een 'vuile bom', is het een kerntaak van de overheid om snel passende maatregelen te nemen, om zo de schadelijke effecten te minimaliseren. Bij schade gaat het onder meer om:

- gezondheidsschade die het gevolg is van blootstelling aan schadelijke stoffen;
- schade voor milieu en landbouw;
- economische schade (vaak door imagoschade, bijvoorbeeld vanwege een internationale boycot van landbouwproducten of het wegblijven van toeristen).

Daarnaast wordt van de overheid verwacht dat die haar burgers zo snel mogelijk helderheid verschaft over wat er aan de hand is. Door de snelheid van de sociale media komt er meer tijdsdruk te staan op pers- en publiekscommunicatie, waardoor dit een steeds grotere uitdaging is voor het bevoegd gezag.

Nieuwe technische ontwikkelingen met betrekking tot onbemande vliegtuigjes, geminiaturiseerde meetinstrumenten en geavanceerde ICT-mogelijkheden bieden een kans om in de nabije toekomst metingen te verrichten op plaatsen en momenten waarop dat tot op heden nog niet mogelijk was. Te denken valt aan metingen in de wolke (levert een bronterm op die gekoppeld kan worden aan een verspreidingsmodel), op gevaarlijk terrein (het brongebied van bijvoorbeeld een chemische ramp of een kernongeval), of op plaatsen die om geografische redenen erg moeilijk bereikbaar zijn (bijvoorbeeld havengebied, Zeeuwse eilanden) en wellicht ook op plaatsen in dichtbevolkte gebieden, waar mobiele laboratoria moeilijk of niet inzetbaar zijn (bijvoorbeeld de binnenstad van Amsterdam). Inzet van een meetvliegtuig levert additionele meetgegevens, geeft een sneller beeld van de situatie en resulteert in een geringere blootstelling van hulpverleners aan gevaarlijke stoffen.

In het eerste deel van deze haalbaarheidsstudie zijn representatieve ongevals-scenario's onderzocht waarin meetgegevens verkregen met behulp van een meetvliegtuigje het meest kunnen bijdragen aan de optimale meetstrategie. Deze scenario's zijn ter beoordeling voorgelegd aan de klankbordgroep. De scenario's, de reacties vanuit de klankbordgroep en de door de klankbordgroep als meest relevant beoordeelde scenario's worden beschreven in hoofdstuk 2 van dit tussenrapport. Daarnaast wordt een verkenning gemaakt van verschillende types onbemande vliegtuigjes en soorten meet- en bemonsteringsapparatuur die in beginsel in aanmerking kunnen komen voor

realisatie. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten hiervan. Vervolgens is een keuze gemaakt voor het uitvoeren van vliegproeven die de haalbaarheid van de inzet van onbemande vliegtuigjes aantonen. Het tweede deel van de haalbaarheidsstudie richtte zich op het aantonen van de praktische mogelijkheden van meetvliegtuigjes voor calamiteiten. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de radiologische en chemische vliegproeven beschreven. Hoofdstuk 5 beschrijft de juridische haalbaarheid van het vliegen met onbemande meetvliegtuigjes bij calamiteiten en de economische haalbaarheid wordt toegelicht in hoofdstuk 6. Tot slot wordt in hoofdstuk 7 een conclusie gegeven van deze haalbaarheidsstudie.

2 Scenario's waarbij de inzet van onbemande meetvliegtuigjes wenselijk is

2.1 Scenario's waarbij een onbemand meetvliegtuigje ingezet kan worden

Er zijn veel verschillende calamiteiten denkbaar waarbij de inzet van onbemande meetvliegtuigjes van toegevoegde waarde kan zijn. Bij deze haalbaarheidsstudie is ervoor gekozen om van twee verschillende soorten calamiteiten uit te gaan: chemische ongevallen en radiologische (of kernfysische) ongevallen. Kleine of grotere chemische ongevallen gebeuren gemiddeld enkele tot tientallen keren per jaar, waardoor er vrij veel kennis en ervaring is met dergelijke ongevallen. Radiologische en kernfysische ongevallen gebeuren gelukkig weinig, desondanks zijn zowel veiligheidsregio's van de brandweer als defensie en RIVM hier door regelmatige oefening en training goed op voorbereid.

Om na te gaan bij welke calamiteiten de inzet van onbemande meetvliegtuigjes het meest relevant is, zijn er verschillende scenario's bedacht. Met een scenario wordt hier bedoeld een ongeval dat mogelijk zou kunnen gebeuren of in sommige gevallen gebeurd is. Het ene scenario lijkt wellicht realistischer dan het andere, echter waar een chemische brand vaker voor zal komen dan een ongeval met een kerncentrale, zijn de gevolgen bij een ongeval met een kerncentrale vele malen ernstiger en grootschaliger dan bij een chemische brand. Het RIVM heeft veel kennis van metingen bij zowel de chemische als radiologische ongevallen. In samenwerking met het NLR is er gekeken op welke manier onbemande vliegtuigjes ingezet kunnen worden bij diverse scenario's. Dit heeft een tabel opgeleverd van verschillende scenario's waarbij meetvliegtuigjes ingezet kunnen worden (zie Bijlage A). Deze tabel is besproken in een klankbordgroep van mogelijke gebruikers.

2.2 Uitkomst klankbordgroep

De klankbordgroep bestaat uit deelnemers van Defensie, Brandweer, KLPD, IFV en GHOR. Deze mensen zijn gevraagd plaats te nemen in de klankbordgroep vanwege hun kennis en ervaring van metingen bij en de bestrijding van ongevallen.

De inzet van onbemande vliegtuigjes wordt door de klankbordgroep zeer waardevolle geacht, maar ook gezien als een logische aanvulling op de huidige meetstrategie. Brandweer, Defensie en de KLPD maken al langer gebruik van onbemande vliegtuigjes, met name voor visuele inspectie bij ongevallen.

Voor de meeste van de voorgelegde scenario's wordt het voordeel van gebruik van meetvliegtuigjes bevestigd. De grootste voordelen worden gezien bij situaties met een grote brand (bijvoorbeeld zoals die in 2011 in Moerdijk ontstond) en voor een ongeval in een kerncentrale met lozing van radioactief materiaal naar de lucht.

De voordelen van het gebruik van een meetvliegtuigje in het geval van een terroristische aanslag (radiologisch of chemisch) midden in een drukke stad lijken minder relevant. Het gebied zal slechts van korte duur via de grond slecht bereikbaar zijn door chaos. In die periode zou een vliegtuigje nuttig kunnen zijn, maar voordat het vliegtuigje er vliegt, is de chaos wel weer verdwenen. Ook het toepassen in het scenario met een scheepvaartongeval in het waddengebied lijkt minder urgent.

De voordelen van meetvliegtuigjes zijn vooral te behalen als er ook video- of infrarood(warmtebeeld)opnamen kunnen worden gemaakt voor het verkrijgen van een overzicht van de situatie.

Overwogen kan worden of de vliegtuigjes door verschillende diensten kunnen worden gebruikt, bijvoorbeeld door de politie of inspectiediensten bij toezicht- en handhavingsacties, waardoor ze vaker kunnen worden ingezet, wat het nut en de efficiëntie verhoogt.

De communicatie met de bevolking over de inzet van de meetvliegtuigjes, maar vooral ook over de uitkomst van de metingen, wordt door de klankbordgroep als belangrijk aandachtspunt meegegeven.

2.3 Relevant chemisch scenario uitgewerkt

Het meest relevante chemische scenario is een rookpluim bij een brand. De visuele aanwezigheid van een pluim geeft over het algemeen grote onrust bij de bewoners van een benedenwinds gebied. Het meten en bemonsteren van de pluim is door de hoogte tot nu toe niet mogelijk gebleken. Het is van belang zo snel mogelijk te weten waar de pluim naartoe gaat en waaruit deze bestaat. Door middel van modellering kan voorspeld worden of de vrijgekomen stoffen mens en milieu bedreigen. Omdat momenteel de samenstelling van een pluim niet of nauwelijks bepaald kan worden, kan er weinig gezegd worden over de te verwachten concentratie in het effectgebied. Dit is anders bij lekkages of ontsnappingen van gassen uit bedrijven. Dan kan er een schatting gemaakt worden van de bronterm en aan de hand van de meteogegevens in kaart gebracht worden wat het effectgebied is en wat er zou kunnen gebeuren.

De brandweer is bij ongevallen met chemische stoffen en bij branden in zeer korte tijd aanwezig. De AGS (adviseur gevaarlijke stoffen) start, als dit relevant is, metingen in het brongebied. Andere meetploegen kunnen opgeroepen worden en onder leiding van een MPL (meetplanleider) van de brandweer metingen verrichten in het effectgebied. De teams beschikken over diverse sensoren en stofspecifieke meetbuisjes. Voor uitgebreidere metingen en analyses kan de AGS de hulp inroepen van de Milieuongevallendienst (MOD) van het RIVM. De MOD ondersteunt bij grote chemische incidenten door middel van metingen en modellering.

Het MOD-veldteam bestaat uit een team voor de bemonstering en een team voor analyse. Het eerste team verricht veldmetingen en bemonsteringen. Het tweede team voert in de laboratoriumwagen de eerste analyses uit. Een aantal analyses moet later uitgevoerd worden in een lab, omdat in verband met de complexiteit meer middelen en tijd nodig zijn dan in het veld geleverd kunnen worden. De analyses geven boven op de veldmetingen een betere identificatie en kwantificatie van de vrijgekomen stoffen.

Tegelijkertijd met de veldinzet worden met de bestaande meteogegevens modelberekeningen uitgevoerd en kan berekend worden waar de pluim naartoe gaat.



Figuur 1: rookpluim bij brand

Inzet onbemande meetvliegtuigjes

Een rookpluim bij een brand of een gifwolk bij een chemische lekkage is onbereikbaar voor metingen op de grond. Er bestaan wel meettechnieken, zoals LIDAR, die vanaf de grond naar een pluim kijken. Hiermee kunnen ook concentratiebepalingen van enkele gassen uitgevoerd worden. Toch zijn de toepassingen van deze technieken bij calamiteiten nauwelijks doorgevoerd, vooral omdat de instrumenten minder flexibel inzetbaar zijn. Het vergt tijd om de instrumenten uit te lijnen en dikke rookpluimen zijn voor lichtgevoelige technieken ondoordringbaar. Figuur 1 illustreert het feit dat bij een dergelijke grote brand metingen op de grond van beperkte waarde zijn. Slechts bij enkele branden die weinig warmteontwikkeling hebben, zoals cacaobranden, kruipt de rook over de grond en kunnen eenvoudig metingen in de pluim gedaan worden. Ook de nasmeulfase van branden is goed te bereiken met onbemande vliegtuigjes. Deze fase is gezondheidskundig zeer relevant, omdat er meer schadelijke stoffen vrijkomen vanwege onvolledige verbranding. De rookpluim bij een brand heeft chemische en fysische eigenschappen. Voor de modellering zijn beide eigenschappen van groot belang. Het meetvliegtuig kan ingezet worden voor het in kaart brengen van de fysische eigenschappen van de pluim (temperatuur, pluimstijging, pluimhoogte). Daarnaast zijn metingen aan de chemische samenstelling van gassen en stofdeeltjes gewenst. Dit kan zowel bereikt worden door continue metingen, als door monsters te nemen uit de pluim en deze op de grond in een laboratoriumwagen te analyseren.

Voor betere modellering is meer informatie nodig over de aard van de pluim: de warmte van de inhoud, de pluimstijging en de maximale hoogte van de pluim. Om een schatting te maken van de bronterm (hoeveel komt er vrij van welke stof) is het nuttig om over meetgegevens in de pluim te beschikken.

2.4 Relevant radiologisch scenario uitgewerkt

Het meest relevante scenario waarbij onbemande meetvliegtuigjes ingezet zouden kunnen worden, is een grootschalig radiologisch of kernfysisch ongeval waarbij een radioactieve wolk vrijkomt. Dit kan een brand in een radionuclidelaboratorium zijn maar ook een ongeval met een kerncentrale.

Bij een ongeval met een kerncentrale kan een lozing van radioactieve stoffen plaatsvinden. Dit kan gevolgen hebben voor een groot gebied rondom de centrale. In de buurt van de kerncentrale (tot een aantal kilometers) kan het stralingsniveau zo hoog zijn dat het voor hulpverleners niet wenselijk is om het gebied te betreden. Ook daarbuiten kan het noodzakelijk zijn dat de bevolking moet schuilen of zelfs geëvacueerd moet worden, dit om effecten op de lange termijn te voorkomen. Wanneer de radioactieve wolk op de grond neerslaat, kan het noodzakelijk zijn dat de koeien op stal gaan, de gewassen niet meer geconsumeerd worden of de inlaat van drinkwater opgeschort wordt.

Bij een brand in een radionuclidelaboratorium kunnen radioactieve stoffen vrijkomen. Hierdoor kan een radioactieve (rook)wolk ontstaan en kan een lokaal gebied radioactief besmet worden. Dit kan gevolgen hebben voor de omwonende bevolking. Het getroffen gebied zal vele malen kleiner zijn dan bij een ongeval met een kerncentrale, echter een radionuclidelaboratorium bevindt zich vaak dicht bij bevolkt gebied dan een kerncentrale.

Volgens de huidige meetstrategie wordt er door verschillende meetteams gemeten en bemonsterd. Door meetploegen van de brandweer en meetwagens van Defensie en het RIVM worden al rijdend dosistempometingen verricht. De meetwagens van Defensie en het RIVM kunnen naast dosistempometingen ook bemonsteringen uitvoeren. Verder geven de meetposten van het NMR (Nationaal Meetnet Radioactiviteit) elke tien minuten het lokale dosistempo. Op basis van al deze metingen in combinatie met modelberekeningen wordt een beeld van de radiologische situatie verkregen.

Bij een ongeval waarbij een radioactieve wolk vrijkomt, is het belangrijk zo snel mogelijk de aard en omvang van de wolk in kaart te brengen. Door middel van modelberekeningen wordt een voorspelling van de wolk gemaakt die met metingen bevestigd of bijgesteld kan worden. Met behulp van onbemande meetvliegtuigjes kan de omvang van de wolk sneller en eenvoudiger bepaald worden dan momenteel met veldmeetploegen gebeurt. Waar de meetploegen van Brandweer, Defensie en het RIVM zich alleen over de weg kunnen verplaatsen en zo beperkt zijn in waar er gemeten kan worden, geldt dat niet voor onbemande meetvliegtuigjes. Met meetvliegtuigjes is het ook mogelijk om water en landbouwgebieden over te steken en al dan niet in kaart te brengen, waardoor er veel tijdswinst te behalen is. Daarnaast kan ook de hoogte van de wolk bepaald worden, wat zeer relevant is voor de modelberekeningen.

Voor de veiligheid van de hulpverleners is het niet wenselijk om deze mensen, al dan niet in beschermende kleding of afgeschermdde wagen, een radioactieve wolk in te sturen. Door de inzet van onbemande meetvliegtuigjes is de stralingsdosis die hulpverleners zouden ontvangen aanzienlijk te reduceren.

3 Inzet van onbemande meetvliegtuigjes

Voordat de onbemande meetvliegtuigjes ingezet kunnen worden bij de beschreven scenario's, moet er een keuze gemaakt worden uit verschillende types vliegtuigjes. Daarnaast moeten er ook keuzes qua apparatuur gemaakt worden. De focus voor de meet- en bemonsteringsapparatuur ligt op apparaten en monitoren die direct verkrijgbaar zijn en waaraan niet ontwikkeld hoeft te worden.

3.1 Verschillende typen onbemande meetvliegtuigjes

Er kunnen verschillende typen onbemande meetvliegtuigjes (ook wel Remotely Piloted Aircraft (RPA) of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) genoemd) worden gedefinieerd, elk met verschillende eigenschappen en toepassingen. De belangrijkste typen in het kader van deze toepassing zijn:

- A. Aeroplane
- B. Rotorcraft
- C. Aerostat
- D. Powered paraglider

Ad A. Aeroplane

Een aeroplane is een luchtvaartuig met een vaste vleugel dat zijn voorwaartse snelheid verkrijgt door middel van jet- of propelleraandrijving.

Ad B. Rotorcraft

Binnen het type rotorcraft wordt onderscheid gemaakt tussen de conventionele helikopter- en multirotorsystemen. [1]

Ad B.1. Conventionele helikopter

Een conventionele helikopter heeft een enkele rotor met anti-torque-staartrotor. De rotor van de helikopter zorgt voor de benodigde lift en voorwaartse snelheid waardoor de helikopter verticaal kan opstijgen en landen, stil in de lucht kan hangen en naar voren, naar achteren en zijwaarts kan vliegen. [2]

Ad B.2. Multirotor

Een multirotor is uitgerust met meer dan twee rotorsystemen, met over het algemeen een vaste rotorpitch. Het toestel kan verticaal en horizontaal bewegen door het toerental en daarmee de stuwdruk van een of meerdere motoren te variëren. [3]

Ad C. Aerostat

De aerostat is een luchtvaartuig dat stationair zijn lift krijgt door het 'lichter dan lucht'-principe. De romp van het toestel is gevuld met een gas dat een lagere dichtheid heeft dan lucht. De romp is gemaakt van een lichtgewicht frame waaraan de lading kan worden bevestigd. [4]

Ad D. Powered paraglider

Een gemotoriseerde paraglider is een combinatie van een frame met een motor waaraan met een harnas een parafoil is bevestigd. De lading kan onder of in het frame worden geplaatst. De gemotoriseerde paraglider kan, afhankelijk van de afmetingen, uit de hand of vanaf een vlakke ondergrond gelanceerd worden. [5]

Voorbeelden van vliegtuigjes uit de aangegeven categorieën worden gegeven in Bijlage B.

3.1.1 Overzicht toepasbaarheid

De toepasbaarheid van de verschillende vliegtuigtypes is gewaardeerd voor de beschreven scenario's en meetinstrumenten. De waarderingen in de onderstaande tabel zijn gebaseerd op een vergelijking tussen de genoemde systemen en niet op absolute getallen. De absolute getallen kunnen per uitvoering van het vliegtuigje aanzienlijk verschillen. Er zijn bijvoorbeeld eigenschappen die ruwweg schalen met de grootte van het vliegtuigje.

Tabel 1: Toepasbaarheid van verschillende types vliegtuigjes

Systeem	Rotorcraft	Powered paraglider	Aeroplane	Aerostat
Mobiliteit voor transport ¹	++	++	+	-
Tijd voor operationeel maken ²	++	+	+/-	-
Lading (gewicht) ³	+-	++	+	--
Lading (afmetingen) ⁴	+-	++	+-	--
Vliegtijd ⁵	+-	++	+	++
Snelheid ⁶	+	-	++	--
Hoogte	+-	++	++	+
Windlimieten	+	+/-	+	--
Veiligheid	-	+	+	++
Benodigde ruimte voor start/landing ⁷	++	+	-	++

Rotorcraft

De sterke punten van de rotorcraft maken dit type met name geschikt voor lokale en stationaire metingen. Het toestel is na aankomst bij een calamiteit snel operationeel te maken en gemakkelijk te vervoeren. De vliegsnelheid en vluchtduur zijn voldoende om enige afstand te overbruggen naar bijvoorbeeld lastig bereikbare locaties.

Door deze eigenschappen is dit type geschikt voor het bemeten van pluimen met niet al te groter afmetingen, maar ook in te zetten bij calamiteiten in gebouwen of de metro.

Powered paraglider

De powered paraglider heeft als groot voordeel dat grotere en zwaardere ladingen meegenomen kunnen worden en dat de vliegtijd het mogelijk maakt om lange en meerdere metingen te doen in één vlucht. De vliegsnelheid is echter relatief laag, waardoor de inzet van dit type meer wordt beperkt door wind en turbulentie. Doordat de parachute opgevouwen kan worden, is dit systeem makkelijk te transporteren. Het gereedmaken voor de vlucht kost meer tijd en voor start en landing moet voldoende ruimte beschikbaar zijn.

Aeroplane

De aeroplane vliegt met hogere snelheid, waardoor in een groter gebied en op grotere hoogte kan worden gemeten. De ladingscapaciteit is voldoende voor

¹ ++ betekent dat de RPAS makkelijk is te transporteren

² ++ betekent kort

³ ++ betekent dat er veel lading mee kan worden vervoerd

⁴ ++ betekent dat er een grote lading mee kan worden vervoerd

⁵ ++ betekent dat er lang kan worden gevlogen zonder te landen

⁶ ++ betekent een grote snelheid

⁷ ++ betekent dat er weinig ruimte nodig is

verkennde metingen of om monsters mee te nemen voor analyse als het systeem weer geland is. Indien gebruikgemaakt wordt van een aeroplane met een massa onder drie kilogram, kan vanuit de hand gestart worden. Voor de landing is meer ruimte nodig.

Aerostat

De aerostat heeft als sterk punt dat hij heel lang in de lucht kan blijven voor stationaire metingen. De ladingscapaciteit is sterk afhankelijk van de omvang van de aerostat. Indien het systeem een aandrijving heeft, zal hij langzaam vliegen, waardoor wind snel een beperkende factor zal zijn. Als de aerostat stationair wordt ingezet aan een kabel, kan met meer wind worden gevlogen. Vanwege de omvang is dit type lastiger te vervoeren en kost het meer tijd om hem operationeel te maken.

De afweging welk type vliegtuigje het beste kan worden toegepast voor een calamiteit is vrij complex. De rotorcraft- en aeroplanetypes zijn in de meeste scenario's toepasbaar en zijn praktisch goed en snel inzetbaar. De powered paraglider en de aerostat hebben een minder brede toepasbaarheid en inzetbaarheid voor de verschillende scenario's. De rotorcraft- en aeroplanevliegtuigjes zijn hiermee de beste vliegtuigtypes voor (bredere) inzet bij calamiteiten.

3.2 Inzet bij chemische calamiteiten

3.2.1 Metingen bij chemische calamiteiten

Bij bijna iedere brand worden koolmonoxide, vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), fijnstof en stikstofoxiden geëmitteerd. Deze componenten komen vrij bij onvolledige verbranding van bijvoorbeeld hout, kunststoffen, brandstoffen en verf, welke bij vrijwel elke brand voorkomen. Andere verbrandingsproducten, zoals zoutzuur, chloorkoolwaterstoffen en dioxinen, komen voornamelijk vrij als er specifieke materialen in de brandhaard aanwezig zijn; dit geldt voor dioxinen bij verbranding van chloorhoudende materialen zoals PVC.[6]

Niet alleen de hoeveelheid en de aard van materialen spelen een rol maar ook temperatuur en zuurstoftoevoer. Het maakt dan ook veel uit in welke fase van een brand er gemeten wordt. Dit heeft tot gevolg dat de chemische samenstelling in de pluim in de tijd niet constant zal zijn omdat er verbrandingsproducten van verschillende fases in de brand voorkomen.

3.2.2 Huidige technieken

Momenteel voert de Milieuongevallendienst (MOD) bij branden min of meer standaardmetingen uit op VOC's, aldehyden, stof, PAK's, elementen en een aantal anorganische gassen. Voor dit haalbaarheidsonderzoek is uitgezocht welke metingen nuttig zijn om in de pluim uit te voeren, maar ook welke het meest kansrijk zijn om in een onbemand vliegtuigje toegepast te kunnen worden. Een aantal meet- en bemonsteringstechnieken kunnen met kleine aanpassingen ook inzetbaar zijn in een onbemand meetvliegtuig. Een groot aantal meetinstrumenten van de MOD zijn handheld instrumenten. Dit betekent dat ze op batterijen of accu's werken en daarnaast dat de instrumenten vrij licht in gewicht zijn. Het gewicht zou zelfs nog verder teruggebracht kunnen worden als de batterijen of accu's vervangen worden door een stroomvoorziening uit het vliegtuig. De meeste handheld instrumenten zijn robuust uitgevoerd omdat ze buiten, in weer en wind, gebruikt worden.

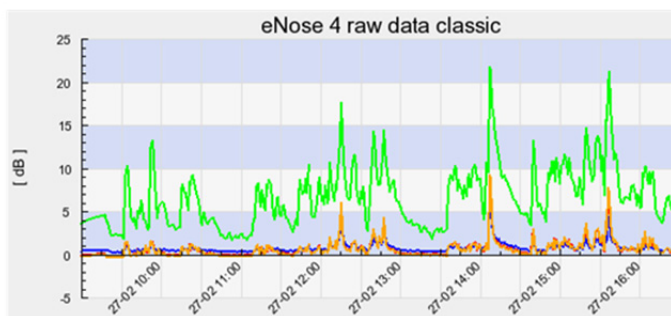
De handheld instrumenten geven een continu signaal af waarvan de sampletijd over het algemeen ingesteld kan worden op een gewenste waarde, bijvoorbeeld één minuut.

Een deel van de bemonsteringen van de MOD heeft tot doel gassen te vangen en deze vervolgens in de laboratoriumwagen afzonderlijk te identificeren en te kwantificeren.

Ook beschikt de MOD over bemonsteringsapparatuur om stofdeeltjes te vangen. Deze bemonsteringsapparatuur kan grote volumes lucht aanzuigen, maar daar is wel een 230V-stroomvoorziening voor nodig. Ook is deze apparatuur naar verhouding vrij groot en zwaar.

Een uitgebreidere beschrijving van de bestaande en binnen de MOD gebruikte meet- en bemonsteringstechnieken is te vinden in Bijlage C.

Vanuit de bestaande technieken is onderzocht welke de meeste relevante informatie opleveren van de rookpluim. De bemonstering van gassen met behulp van een canister (zie Figuur 3) levert veel informatie op over een grote groep VOC's. Deze worden hiermee niet alleen geïdentificeerd maar ook gekwantificeerd.



Figuur 2: eNose-behuizing en meetvoorbeeld

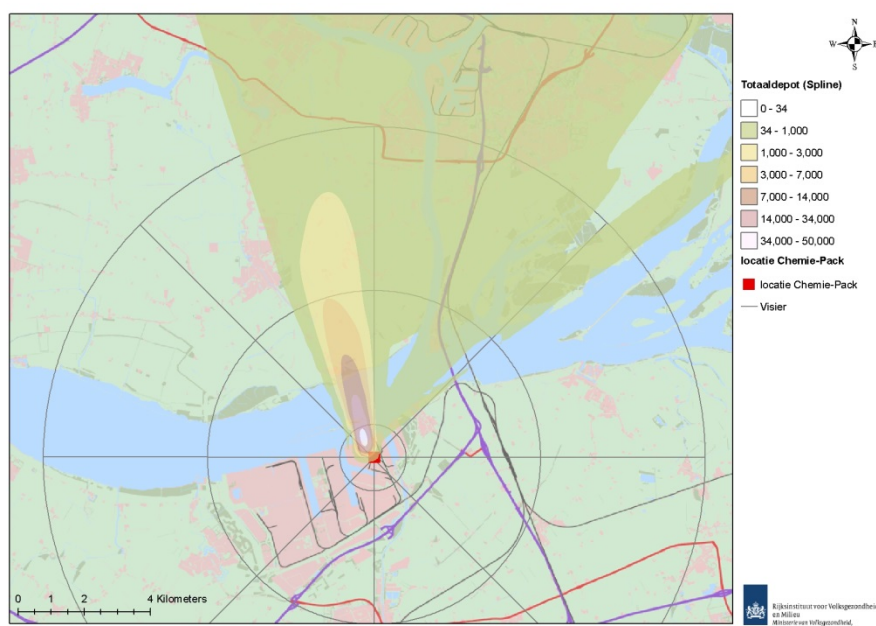
De eNose (Figuur 2) levert continu signalen, die gezamenlijk een indicatie geven van de luchtkwaliteit. In sommige situaties kan met behulp van fingerprinting van deze signalen informatie worden verkregen over de soorten en hoeveelheden gassen in de lucht, maar in rookpluimen en gifwolken bij incidenten is de belangrijkste functie van de eNose het monitoren van de luchtkwaliteit in de tijd. Dit tijdsverloop kan gebruikt worden om de plaats en omvang van de rookpluim of gifwolk te bepalen.



Figuur 3: canister (model zoals door de MOD gebruikt wordt)

Om zowel de eNose als de canister in een onbemand vliegtuigje te kunnen plaatsen moeten er wel aanpassingen aan de apparatuur gedaan worden. In plaats van de normaal gebruikte canister van zes liter wordt voor het vliegtuigje gekozen voor een canister van 0,45 liter. Doordat de verwachte concentratie van VOC's in de pluim vele malen hoger is dan op de grond is het mogelijk met een kleiner volume nauwkeurig de concentratie van de afzonderlijke VOC's te bepalen. De bemonsteringstijd van een canister moet vooraf ingesteld worden. Een canister kan continu geopend zijn, waardoor over een langere tijd lucht wordt aangezogen, of instantaan geopend, worden waardoor het luchtmonster in zeer korte tijd genomen wordt. Deze laatste methode is het meest geschikt voor een bemonstering in de pluim. Echter, het is dan wel belangrijk om er zeker van te zijn dat de canister zich in het hart van de pluim bevindt. Dit wordt opgelost door het onbemande meetvliegtuigje naast de canister ook uit te rusten met een eNose. De eNose kan gebruikt worden om het juiste bemonsteringspunt in de pluim op te zoeken (namelijk daar waar de eNose het hoogste signaal meet) om vervolgens de bemonstering met de canister uit te voeren door het op afstand openen van een klep. Daarnaast kan met deze sensoren bepaald worden waar de pluim zich bevindt, en kan de omvang van de pluim in kaart gebracht worden.

In Figuur 4 staat een voorbeeld van een gemodelleerde rookpluim. Een dergelijk model kan worden gebruikt om de beste meetlocaties te zoeken.



Figuur 4: berekening van de totale depositie ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) op basis van een bronterm van 1 kg/sec gedurende 10 uur voor een slecht oplosbaar verbrandingsproduct

3.2.3 Functionaliteiten van een onbemand meetvliegtuigje

De hoogte van de rookpluim zal sterk variëren met het type brand. Bij de grote brand van Chemiepack in Moerdijk steeg de pluim door de meteorologische omstandigheden tot ongeveer 500 meter, waarna hij horizontaal afboog (door een meteorologisch fenomeen dat de inversielaag wordt genoemd). Metingen op de grond tonen aan dat na enkele kilometers een rookpluim zodanig verdund is dat er geen verhogingen meer gevonden worden.

Voor het bemeten van de pluim lijken de vliegtuigjes van het type aeroplane en rotorcraft het beste door de pluim te kunnen vliegen voor de metingen. Pluimen met grote concentratiegradiënten kunnen het beste worden bemeten met de rotorcraft, terwijl uitgestrekte pluimen beter kunnen worden bemeten met een aeroplane. Metingen zullen in het algemeen uitgevoerd worden met een gassensor, een temperatuursensor, een monsternameapparaat en een camera. In Bijlage D is weergegeven hoe een canister voor monstername en een eNose-gassensor op een aeroplane- en een rotorcraftvliegtuigje kan worden geïntegreerd. De temperatuursensor en de camera zijn heel klein en daarvoor zijn vele mogelijkheden voor integratie op het vliegtuig.

Vlieghoogtes tot 500 meter zijn voor de vliegtuigjes van het type aeroplane en rotorcraft geen probleem, althans voor afmetingen zoals die gegeven zijn in Bijlage B en groter. Hoger dan 500 meter lijkt niet relevant voor de in de vorige paragraaf beschreven meettechnieken.

3.2.4 Risico's

Een risico bij chemische brand is de hoge temperatuur in de pluim, waardoor het vliegtuigje of de apparatuur beschadigd kan raken. Zowel voor het vliegtuig als voor de meeste apparatuur geldt dat deze naar verwachting goed functioneren tot ongeveer 50 graden Celsius. Het is niet bekend wat de apparatuur doet bij een hoge warmtestraling. Dit temperatuurrisico is te verminderen door een infrarood(IR)-camera op het meetvliegtuigje te plaatsen. Een snelle

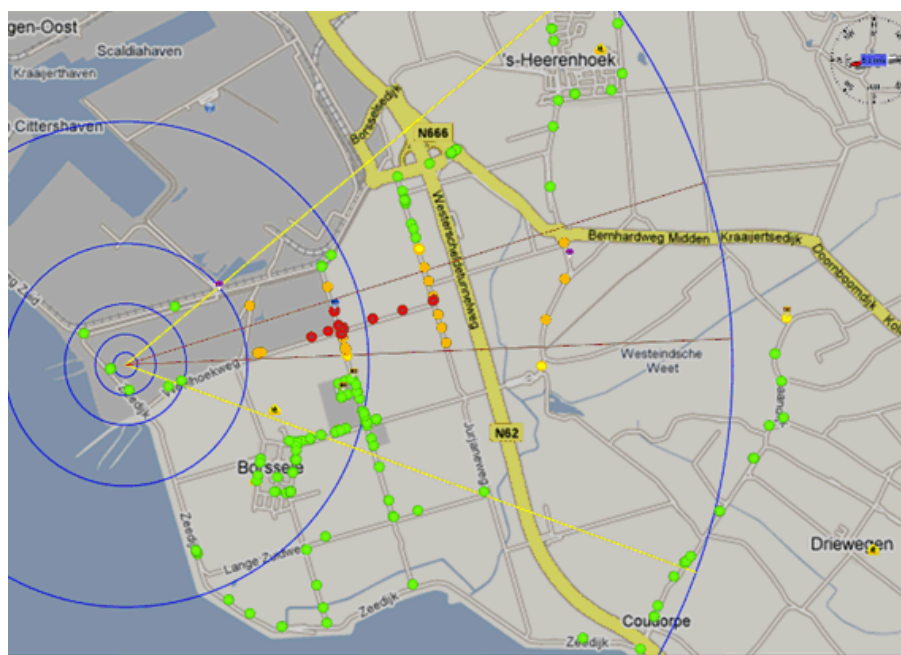
temperatuursensor op het vliegtuig kan ook voorkomen dat de grenzen bereikt worden.

Bij het vliegen door chemische wolken kan het vliegtuig aangetast worden. Hierbij moet gedacht worden aan corrosieve dampen. De bewegende delen van het vliegtuig zouden kunnen vastlopen, waardoor het vliegtuig onbestuurbaar zou kunnen worden. De kans dat dit neerstorten tot gevolg heeft, lijkt niet zo groot. De kans dat het vliegtuig niet opnieuw op kan stijgen is wel aanwezig. Bij de keuze van materialen voor een onbemand vliegtuigje dient hier rekening mee gehouden te worden.

3.3 Inzet bij radiologische calamiteiten

3.3.1 Metingen bij radiologisch calamiteiten

Een radioactieve wolk kan in kaart gebracht worden door omgevingsdosistempometingen in de wolk en aan de randen ervan te verrichten. Momenteel worden bij een ongeval deze omgevingsdosistempometingen gedaan door meetploegen van Brandweer, Defensie en het RIVM (zie Figuur 5).



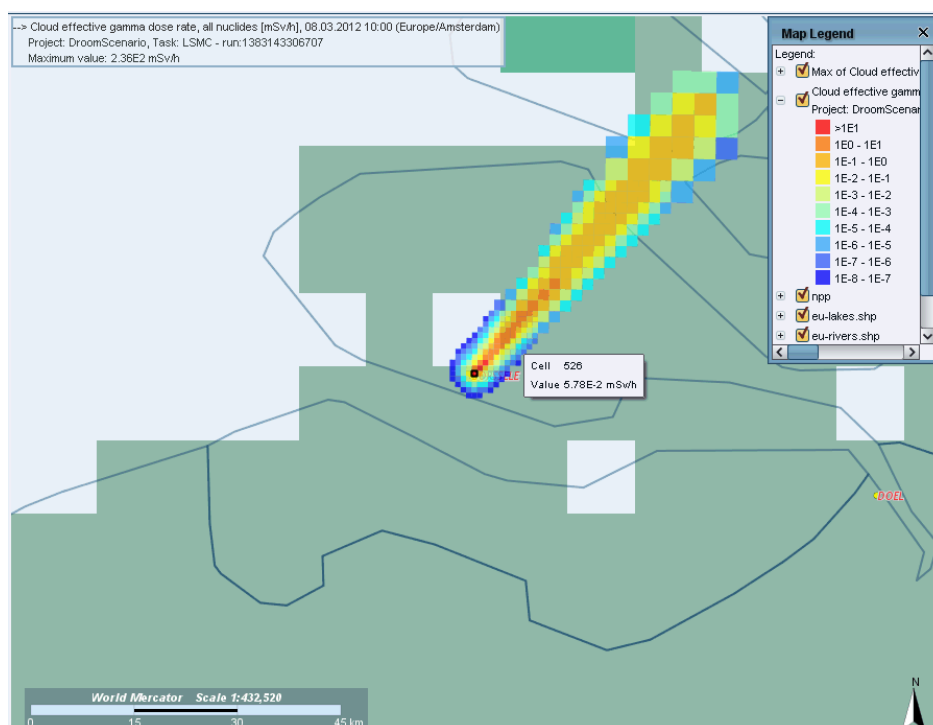
Figuur 5: kaart met overzicht van metingen (tijdens een oefening)

Met behulp van onbemande meetvliegtuigjes kan dit veel sneller en eenvoudiger. Met één of zelfs meerdere vliegtuigjes kan de omvang van de wolk worden bepaald door met een omgevingsdosistempomonitor door de wolk te vliegen. Op deze manier kan de wolk zowel in omvang als in hoogte in kaart worden gebracht.

De hoogte van de radioactieve wolk kan op dit moment helemaal niet bepaald worden, terwijl die hoogte een zeer waardevol gegeven is voor de modelberekeningen van de wolk. Het inzetten van vliegtuigjes zou daarom de uitkomsten van deze modelberekeningen kunnen verbeteren. Met meetvliegtuigjes is het veel eenvoudiger om op moeilijk bereikbare plaatsen metingen te verrichten dan met de wagens van meetploegen.

Een belangrijk voordeel van het inzetten van een onbemand meetvliegtuigje bij het in kaart brengen van de radioactieve wolk is dat er geen, of minder, hulpverleners de wolk in hoeven om metingen te verrichten. Er zijn verschillende voorzieningen als wagens van Defensie en RIVM met afscherming en overdruk, en ademlucht voor meetploegen van de brandweer. Echter, deze hulpverleners zullen nog steeds een stralingsdosis oplopen. Door de inzet van onbemande meetvliegtuigjes kan de gemiddelde dosis die de hulpverleners zullen oplopen aanzienlijk verminderd worden.

Na een ongeval waarbij een radioactieve wolk is vrijgekomen, blijft er een radioactieve besmetting in een gebied achter. Het niveau en de omvang van dit besmette gebied moet vastgesteld worden om te bepalen welke gevolgen het heeft voor bevolking, landbouw en veeteelt. Hierbij kan hetzelfde onbemande meetvliegtuigje ingezet worden als voor het bepalen van de radioactieve wolk. Wanneer op een bepaalde hoogte boven een besmet gebied het omgevingsdosistempo wordt bepaald, kan uitgerekend worden wat de besmetting op het grondniveau zal zijn. Met behulp van een onbemand vliegtuigje kunnen gebieden snel en efficiënt in kaart gebracht worden.



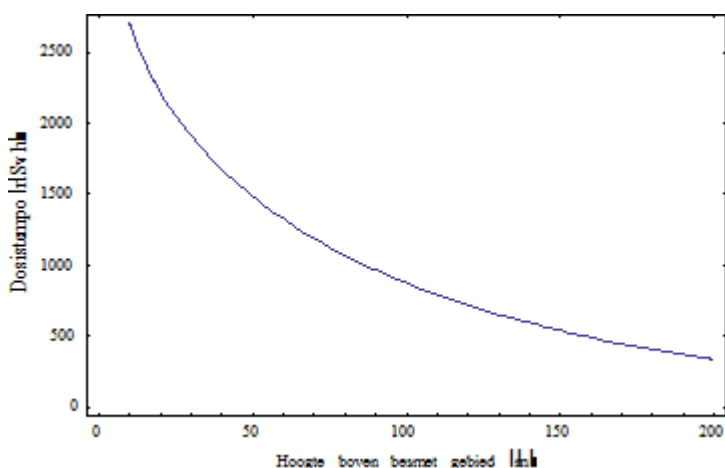
Figuur 6: modelberekening van een radioactieve pluim

Om een keuze te kunnen maken voor meetapparatuur moet er een inschatting gemaakt worden van het verwachte dosistempo in de wolk en het verwachte dosistempo bij een oppervlaktebesmetting. Voor training, oefening en berekeningen voor kernongevallen wordt gebruikgemaakt van standaardscenario's. Dit zijn een soort representatieve scenario's die beschrijven wat er mogelijk kan gebeuren bij een kernongeval. Uitgaande van een standaardscenario voor een ongeval met een kerncentrale kan er door middel van een modelberekening uitgerekend worden wat het maximaal verwachte dosistempo kan zijn (zie Figuur 6).

De maximale, bij een kernongeval verwachte, dosistempo die in de wolk gemeten kunnen worden, liggen tussen enkele millisievert per uur tot enkele honderden millisievert per uur.

Op basis van dezelfde modellen, en hetzelfde standaardscenario, is ook uit te rekenen wat de verwachte oppervlaktebesmetting zal zijn na een ongeval. Met de verwachte oppervlaktebesmetting is uit te rekenen wat het te meten dosistempo op een bepaalde hoogte boven een besmet gebied dan zal zijn. Hierbij geldt dat hoe hoger er boven het gebied gevlogen wordt, hoe lager het te meten dosistempo (Figuur 7).

De te meten dosistempo kunnen variëren van ongeveer 0,1 microsievert per uur tot honderd microsievert per uur.



Figuur 7: afname dosistempo als functie van hoogte voor een oppervlaktebesmetting

3.3.2 Meetapparatuur

Zowel het in kaart brengen van de radioactieve wolk tijdens een ongeval als het in kaart brengen van de oppervlaktebesmetting na het ongeval kan door middel van omgevingsdosistempometingen.

Dosistempogegevens geven in combinatie met gps-coördinaten een goed overzicht van de ligging van de wolk of de oppervlaktebesmetting. Door deze metingen te combineren met de modelberekeningen wordt een overzicht verkregen van de radiologische situatie.

Het omgevingsdosistempo kan worden bepaald met een omgevingsdosistempomonitor. Een dosistempomonitor is in verschillende uitvoeringen op de markt verkrijgbaar en ook in gebruik bij Brandweer, Defensie en het RIVM. Om een dosistempomonitor op een onbemand vliegtuigje te kunnen bevestigen zijn er naast de meettechnische eisen nog een aantal eisen waaraan de dosistempomonitor moet voldoen. Zo is het van belang dat de monitor licht in gewicht is en een continu data uitlezing heeft. Er zijn ook dosistempomonitoren op de markt waarmee naast dosistempo ook informatie over de aanwezige radionucliden verkregen kan worden. Deze apparatuur wordt ook wel gebruikt voor het in kaart brengen van oppervlaktebesmettingen, vanwege de gevoeligheid van



Figuur 8: RadEye PRD

de meetapparatuur. Dergelijke nuclidespecifieke monitoren (NaI of HPGe) zijn echter veel groter en zwaarder dan de eenvoudigere dosistempomonitoren, en daardoor minder of niet geschikt voor montage op een onbemand vliegtuigje.

De RadEye PRD (zie Figuur 8) is een omgevingsdosismonitor met een natriumjodide(NaI)-detector. De monitor is compact en licht in gewicht, maar heeft een groot meetbereik en een snelle respons. De monitor kan de verwachte omgevingsdosistempooniveaus meten en is daardoor geschikt voor zowel metingen in een radioactieve wolk en metingen van een oppervlaktebesmetting, maar ook voor het doen van de metingen tijdens de testvlucht. De data van de RadEye PRD is continu uitleesbaar via een infraroodverbinding. De meetdata kunnen dus, gecombineerd met gps-data, door het vliegtuigje verzonden worden zodat tijdens de vlucht de meetdata op de grond beschikbaar zijn en er een beeld van het dosistempo in de wolk gekregen kan worden.

3.3.3 *Functionaliteiten onbemand meetvliegtuigje*

Ook voor het bemeten van de radioactieve wolk lijken de onbemande vliegtuigjes van het type aeroplane (Skywalker) en rotorcraft het beste te kunnen worden toegepast. De afmetingen van geschikte dosistempomonitoren op de markt zijn kleiner dan de afmetingen van de combinatie canister en eNose en zullen dus op soortgelijke manier kunnen worden geïntegreerd in de vliegtuigjes. Een powered paraglider heeft weer voordelen in het geval wordt overwogen een zwaardere dosistempomonitor, waarmee ook informatie over de aanwezige radionucliden verkregen kan worden, in een vliegtuigje te monteren. De vliegtuigjes moeten een kunststof omhulsel krijgen dat zo ontworpen is dat deze zo min mogelijk besmet raakt of dat eenvoudig te decontamineren is. De maximale vlieghoogte bij een radiologisch ongeval is 100 meter; daarboven is de wolk zeer waarschijnlijk niet meer te detecteren. Voor oppervlaktebesmetting moet ook lager dan 100 meter worden gevlogen.

3.3.4 *Risico's*

Een risico bij de inzet van een onbemand meetvliegtuigje bij radiologische calamiteiten is dat het vliegtuigje zelf radioactief besmet raakt. Dit zal ook gebeuren met de (meet)wagens van de meetploegen die door de wolk rijden en is dan ook niet te voorkomen. Door een gladde afwerking van de buitenkant zal het vliegtuigje wel minder snel besmet raken en makkelijker te ontsmetten zijn. Bij de vliegproef zal er geen risico op besmetting zijn omdat er niet met open radioactieve stoffen gewerkt zal worden.

4 Technische haalbaarheid: vliegproeven

Het doel van deze haalbaarheidsstudie is om vast te stellen of het mogelijk is om bij calamiteiten met onbemande meetvliegtuigjes metingen te doen vanuit de lucht. Om daadwerkelijk vast te stellen of de in de voorgaande hoofdstukken beschreven meet- en bemonsteringstechnieken toepasbaar zijn in combinatie met een onbemand vliegtuigje worden in de volgende paragrafen twee vliegproeven beschreven. Het doel van de vliegproeven is om op een zo eenvoudig mogelijke manier aan te tonen of het mogelijk is met bestaande meet- en bemonsteringsapparatuur vanuit de lucht relevante meetgegevens te verkrijgen.

4.1 Vliegproef chemische meting en bemonstering

Voor de testvluchten is er contact gezocht met diverse oefencentra van de Brandweer en van Defensie. Daar is positief gereageerd op de vraag of er een aantal brandtesten uitgevoerd kan worden waarbij een zichtbare rookpluim gecreëerd wordt. De Brandweer Twente heeft sinds 2009 een trainingscentrum op vliegveld Twente, Trainingcentrum Oost Nederland (Troned). Voor deze experimenten is dat een ideale locatie, met name door afwezigheid van bomen en een groot vrij zicht. De vliegproeven zijn in een uitstekende samenwerking met Troned uitgevoerd.

Bij de testbrand moeten stoffen vrijkomen die met de canisterbemonstering gevolgd door de GC-MS-analyse meetbaar zijn. Een volledig verbrandende brandstof geeft relatief 'schone' verbrandingsproducten af, het zal dan niet relevant zijn om deze met de GC-MS te analyseren. Maar de test moet ook zó worden uitgevoerd dat een zware belasting van het milieu en gevaar voor de omstanders door het onvolledig verbranden van kunststoffen vermeden wordt. Daarom is er bij deze test gekozen om houten pallets te verbranden, waarbij naar verwachting genoeg markante gassen vrijkomen voor een GC-MS-meting.

Voor de chemische metingen zijn testvluchten uitgevoerd door een rookpluim te creëren met een pluimstijging van enkele tientallen meters. De meetvliegtuigjes vliegen een traject waarbij de hoogte en de locatie in de pluim gevarieerd wordt. Een brandproef duurt ongeveer tien minuten en om alle mogelijkheden van de bemonstering met canisters met onbemande vliegtuigjes goed te onderzoeken zijn meerdere brandproeven achter elkaar uitgevoerd. In het totaal ging dit om drie vluchten voor de aeroplane en drie vluchten voor de oktokopter.

4.2 Uitvoering chemische vliegproeven

Voor deze vliegproeven zijn een Mikrokopter-oktokopter (PH-1AE, zie Figuur 9) en een Skywalker X8-aeroplane (zie Figuur 10) uitgerust met gps voor plaatsbepaling, een temperatuursensor, een eNose-sensor voor gasmetingen en een canister voorzien van een klep voor luchtmonstering.

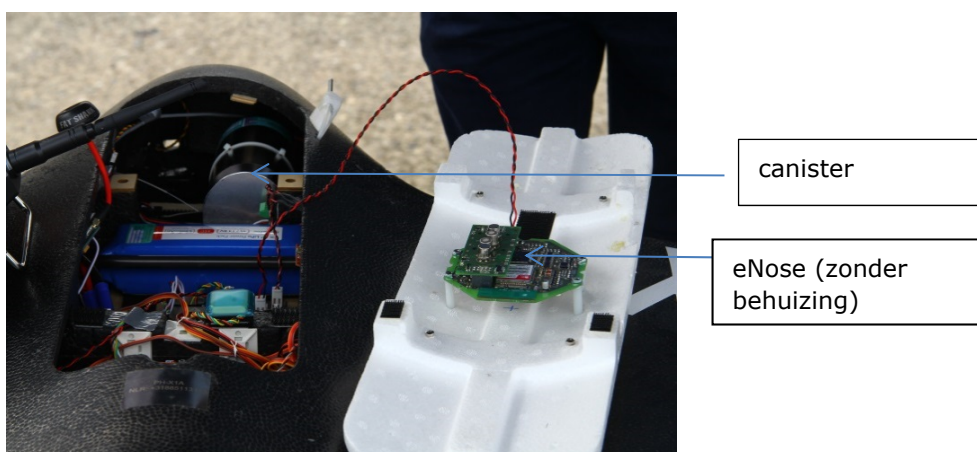
De vliegtuigjes kunnen hiermee informatie geven over:

- de temperatuur en de pluimstijging (stijging van de warme gassen van een brand gerelateerd aan temperatuurverschillen op verschillende hoogtes);
- de samenstelling van de gassen in het hart van de pluim (eNose en GC-MS-analyse van het canistermonster);
- de omvang en dichtheid van de pluim (eNose).



Figuur 9: oktokopter met geïntegreerde eNose en canister

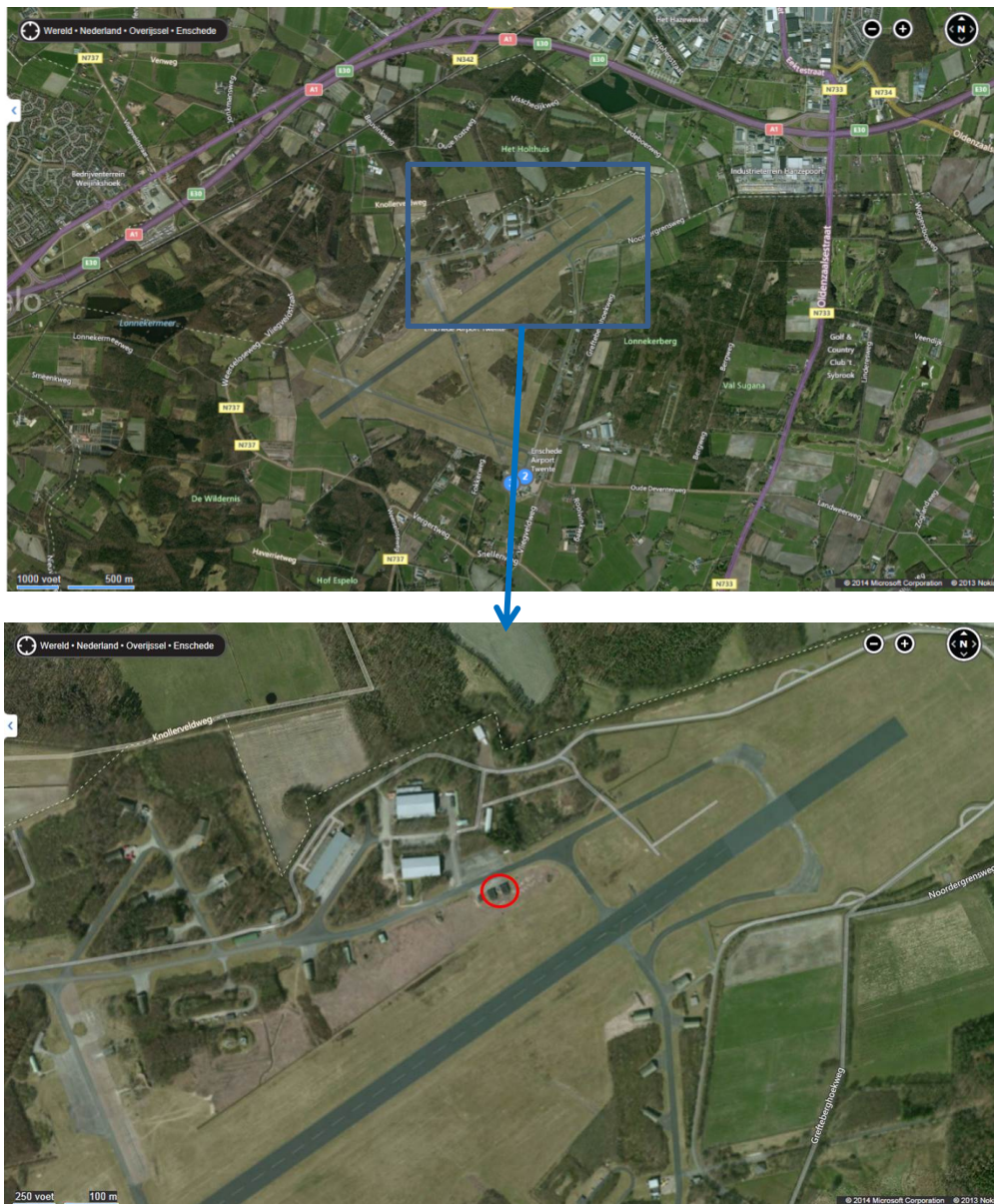
De integratie van de canister en de eNose in de onbemande systemen heeft geen problemen opgeleverd. Wel heeft een los contact van de voeding van de oktokopter tijdens de vliegtag voor een kleine vertraging gezorgd.



Figuur 10: Skywalker X8-aeroplane met geïntegreerde eNose en canister

Het testgebied bevindt zich op vliegveld Twente bij Troned (zie voor de precieze locatie de kaartjes in *Figuur 11*).

In een loods wordt een brand gesticht die rook veroorzaakt. Door de deuren/luiken van de loods meer of minder open te zetten wordt de rookpluim enigszins geregeld wat intensiteit betreft. Met het rode cirkeltje in de plattegronden hieronder wordt de locatie van de loods met de brand aangegeven.



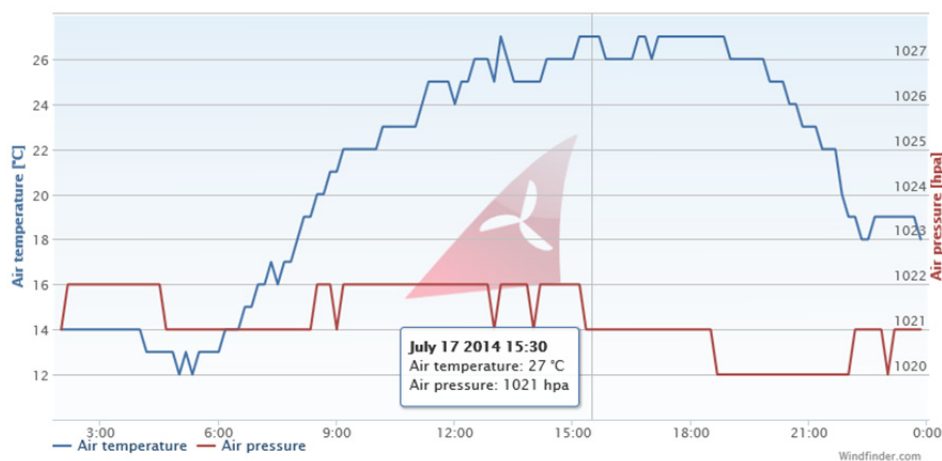
Figuur 11: locatie van loods waarin brand wordt gesticht

Met de onbemande vliegtuigen wordt een traject gevlogen waarbij de hoogte en de locatie in de pluim gevarieerd wordt. De canisters zijn uitgerust met een klep die op afstand kan worden geopend. In een later te ontwikkelen operationeel systeem kan het openen van de klep worden gekoppeld aan het moment wanneer er met de eNose een verhoging van gasconcentraties te zien is. Omdat de eNose te langzaam reageert om in de pluim van (in dit oefenscenario) geringe afmeting (circa 10 meter) op tijd een goed signaal af te geven, zal het initiëren van de monsternamen visueel worden gedaan.

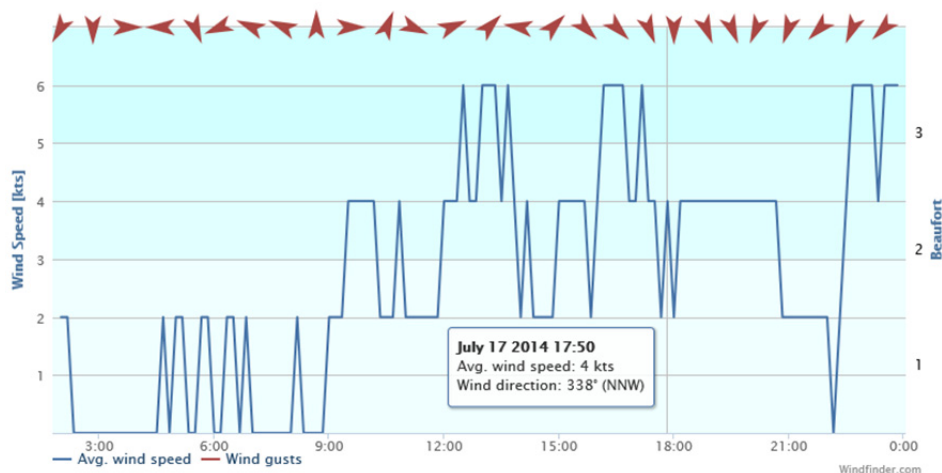
De onbemande meetvliegtuigjes landen nadat het monster is genomen, om het gas uit de canister te kunnen pompen zodat het gas geanalyseerd kan worden. Een brandproef duurt ongeveer tien minuten en wordt meerdere keren op de dag herhaald.

4.3 Vliegen in een rookwolk

De meetvluchten zijn uitgevoerd op donderdag 17 juli 2014, tussen 11.00 uur en 16.30 uur lokale tijd. In deze periode liep de luchttemperatuur op van 23 tot 27 graden Celsius. De windkracht was veranderlijk gedurende de dag en was twee en zes knopen. Ook de windrichting was veranderlijk.



Figuur 12: het temperatuurverloop



Figuur 13: de windkracht en windrichting

De rook was goed zichtbaar maar niet belemmerend, waardoor er goed zicht op het vliegtuig en de oktokooper was.

Met de oktokooper is drie maal gedurende enkele minuten in de rookpluim gevlogen (zie Figuur 14). De turbulentie in de pluim was gering. De oktokooper compenseert grotendeels voor de bewegingen die door turbulentie in de stijgende kolom lucht worden veroorzaakt. Door verandering van windkracht en -richting verplaatste de smalle rookpluim zich soms. Dit had tot gevolg dat de oktokooper zich van het ene op andere moment niet meer in de stijgende kolom lucht bevond en zich daardoor soms wat onrustiger gedroeg. De handmatige besturing van de oktokooper was geen probleem.

Hierbij moet wel aangegeven worden dat er niet boven open vuur gevlogen is. De brand werd binnen in een loods gestookt en de rook werd via luiken naar buiten gelaten. Het kan dus zijn dat het vliegen boven open vuur een ander turbulentie- en temperatuurbeeld tot gevolg heeft.

In het geval van de Skywalker X8 was de turbulentie door opwarming van de aarde aanzienlijk groter op deze mooie zomerdag.



Figuur 14: de oktokopter in de rookpluim

Tijdens de vluchten met de oktokopter stonden de vlieger, observer en persoon die de klep van de canister bedient dicht bij elkaar en verliep communicatie zonder hulpmiddelen.

Bij de vluchten met de Skywalker X8 stonden de vlieger en observer zo'n 200 meter van de rookpluim af; de canisteroperator stond haaks op het vliegp pad bij de rookpluim. Via walkietalkies werden vanaf een positie in de buurt van de rookpluim de vlieger en operator geïnformeerd wanneer de Skywalker door de rookpluim vloog. De communicatie op deze manier heeft goed gewerkt. Wel was het zo dat het vliegp pad door de pluim vanuit de vlieger gezien anders was dan voor de personen in de buurt van de pluim. Dit kwam waarschijnlijk doordat de pluim niet recht omhoog ging. Het is moeilijk om te zien of een vliegtuig achter de pluim zit of erin. Doordat er vele malen door de pluim werd gevlogen kon via de communicatie het vliegp pad worden bijgesteld. Het vliegen door en in de pluim heeft hiermee geen onoplosbare problemen opgeleverd.

4.4

Resultaten van de metingen en bemonsteringen

4.4.1

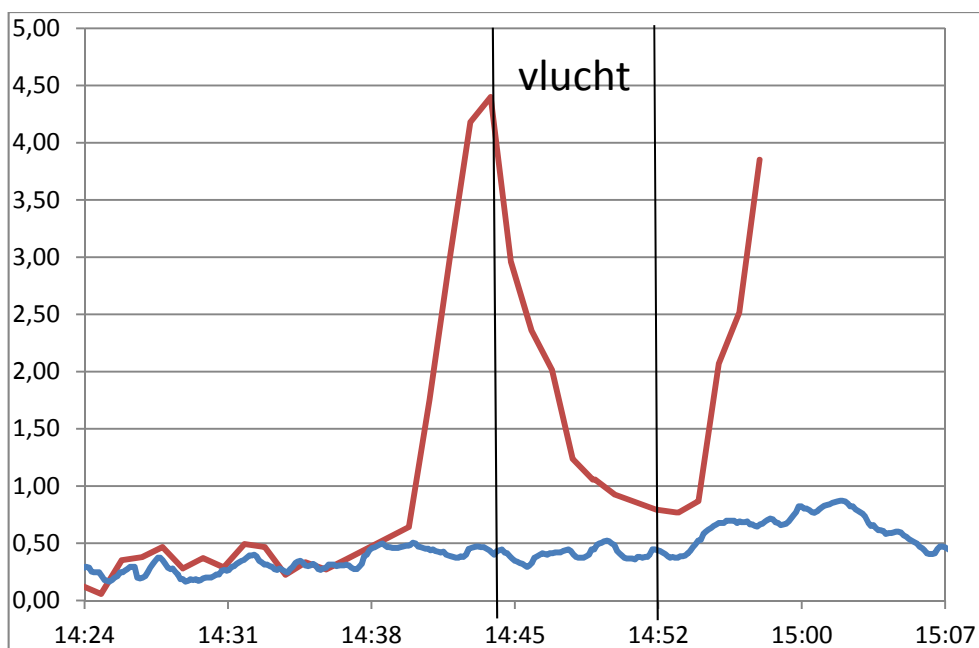
eNose

Het oorspronkelijke plan om de eNose te gebruiken om het moment van sampling te bepalen hebben we om technische redenen laten varen. De data van de eNose wordt naar de database verzonden die op internet iedere vijf minuten ververs wordt. De data is via die route niet in real time beschikbaar. De sensoren uitlezen voordat de data verstuurd worden, is voor een toekomstige versie wel gewenst. Er is nu gekozen de eNose met zo min mogelijk wijzigingen toe te passen.

De eNose is opgenomen in de romp van het vliegtuig (zie Figuur 10). Daarvoor is geen extra luchttoevoer in het vliegtuig gebouwd. De snelheid van het vliegtuig zou naar verwachting genoeg luchtdoorstroom

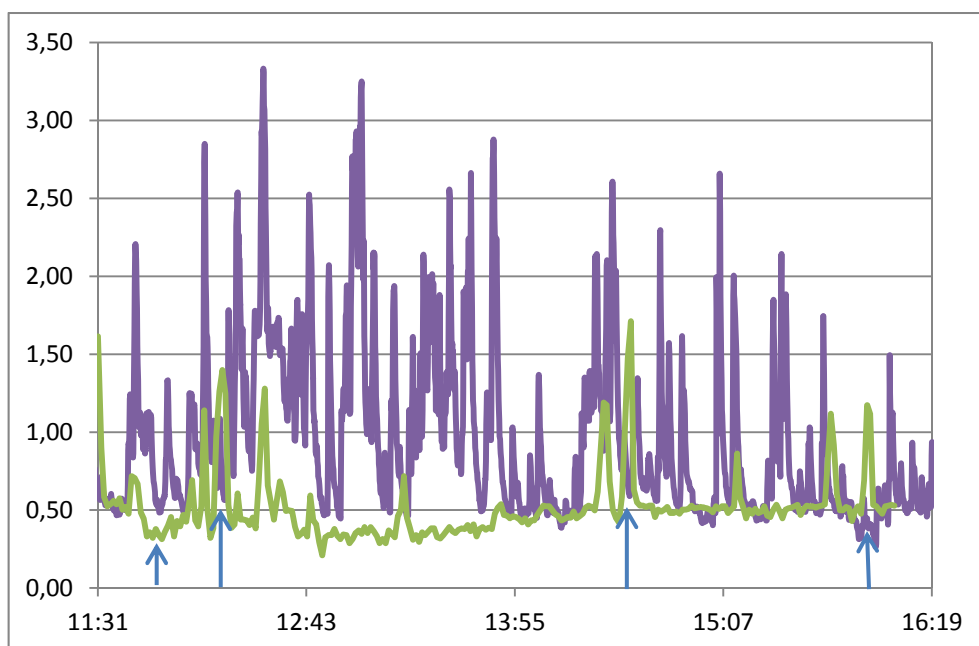
opleveren. Het vliegtuig is vanaf de centrale locatie met de auto naar de startplaats gereden.

De eNose meet continu, dus ook tijdens deze rit. Alle vier sensoren van de eNose reageren sterk op de geur in de auto (vluchtige gassen uit lijmen, plastics). Pas nadat het vliegtuig is opgestegen en er snelheid wordt gemaakt, zakt de uitslag van de sensoren die veroorzaakt is door de autorit. In Figuur 15 is de vergelijking met de eNose gemaakt die in de tent de achtergrondmetingen doet. Tijdens het vliegen blijft de eNose wel hogere waarden aangeven dan de achtergrondmeting. Door de hoge meetwaarden bij de start is dit geen piek in het signaal. Na de landing wordt de sterke stijging van het signaal weer veroorzaakt door de auto.



Figuur 15: vergelijking eNose in vliegtuig (rood) met eNose in de tent (blauw)

De eNose in de oktokofter heeft een behuizing gekregen aan één van de acht armen. In deze behuizing zijn een aantal gaten gemaakt, zodat lucht in en uit kan stromen.

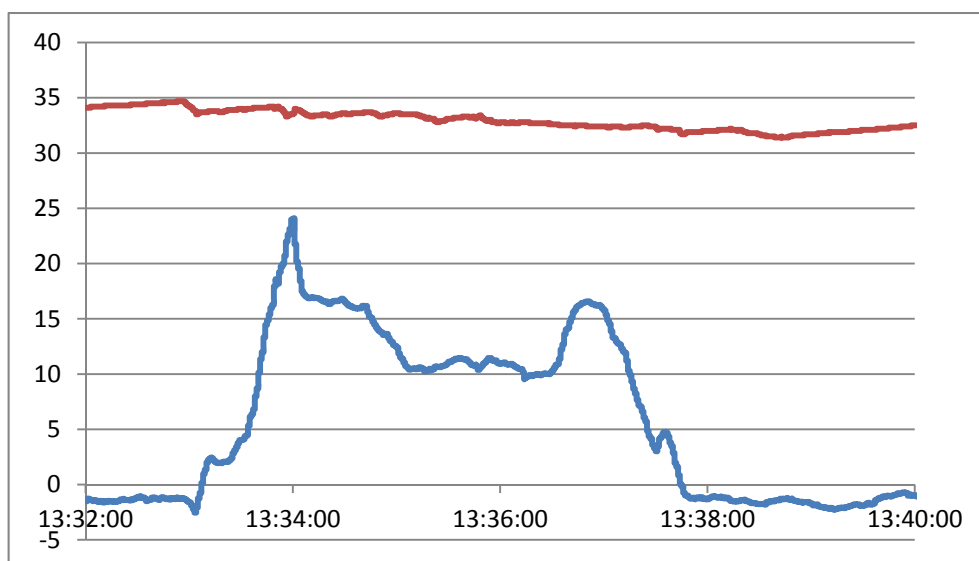


Figuur 16: verloop eNose als functie van de tijd. Paars: eNose aan gebouw, Groen: eNose aan oktokopter

In Figuur 16 staat het tijdverloop van de meetwaarden gemeten met twee eNoses van hetzelfde type. De eNose van de paarse lijn (de bovenste) is aan de zijkant van de hal met de brand geplaatst. Deze eNose hangt vrijwel de hele dag in de rook die door alle kieren uit het gebouw komt. De andere lijn is van de eNose aan de oktokopter. Deze heeft een groot deel van de dag buiten de rookpluim in de tent gestaan om achtergrond waarden te meten, maar de vliegmomenten zijn goed zichtbaar. De vliegende eNose heeft minder hoge waarden gevonden dan de eNose aan het gebouw, dicht bij de brand. Bij de laatste vlucht is de windrichting gedraaid (zie Figuur 13). De eNose aan het gebouw hing bij de laatste vlucht niet meer in de rook. Het vliegende exemplaar duidelijk wel. De oktokopter heeft af en toe ook een rondje om het gebouw gevlogen voordat er een monsternamen plaats vond (monsternamen vond plaats op momenten aangegeven met de pijlen in Figuur 16), daardoor zijn er vaak twee pieken per vlucht.

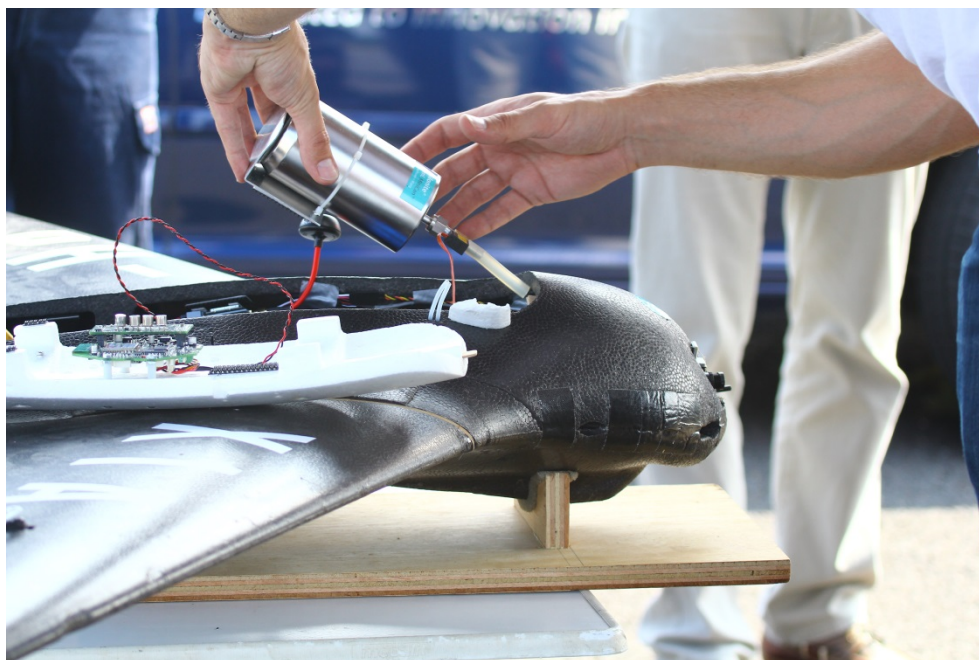
4.4.2 *Temperatuur*

De temperatuur is gemeten met sensoren op de vliegtuigen. De temperatuur in de pluim bleek niet significant hoger dan die in de lucht buiten de pluim. De temperatuur tijdens een vlucht en de hoogte zijn weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: temperatuur van de lucht in Celsius (rood) en de hoogte tijdens een vlucht met de oktokopter in meters (blauw)

Er zijn ook warmtebeelden gemaakt met een FLIR A40-infraroodcamera van het NLR. De pluim was niet te onderscheiden in de IR-beelden. De emissie van de deeltjes in de pluim was blijkbaar te gering en het was dus niet mogelijk om hiermee een schatting van de luchttemperatuur te maken. De temperatuursensor aan boord van de meetvliegtuigjes gaf echter aan dat de temperatuur van de lucht niet boven de 40 graden Celsius uitkwam en de integriteit van de vliegtuigen was dus niet in gevaar.



Figuur 18: het plaatsen van de vacuüm gezogen canister met klep in het vliegtuig

De manier waarop de canisters toegepast zijn, is anders dan bij de standaardbemonstering door de MOD. Voor de MOD hebben de monsternemers de beschikking over canisters met een inhoud van zes liter, voorzien van een

manometer en een kraan. De kraan wordt met de hand opengedraaid en aan de hand van de manometer is zichtbaar hoeveel onderdruk de canister nog heeft. De kleinere canister (450 ml) die nu in de beide onbemande vliegtuigjes geplaatst is, heeft geen kraan maar een klep, die op afstand bestuurd kan worden. Ook is afgezien van het plaatsen van een manometer. Deze kan in de lucht toch niet afgelezen worden en dat scheelt weer in gewicht. De operator van de klep kon deze vanaf de grond openen en sluiten. Dit is tijdens één vlucht meerdere keren gedaan in de verwachting steeds enkele seconden te samplen. Na het eerste experiment met de aeroplane bleek dat de canister niet goed op onderdruk was gebracht, waardoor de bemonstering niet is gelukt. Bij de andere vluchten zijn extra testen uitgevoerd voordat de canister in het vliegtuig geplaatst werd.

Er is een grotere standaard-MOD-canister (zes liter) geplaatst in de hal waar de brand werd gesticht en de rook werd losgelaten. In deze canister zijn de te verwachten hoge concentraties waargenomen van furanen en pinenen, die vrij komen uit de onvolledige verbranding van hout. In de canisters in het vliegtuig en in de oktokopter zijn geen stoffen aangetoond die enige relatie vertoonden met de stoffen uit de canister in de hal. Met andere woorden, de stoffen die vrijkwamen in het gebouw zijn niet waargenomen in de vliegproef. Dit was niet de verwachte uitkomst van de vliegproef, aangezien de oktokopter langere tijd visueel goed in de zichtbare pluim vlak boven de hal hing, ook tijdens de monsternamen. Op basis van de visuele waarneming en de meetresultaten van de eNose kan dan ook geconcludeerd worden dat er wel degelijk een monster is genomen in de rookpluim maar dat dit monster te veel verdund is geweest om de stoffen in meetbare concentraties terug te vinden in de canister.

4.5 Conclusie chemische vliegproeven

Met een onbemand vliegtuigje van het type oktokopter en aeroplane door een rookpluim vliegen leverde tijdens de vliegproeven geen problemen op. De vliegtuigjes hebben weinig last van turbulentie en de warmte in de rookwolk was gering. Ook het zicht op de vliegtuigjes in de rookwolk was goed. Dat zal echter bij een echte calamiteit anders kunnen zijn, omdat de rookpluim dan dichter en warmer zal zijn.

De eNose in de oktokopter vertoont tijdens de vliegproeven een duidelijke toename van het signaal zodra de oktokopter de rookpluim in vliegt. In de meetwaarden van de eNose die aan het gebouw bevestigd is, zijn tijdens de dag van de vliegproeven continu pieken te zien. De eNose aan de oktokopter geeft alleen tijdens de vlucht verhoogde waarden. Deze waarden zijn wel duidelijk lager doordat de afstand tot het gebouw groter is. Voor de aeroplane is dat moeilijker aan te tonen, doordat het signaal niet snel genoeg reageert ten opzichte van de snelheid van het vliegtuigje. Met de hoge snelheid van enkele tientallen kilometers per uur bevindt de meter zich slechts ongeveer één seconde in deze rookpluim.

De monsternamen met de canisters die op de oktokopter en de aeroplane zitten, heeft geen analyseresultaten boven de detectielimiet opgeleverd. De canisters in de hal waar de brand is bemonsterd leveren veel meer informatie. In de grote MOD-canister zijn duidelijk stoffen aangetroffen die je verwacht bij een dergelijke verbranding. Ook in de kleine canister, van hetzelfde type als bevestigd aan de vliegtuigjes, zijn deze stoffen gevonden. Het is dus mogelijk om met een klein type canister een rookpluim te bemonsteren. Echter, op de hoogte waar de oktokopter en de aeroplane in de rookpluim vlogen, bleek de

pluim uiteindelijk te veel verdund om de stoffen nog terug te kunnen vinden in de canister. Waar op het oog goed te zien was dat de oktokopter in de rookpluim hing tijdens de bemonstering en de metingen van de eNose dit bevestigen, is in de rookpluim de concentratie stoffen toch te laag geweest om met de GC-MS-analyse aan te tonen.

Het is een bekend gegeven dat al bij zeer lage concentraties rookdeeltjes in de lucht een pluim zichtbaar is voor het menselijk oog. Wij verwachten dat bij een grote brand er wel degelijk stoffen te meten zullen zijn met een vliegtuigje; er zijn verdere vliegtesten nodig om deze techniek te verfijnen.

4.6 Radiologische vliegproeven

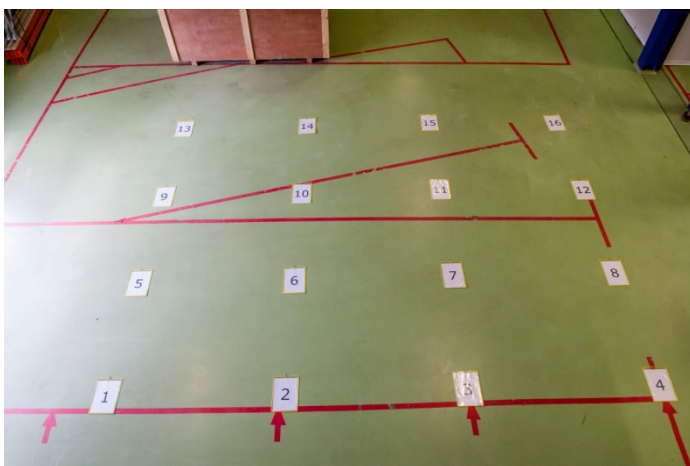
Het testen van de inzet van een onbemand meetvliegtuigje bij een radiologische calamiteit is niet eenvoudig. Het is onder meer vanwege vergunningen niet mogelijk om een radiologische wolk of lozing te creëren, en dit is uiteraard ook niet wenselijk. Ook is het ethisch niet gerechtvaardigd om vanwege een proef een groot oppervlak met radioactieve stoffen te besmetten.

Het is echter wel mogelijk om een soort oppervlaktebesmetting te simuleren door ergens een (ingekapselde) bron te plaatsen. Hierbij zal het dosistempo wel velen malen lager liggen dan bij een echt ongeval. Door aan te tonen dat het bij deze lage dosistempi mogelijk is om de oppervlaktebesmetting en hotspot in kaart te brengen wordt ook aangetoond dat het principe ook onder de omstandigheden van een echt ongeval zal werken. Het is met een dosistempomonitor veel lastiger om hele lage dosistempi te meten dan hogere dosistempi. Om de lagere dosistempi te kunnen meten is er daarom lager gevlogen (op enkele meters hoogte) zodat het meetvliegtuigje en daarmee de dosistempomonitor dicht bij de bron kan meten.

4.7 Uitvoer radiologische vliegproeven

De radiologische vliegproeven zijn binnen in een hal uitgevoerd, bij het RIVM in Bilthoven. Vanwege vergunningen voor zowel het gebruik van onbemande vliegtuigjes als het gebruik van een radioactieve bron was het niet mogelijk de vliegproeven buiten uit te voeren.

In de hal zijn op de grond de nummers van 1 tot en met 16 bevestigd (zie Figuur 19) en vervolgens is er onder één van deze nummers een radiologische bron geplaatst. De vliegproeven zijn uitgevoerd met een Mikrokopter Okto XL2-oktokopter (PH-1AE), waarmee verschillende routes en op verschillende hoogtes over de nummers gevlogen is.



Figuur 19: hal met nummers op de vloer

Voor de dosistempometingen is aan de zijkant van de oktokopter een RadEye PRD-dosistempomonitor gemonteerd (zie Figuur 20), hiermee wordt continu het dosistempo gemeten en deze meetwaardes worden in de dosismeter gelogd. Daarnaast is er onder de oktokopter een naar beneden gerichte GoPro-camera opgehangen, wat het mogelijk maakte om via een scherm te zien boven welk nummer de oktokopter vloog.



Figuur 20: dosistempomonitor en GoPro aan Oktokopter

Tijdens de vliegproeven werd de oktokopter handmatig bestuurd en op deze manier werd er een route over de nummers gevlogen. Met de dosismeter werden de metingen gelogd en deze konden na de vlucht worden uitgelezen. De GoPro-camerabeelden waren real-time via een tablet op de grond te bekijken (zie Figuur 21) en werden inclusief het geluid van de dosistempomonitor aan boord van de camera opgeslagen.

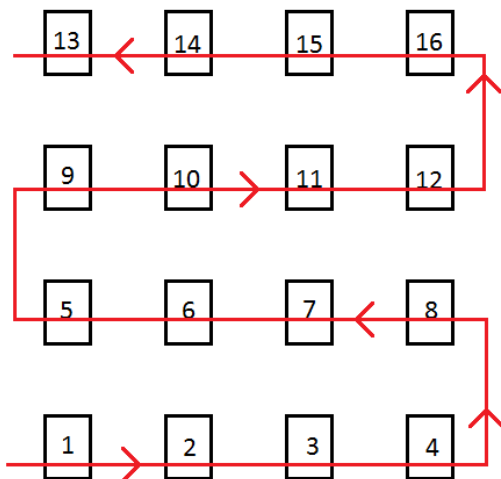


Figuur 21: GoPro-beelden worden via een tablet aan payload operator getoond

De vliegproeven zijn meerdere malen herhaald, waarbij de bron telkens onder een ander nummer werd geplaatst. Door de combinatie van de camerabeelden van de GoPro-camera waarop de nummers te zien waren en het geluidssignaal van de dosistempomonitor was tijdens de vliegproeven al goed te zien en te horen onder welk nummer de bron zich bevond. Dit kon na de vliegproef geverifieerd worden met de meetgegevens uit de dosistempomonitor.

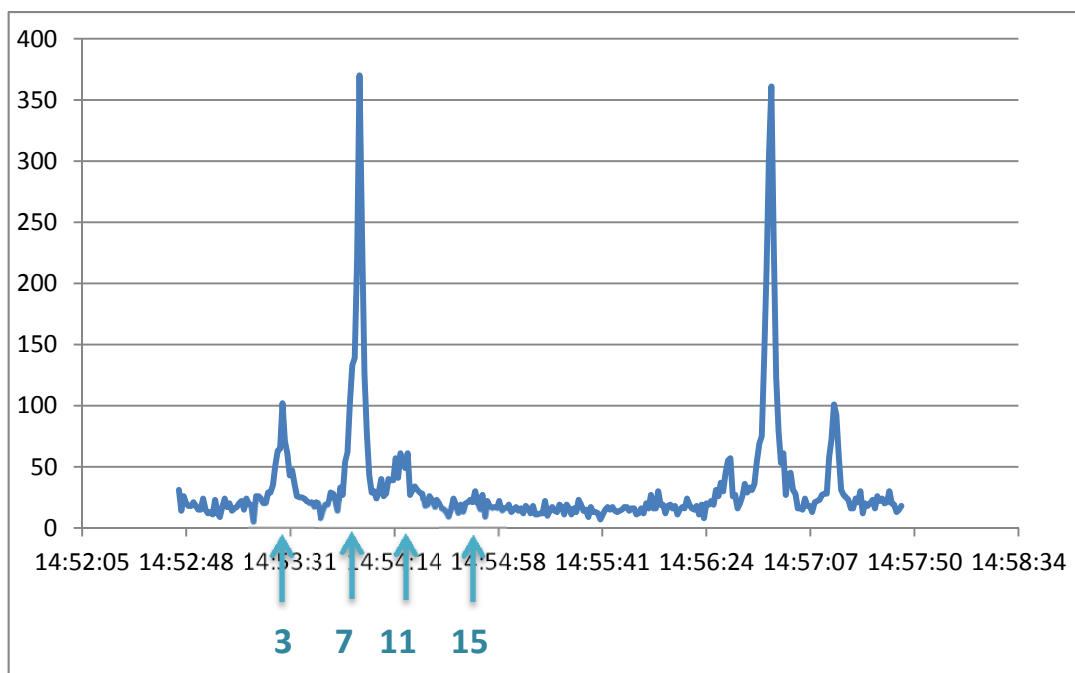
4.8 Resultaten van de metingen

Bij de eerste test is er met de oktokopter met dosistempomonitor in een patroon over de nummers gevlogen (zie Figuur 22).



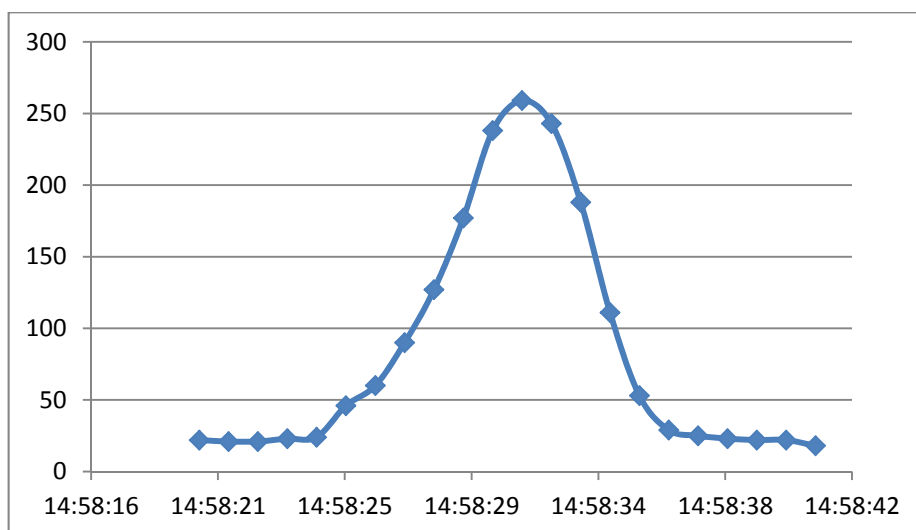
Figuur 22: route die met de oktokopter over de nummers is gevlogen

Bij uitlezing van de meetgegevens van de dosistempomonitor is het patroon duidelijk herkenbaar. In Figuur 23 is de grafiek te zien van de data van de vliegproef, waarbij de bron onder nummer 7 is geplaatst en de route is gevlogen zoals aangegeven in Figuur 22. Vervolgens is er volgens dezelfde route teruggevlogen. In de grafiek is dit herkenbaar door vier piekjes van verschillende hoogtes. Hoe dicht de helikopter bij de bron vliegt, hoe hoger het signaal.



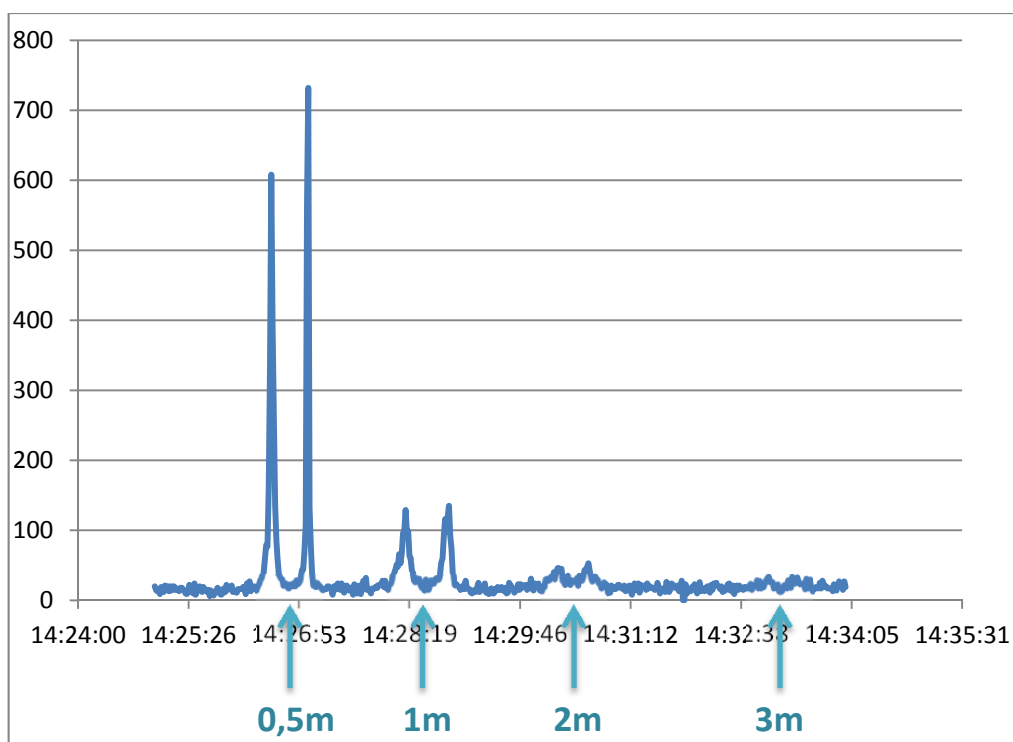
Figuur 23: duidelijk te herkennen patroon in de dosistempometingen

In Figuur 24 is één piek uitvergroot. Daarbij is te zien dat het dosistempo oploopt wanneer de helikopter dichterbij de bron vliegt en weer afloopt wanneer de helikopter voorbij de bron is.



Figuur 24: uitvergroting van één maal over de bron vliegen

Bij de tweede test (zie Figuur 25) is er op verschillende hoogtes over de bron gevlogen. Er is hierbij telkens heen en weer over de bron gevlogen. De eerste vlucht is uitgevoerd op ongeveer een halve meter hoogte. Hierbij is echter te zien dat op deze afstand een kleine afwijking veel uitmaakt en het is dan ook goed te zien dat de oktokopter op de terugweg iets lager vloog dan op de heenweg. De tweede vlucht is op ongeveer 1 tot 1,5 meter hoogte uitgevoerd en de derde vlucht op ongeveer 2 meter hoogte. De laatste vlucht is op 3 meter hoogte uitgevoerd en in de grafiek zijn hierbij nog net twee kleine piekjes zichtbaar.



Figuur 25: dosistempometingen waarbij meerdere malen op verschillende hoogtes over de bron is gevlogen

4.9 Conclusie radiologische vliegproeven

Met deze eenvoudige vliegproeven is aangetoond dat het goed mogelijk is om een onbemand vliegtuigje uit te rusten met een dosistempomonitor, en daarmee het dosistempo boven een bron of besmet gebied te meten.

Voor de vliegproeven is een puntbron gebruikt, maar tijdens of na een kernongeval zal er activiteit verspreid liggen over een groot gebied. Hierdoor zal het dosistempo hoger zijn dan tijdens de vliegproeven, waardoor er op grotere hoogte gemeten kan worden. Er zijn verschillende testen gedaan met bemande en onbemane vluchten op verschillende locaties ter wereld. Onder andere in Japan in de regio rond Fukushima zijn metingen uitgevoerd met onbemande vliegtuigjes die uitgerust waren met een dosistempomonitor, om het radioactief besmette gebied rondom de rampplek in kaart te brengen [7] [8].

Het is dus goed mogelijk om met een onbemand vliegtuigje eenvoudig een radioactieve bron, of hotspot, te detecteren en ook de contouren van een radioactieve wolk vast stellen. Er zijn echter ook wel haken en ogen aan deze metingen, omdat de dosistempometingen op de hoogte waarop gevlogen wordt

niet zomaar te vertalen zijn naar een dosistempo op leefniveau of naar een mate van besmetting op de grond. De vliegproef waarbij op verschillende hoogtes over de bron gevlogen is, demonstreert hoe groot de verschillen in de meting kunnen zijn als het onbemande vliegtuigje iets hoger of lager vliegt. Hierbij gaat het eigenlijk niet om de hoogte waarop het onbemande vliegtuigje vliegt, maar om de afstand van het onbemande vliegtuigje tot het te meten oppervlak eronder. Het te meten oppervlak kan immers ook een (hoog) gebouw of een boom zijn. Hiervoor zal gecorrigeerd moeten worden. Dit kan door gebruik te maken van het Actuele Hoogtebestand Nederland, waarin niet alleen de hoogtes boven het maaiveld beschikbaar zijn maar ook hoogtes van gebouwen en begroeiing.[9] Daarnaast zullen de metingen ook gecorrigeerd moeten worden voor (onder andere) effecten in de lucht, die de straling afschermen.

5 Juridische haalbaarheid

5.1 Introductie

Dit hoofdstuk bevat een globaal onderzoek naar de juridische haalbaarheid, inclusief de noodzaak van speciale bevoegdheden en vrijstellingen voor het uitvoeren van vluchten met een onbemand vliegtuigje, ofwel een Remotely Piloted Aircraft System (RPAS), voor het doen van metingen vanuit de lucht bij calamiteiten. Alvorens de juridische haalbaarheid te behandelen wordt in dit hoofdstuk stilgestaan bij het wettelijk kader, zowel uit internationaal als ook nationaal perspectief, en wordt de verwachte toekomstige regelgeving benoemd.

5.1.1 *Wettelijk kader*

Luchtvaartwetgeving in Nederland is voor een belangrijk deel gebaseerd op internationale regelgeving en verdragen (zie paragraaf 5.1.2). Veel daarvan is terug te leiden tot het verdrag van Chicago uit 1947 waarmee de International Civil Aviation Organization (ICAO) is opgericht. Voor veel (nieuwe) luchtvaartwetgeving is tegenwoordig de Europese Commissie verantwoordelijk. In bijlage II bij EC-verordening 216/2008 zijn er uitzonderingen gemaakt. Een daarvan betreft onbemande luchtvaartuigen met een totale startmassa van minder dan honderdvijftig kilo. Hiervoor zijn de nationale overheden verantwoordelijk (zie paragraaf 5.1.3). In Nederland zijn dat de Minister van Infrastructuur en Milieu en de Minister van Defensie.

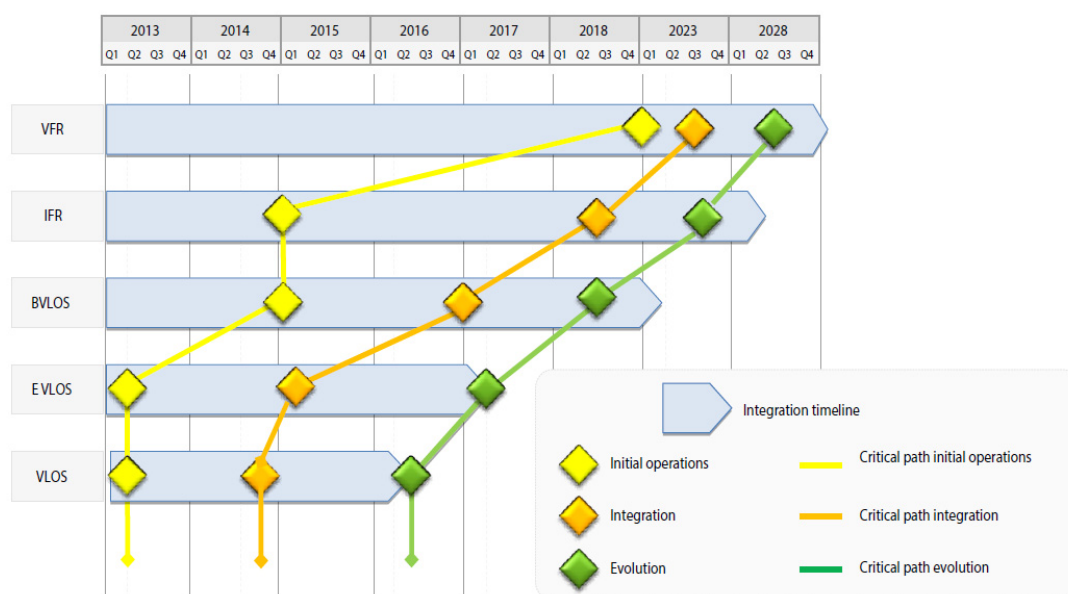
5.1.2 *Internationale wet- en regelgeving*

De International Civil Aviation Organization (ICAO) is een gespecialiseerde organisatie van de Verenigde Naties. Het primaire doel van ICAO is om 'de principes en standaarden voor de internationale luchtvaart op te stellen ter verbetering van het luchtverkeer'. Ten aanzien van onbemande luchtvaartuigen heeft de ICAO al sinds het verdrag van 1947 voorzieningen getroffen. Recent heeft de ICAO een aantal van de bijlagen bij het verdrag van Chicago gewijzigd om onbemande luchtvaartuigen te accommoderen en hiervoor de circulaire '328 AN/190 on Unmanned Aircraft Systems (UAS)' uitgebracht. Ondanks het grote internationale karakter van de ICAO behouden alle lidstaten hun soevereiniteit over hun eigen luchtruim. Desalniettemin heeft Nederland veel van de ICAO-principes en -standaarden overgenomen in de nationale wet- en regelgeving.

Het European Aviation Safety Agency (EASA) is opgericht in 2002 als agentschap van de Europese Commissie (EC). De hoofdactiviteit van dit agentschap is het ondersteunen van de EC bij het ontwikkelen van en toezicht houden op wet- en regelgeving voor de luchtvaart. In augustus 2012 heeft het EASA een 'Notice of Proposed Amendment' (NPA) 2012-10 uitgegeven, met daarin een concept om amendement 43 van bijlage 2 van het verdrag van Chicago om te vormen naar algemene luchtvaartregels voor Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS).

Tevens heeft de EC een roadmap uitgegeven voor de integratie van civiele RPAS in het Europese luchtvaartsysteem, beginnend met initiële operaties, gevolgd door operaties geïntegreerd met de reguliere luchtvaart, waarbij uiteindelijk nog een doorontwikkeling wordt verwacht (*evolution*). Het tijdspad en de verschillende hoofdonderdelen hiervan zijn weergegeven in Figuur 26. Hierin zijn

verschillende operationele concepten weergegeven, onderin beginnend met operaties binnen zicht van de vlieger en met behulp van extra waarnemers om het zichtgebied uit te breiden, de zogeheten Visual Line of Sight (VLOS)- en Extended Visual Line of Sight (EVLOS)-operaties. Het is de verwachting dat deze opgevolgd worden met vluchten buiten zichtafstand, de zogeheten Beyond Visual Line of Sight (BVLOS). Hiervoor zal volledig op instrumenten gevlogen moeten worden, waardoor dit gelijkstaat aan vluchten onder de instrumentvliegvoorschriften, de Instrument Flight Rules (IFR). Als laatste worden vluchten onder de zichtvliegvoorschriften, de Visual Flight Rules (VFR), verwacht.



Figuur 26: tijdspad voor RPAS-integratie (bron: 'Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System,' www.ec.europa.eu)

5.1.3

Nationale wet- en regelgeving

De structuur van de Nederlandse wet- en regelgeving voor de luchtvaart wordt 'gelede normstelling' genoemd. Dit is een structuur die trapsgewijs is opgebouwd. Boven aan die 'trap' staat de wet, in dit geval is de Wet luchtvaart de voornaamste. Wetswijzigingen kunnen alleen plaatsvinden via uitgebreide procedures en daarom zijn vooral algemene regels in wetten vastgelegd. De details van een wet kunnen een trede lager uitgewerkt zijn in een zogeheten Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB). Van daaruit kunnen bepaalde zaken weer gedelegeerd zijn naar een minister (of staatssecretaris). Deze kan dan ministeriële regelingen opstellen; een voorbeeld hiervan is de Regeling modelvliegen.

In de nationale wetgeving zijn verschillende aspecten voor het opereren van onbemande luchtvaartuigen reeds gefaciliteerd binnen het huidige wettelijk kader. Deze zijn opgenomen in de Wet luchtvaart en onderliggende regelingen en besluiten. Een samenvatting van de luchtvaartregels voor onbemande luchtvaartuigen is opgenomen in een informatiebulletin van de Inspectie Leefomgeving en Transport en is integraal overgenomen in Bijlage E. Ook de rest van deze paragraaf is op dit informatiebulletin gebaseerd.

Voor lichte onbemande luchtvaartuigen gelden de 'standaardregels' die ook voor bemande luchtvaart gelden, behalve wanneer er specifiek voor (al dan niet lichte) onbemande luchtvaartuigen een uitzondering is gemaakt. Dat kan als gevolg hebben dat een bepaalde verplichting niet geldt of juist alleen voor een onbemand luchtvaartuig.

Om met een luchtvaartuig te mogen vliegen moet men volgens de Wet luchtvaart beschikken over een bewijs van inschrijving (BvI), een bewijs van luchtwaardigheid (BvL), een geluidscertificaat en een bewijs van bevoegdheid (BvB).

Omdat de eisen voor het BvL, het geluidscertificaat en het BvB nog niet zijn vastgelegd, wordt op dit moment gebruikgemaakt van de mogelijkheid om een ontheffing af te geven voor het niet hebben van een Bewijs van luchtwaardigheid (BvL), een geluidsverklaring en het Bewijs van bevoegdheid (BvB).

Daar komt bij dat een licht onbemand luchtvaartuig beroepsmatig gebruikt wordt (geen onderscheid tussen commercieel en overheid) en dit gebruik is verboden, tenzij ontheffing is verleend.

Kortom, op dit moment wordt gebruikgemaakt van de mogelijkheid die de Wet luchtvaart biedt om ontheffing te verlenen van het verbod om beroepsmatig deel te nemen aan het luchtverkeer met lichte onbemande luchtvaartuigen, zo'n luchtvaartuig te bedienen zonder geldig vliegbewijs en zo'n luchtvaartuig te gebruiken zonder geldig bewijs van luchtwaardigheid en geluidscertificaat. Dit is verder beschreven in paragraaf 5.2.

5.1.4 *Toekomstige wet- en regelgeving*

Voor onbemande luchtvaartuigen met een totale startmassa van minder dan hondervijftig kilo zijn de nationale overheden verantwoordelijk. Op initiatief van de huidige Inspectie voor Leefomgeving en Transport zijn de Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS) opgericht. Dit is een internationaal samenwerkingsverband van verschillende nationale luchtvaartautoriteiten. Deze groep maakt voorstellen voor luchtwaardigheid-, operationele en luchtruimregelgeving voor lichte onbemande luchtvaartuigen, die vervolgens door de nationale autoriteiten tot regelgeving verheven kunnen worden. Daarnaast wordt door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu actief gewerkt aan het aanpassen van meerdere regelingen en besluiten, om alle zaken die momenteel onder het reguliere ontheffingenbeleid vallen onder te brengen in de nationale wet- en regelgeving voor luchtvaart. Vanwege de vele formele procedures die hiermee gemoeid zijn, is het niet mogelijk hiervoor een concreet tijdspad te verschaffen. Desalniettemin wordt voor de nabije toekomst verwacht dat, tenminste klasse 1-vluchten formeel afgehandeld kunnen worden onder de nationale regelgeving (en dus geen ontheffingen meer behoeven).

5.2 **Juridische haalbaarheid**

Binnen het huidige wettelijke kader kunnen de beoogde vluchten alleen uitgevoerd worden wanneer hiertoe een ontheffing is verleend. Het ontheffingenbeleid is opgenomen in een door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) uitgegeven informatiebulletin. Dit hoofdstuk is op dit informatiebulletin gebaseerd.

5.2.1 *Ontheffingenbeleid*

Een ontheffing wordt alleen verleend indien aannemelijk gemaakt kan worden dat de aanvrager beroepsmatig de vluchten met RPAS goed kan voorbereiden en

veilig kan uitvoeren vanuit een goede organisatie, een betrouwbaar RPAS en een gekwalificeerd team van minimaal twee vliegers of vlieger/observer, en dat daarom de veiligheid van het luchtverkeer en mensen/zaken op de grond niet in het geding zal zijn. In meer detail zal een voldoende invulling gegeven moeten zijn aan een aantal aspecten. Deze zijn te verdelen in een aantal zaken die volgens de huidige regelgeving al ingevuld kunnen worden en zaken die nodig zijn voor de ontheffing van het Bewijs van Luchtwaardigheid, voor de ontheffing van het Bewijs van Bevoegdheid en voor het beroepsmatig deelnemen aan het luchtverkeer met lichte onbemande luchtvaartuigen. Deze zaken worden in de volgende paragrafen verder behandeld.

5.2.2 *Onder de huidige regelgeving*

Alvorens met een licht onbemand luchtvaartuig te mogen opereren zal binnen het huidige wettelijk kader voldaan moeten zijn aan het volgende: een luchtvaartuig moet voorzien zijn van een geldig nationaliteits- en inschrijvingskenmerk en moet beschikken over een geldig bewijs van inschrijving.

Ingevolge de Regeling Burgerluchthavens en Militaire Luchthavens en de gewijzigde Wet luchtvaart is een regeling (voor permanent gebruik) of 'ontheffing tijdelijk en uitzonderlijk gebruik' nodig van de provincie. Deze vergunningen zullen (voor zover nog niet aanwezig) door de operator organisatie zelf moeten worden aangevraagd bij de desbetreffende provincie(s). Ook is een verzekering vereist conform EC-verordening 785/2004 voor de risico's van schade aan derden (in de lucht en op de grond) als gevolg van het exploiteren van een luchtvaartuig tot vijfhonderd kilo (inclusief risico's van molest en kaping).

5.2.3 *Ontheffing van het Bewijs van Luchtwaardigheid*

Om in aanmerking te komen voor een ontheffing voor het niet hebben van een Bewijs van Luchtwaardigheid dient invulling gegeven te zijn aan de punten 1 en 3, of 2 en 3:

1. Advies van een door de autoriteit geaccepteerde instantie⁸ over de luchtwaardigheid van het systeem, of
2. Toetsing van het systeem door een nationale luchtvaartautoriteit, en
3. Een document waarin de technische specificaties staan van het onbemande luchtvaartuigstelsel waarvoor een ontheffing wordt aangevraagd. In het technische document staan ten minste de volgende zaken:
 - tekening van het toestel met afmetingen;
 - gewicht van het toestel;
 - beschrijving van de voeding (batterij of brandstof);
 - beschrijving van de aandrijving (type motor);
 - beschrijving van de communicatiesystemen, zowel control-command als de link voor beelden/payloadgegevens;
 - beschrijving van de sensoren en/of telemetrie;
 - beschrijving van de veiligheidssystemen;
 - beschrijving van het grondcontrolestation (zie de checklist in Bijlage F voor details over informatie die het station minimaal moet geven aan de vlieger);
 - beschrijving van het gebruik van de frequenties, en

⁸ In Nederland wordt het advies van het Britse EuroUSC geaccepteerd en het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium; NLR heeft recent dezelfde status bereikt.

- een omschrijving van wat er gebeurt bij noodscenario's.

5.2.4 *Ontheffing van het Bewijs van Bevoegdheid*

Om in aanmerking te komen voor een ontheffing voor het niet hebben van een Bewijs van Bevoegdheid dient invulling gegeven te zijn aan de volgende punten:

- Degelijke praktische opleiding om het type RPAS te beheersen, plus
- Aantoonbare kennis, bedrevenheid en ervaring in de luchtvaart, zodat een vlucht voldoende kan worden voorbereid en veilig worden uitgevoerd, bijvoorbeeld een door ILT-geaccepteerd opleidingstraject voor RPAS-vliegers (NLR), of geslaagd voor 'Euro USC Ground School Examination + Operational Assessment + Flight Test'. Dat houdt ook in dat vliegers in staat moeten zijn om de uitsluitend Engelstalige luchtvaartinlichtingen te lezen en te begrijpen (VFR-kaart, AIP, AIC's, NOTAMs, *meteorologic information for general aviation*).

5.2.5 *Ontheffing voor het beroepsmatig deelnemen aan het luchtverkeer met lichte onbemande luchtvaartuigen*

Om in aanmerking te komen voor een ontheffing voor het beroepsmatig deelnemen aan het luchtverkeer met lichte onbemande luchtvaartuigen dient invulling gegeven te zijn aan de volgende punten:

- bedrijfshandboek, met daarin een duidelijke beschrijving van de:
 - organisatiestructuur (inclusief eindverantwoordelijke);
 - standaardwerkmethodes en beschrijving van de *aerial work*-activiteit (bijvoorbeeld: geologische fotografie of inspectie windmolens), waaronder: procedure voor selectie en inrichting van het start- en landingsterrein met veilige afstanden tot obstakels (inclusief wegen) (ref. de eisen in de Regeling veilig gebruik luchthavens en andere terreinen), tegengaan van verstoring door nieuwsgierigen/veilig werkgebied en vrij landingsgebied;
 - procedure voor aanwijzen gezagvoerder;
 - procedures voor samenwerking gezagvoerder en waarnemer, beschrijving van ieders verantwoordelijkheden, interne 'currency' normen en 'human factor' elementen;
 - procedure voor samenwerking waarnemer op afstand (ingeval van werken met UAS > 500 m van piloot of wanneer vlieger en waarnemer niet bij elkaar staan);
 - procedures voor vluchtvoorbereiding (NOTAMS, geldige kaart(en), luchtvaartgids, luchtvaartmeteorologische inlichtingen enzovoort);
 - procedure voor risicoanalyse per vlucht (invloed van specifieke omgeving op de veiligheid van derden in de lucht en op de grond), rekening houdend met woonbebouwing en industrie via <http://bagviewer.geodan.nl>;
 - wijze waarop een Veiligheidsmanagement Systeem is ingevoerd in de organisatie, onder andere middels incidentmeldingen, rol veiligheidsmanager, uitgangspunten organisatie voor veilig gedrag. Met als minimum het VMS-light.

Voor deze zaken dient het bedrijfshandboek getoetst te worden en dient geverifieerd te worden dat de vlieger en de operator organisatie opereren conform het bedrijfshandboek. Deze verificatie dient uitgevoerd te worden door een daarvoor bevoegde instantie (zie voetnoot 8).

5.3 Klasse 1-vluchtuitvoering

Binnen het huidige ontheffingenbeleid wordt uitgegaan van een vlucht binnen klasse 1-vluchtuitvoering. Dit houdt in dat vluchten mogen plaatsvinden:

- in ongecontroleerd luchtruim;
- binnen de Visual Line of Sight (VLOS) – in het zicht van de bestuurder en waarnemer, maar:
 - niet hoger dan 120 meter (400 ft) boven grond/water (AGL);
 - niet verder dan 500 meter van vlieger/gezagvoerder;
 - minstens 150 meter (horizontaal) van mensenmenigte en bebouwing;
 - binnen de zichtvliegeregels (VFR) binnen de daglichtperiode.

Enkele uitzonderingen of aannames hierbij zijn dat:

- soms de afstand van 500 meter kan worden vergroot (*extended visual line of sight*, EVLOS) door gebruik te maken van gekwalificeerde waarnemer(s) en geacordeerde communicatieprocedures;
- soms de afstand tot mensen/bebouwing kleiner kan zijn, afhankelijk van risicoanalyse/maatschappelijk belang; de horizontale afstand kan worden verkleind als het gaat om gebouwen en objecten die onder zeggenschap staan van de RPAS-operator, bijvoorbeeld omdat de opdrachtgever zelf hiermee akkoord gaat; daarvoor is wel een betrouwbare RPAS + RPAS-operator nodig;
- het uitgangspunt ongecontroleerd luchtruim is, maar afspraken zijn mogelijk voor vluchten binnen een plaatselijk luchtverkeersleidingsgebied;
- vluchten worden uitgevoerd door een team van ten minste twee personen (vlieger + waarnemer; een van hen is gezagvoerder – de waarnemer kan alleen gezagvoerder zijn wanneer deze ook is gekwalificeerd als vlieger);
- wanneer tijdens de vlucht aanvullende apparatuur, zoals een camera, moet worden bediend, gebeurt dat door een derde persoon.

5.4 Klasse 2-vluchtuitvoering

Indien één of meer van deze aspecten overschreden wordt/moet worden voor een effectieve vluchtuitvoering, betekent dit dat de vlucht automatisch een klasse 2-vlucht betreft. Hiervoor dienen in principe aan de volgende zaken voldoende invulling te zijn gegeven:

- het type UAS is voorzien van een typecertificaat (gebaseerd op internationaal geaccepteerde luchtwaardigheidseisen, bijvoorbeeld ICAO annex 8 of EC-verordening 216/2008);
- de ontwerper is gekwalificeerd (DOA: Design Organisation Approval);
- het systeem is gebouwd door een gekwalificeerde bouwer (POA: Production Organisation Approval);
- het systeem wordt onderhouden door een gekwalificeerde organisatie (MOA: Maintenance Organisation Approval).

Gezien het feit dat er geen formele certificatiecriteria zijn vastgesteld, is het ook nog niet mogelijk om hier invulling aan te geven. Voor het uitvoeren van incidentele klasse 2-vluchten zal dan ook een ontheffing nodig zijn. Het is de verwachting dat wanneer dit op het gebied van veiligheid voor derden in de lucht en op de grond voldoende acceptabel en beargumenteerd is, een klasse 2-ontheffing voor vluchten met groot maatschappelijk belang kan worden verleend. Gezien de gewenste inzet van onbemande luchtvaartuigen op ad-hocbasis is het niet wenselijk/haalbaar om enkele dagen voorafgaand aan de vlucht ontheffingen en/of toestemming te verkrijgen. Het is echter de verwachting dat, bij een voldoende motivering en vooraf geaccepteerde beslismodellen en werkwijzen, het mogelijk zal zijn om voor vluchten met een dermate groot maatschappelijk belang ontheffing te kunnen verkrijgen voor het

uitvoeren van vluchten onder klasse 2. Wanneer vooraf ook afspraken zijn gemaakt met de bevoegde instanties omtrent de (aan)melding van dergelijke vluchten en het gebruik van terreinen als start- en landingsterreinen, is het de verwachting dat vluchten onder klasse 2 ook uitgevoerd kunnen worden op een ad-hocbasis.

5.5 Conclusie

Wanneer bovenstaande wordt gecombineerd met de gewenste vluchtuitvoering, wordt geconcludeerd dat binnen het huidige wettelijk kader het uitvoeren van vluchten met een Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) voor het doen van metingen vanuit de lucht bij calamiteiten op basis van ontheffingen mogelijk is. Mede op basis van ontheffingen die momenteel worden verleend en contacten met de inspectie is het de verwachting dat alle voor deze ontheffing vereiste aspecten haalbaar zijn. Het opereren op ad-hocbasis dat verbonden is aan calamiteiten vergt aanvullende ontheffingen. Gezien het grote maatschappelijke belang lijkt het aannemelijk dat daar afspraken over zijn te maken.

6 Economische haalbaarheid

6.1 Financiële aspecten en haalbaarheid

Dit hoofdstuk bevat een overzicht van de verwachte financiële omvang (richtprijzen) voor het verkrijgen van de benodigde ontheffingen en de daarmee samenhangende toetsingen. Dit is gebaseerd op de beschikbare tarieven van toetsende instanties en ervaringen uit de sector.

Ondanks dat bij de samenstelling van dit overzicht is getracht een zo volledig mogelijk beeld te scheppen is het, mede vanwege het prille karakter van de markt, niet gegarandeerd volledig en actueel.

Systeemgerelateerde kosten	
Aanschafkosten systeem	Systeemafhankelijk (vanaf € 10.000,-)
Inschrijving in het burgerluchtvaartregister	€ 71,-
Aanschafkosten meetapparatuur	Apparatuuraafhankelijk (vanaf € 500)
Extern toetsen van luchtwaardigheid	Vanaf € 2.000,-
Onderhoudskosten	Systeemafhankelijk
Verzekering (WA)	€ 600,- per jaar
Verzekering (Casco)	Systeemafhankelijk

Crewgerelateerde kosten	
Theorie: training en examinering	€ 1.500,- per persoon
Praktijktraining	Systeemafhankelijk

Organisatiegerelateerde kosten	
Opzetten activiteiten (RPAS operator organisatie)	Afhankelijk van de interne kostenstructuur
Opstellen en implementatie van bedrijfshandboek en Veiligheidsmanagement Systeem (VMS)	Afhankelijk van de interne kostenstructuur
Extern toetsen Bedrijfshandboek en VMS	€ 1.000,-
Extern toetsen opereren volgens bedrijfshandboek	€ 1.000,-
Kosten aanvraag ontheffing bij ILT	€ 60,-
Instandhouding RPAS operator organisatie	Afhankelijk van de interne kostenstructuur

De opbrengsten zullen divers zijn van aard en deels economisch, zoals beperking van de schade door een betere inschatting van de ernst van een calamiteit en efficiëntere inzet van hulpdiensten. Omdat opbrengsten aanzienlijk kunnen zijn en kosten voor potentiële operators niet kunnen worden afgewogen tegen beschikbare middelen, wordt geen algemene conclusie gegeven over de economische haalbaarheid.

7 Conclusie

Het RIVM en NLR hebben de handen ineen geslagen om met hun deskundigheid op het gebied van meten bij calamiteiten en de deskundigheid op het gebied van op afstand bestuurbare onbemande vliegtuigen een project te starten om vliegend gevaarlijke stoffen in de lucht te meten.

Diverse ongevalsscenario's zijn uitgedacht. Dit varieerde op chemisch gebied van grote branden tot lokale stankoverlast en op radiologisch gebied van grote terroristische aanslagen tot een brand in een radionuclidenlaboratorium. De probleemstellingen bij de scenario's zijn met name de onbereikbaarheid door hoogte, de onbereikbaarheid door landschap of dat het terrein te gevaarlijk is om door mensen te laten benaderen. Voor die gevallen biedt het meten met onbemande vliegtuigen grote voordelen.

Met een klankbordgroep bestaande uit allerlei spelers in het veld bij incidenten (zoals Brandweer, Defensie, Politie, IFV en GHOR) zijn diverse scenario's bekeken en is er een keuze gemaakt voor het meest relevante scenario. De klankbordgroep was het unaniem eens over de relevantie van de gekozen scenario's, waarbij er ook ruimte is voor toepassing van hetzelfde vliegtuig voor verschillende minder relevante scenario's.

Het meten in een rookpluim bij een grote brand en het meten van een radiologische wolk bij een nucleair incident zijn verder uitgewerkt. Beide scenario's zijn gekozen als het meest relevant omdat er door de hoogte tot nu toe geen mogelijkheid was in de pluim of wolk te meten.

Voor de chemische en radiologische metingen bij een vliegproef in deze haalbaarheidsstudie is op basis van de twee gekozen scenario's gekozen voor relatief eenvoudig toepasbare bemonsterings- en detectiemiddelen, en is de keus gemaakt voor onbemande meetvliegtuigjes van het type aeroplane en rotorcraft.

De uitgevoerde radiologische vliegproeven zijn zeer geslaagd en de uitkomsten ervan zijn zoals vooraf verwacht. Het is met een onbemand vliegtuigje uitgerust met een dosistempomonitor goed mogelijk een radioactieve bron, en daarmee dus ook een hotspot of een besmet gebied, te detecteren. De techniek wordt nu al toegepast, bijvoorbeeld in Japan in de regio Fukushima. Hoewel het detecteren van een besmet gebied of radioactieve wolk dus goed mogelijk is, zijn er nog wel haken en ogen aan deze metingen, zoals ook aangetoond tijdens de vliegproeven. De vlieghoogte, maar belangrijker nog de hoogte boven het te meten oppervlak, zijn van grote invloed op de meetresultaten. Hiervoor en ook voor zaken als afscherming zal gecorrigeerd moeten worden. Deze correcties zijn niet allemaal even eenvoudig en hiervoor zal nader onderzoek noodzakelijk zijn.

Het uitvoeren van de chemische vliegproeven is technisch haalbaar gebleken. De oktokopter en de aeroplane hebben beide met de eNose en de canister door de rookpluim gevlogen. De eNose in de oktokopter laat een duidelijke signaalverandering tijdens de vlucht zien op moment dat de oktokopter de rookpluim in vliegt. Wanneer de meetresultaten van de eNose aan de oktokopter vergeleken worden met de eNose die aan het gebouw bevestigd was, is goed te zien dat de eNose op de oktokopter daadwerkelijk de rookpluim heeft gedetecteerd. Met de canisters die aan de oktokopter en de aeroplane bevestigd

waren, is in de rookpluim bemonsterd. In de genomen monsters zijn geen rookgassen aangetoond boven de detectiegrens. Naar alle waarschijnlijkheid heeft dit aan de verdunning van de rookwolk gelegen. Waar het op het oog heel duidelijk was dat de oktokopter zich wel degelijk in de rookwolk bevond op het moment van monsternamen, is dit niet in de analyseresultaten terug te vinden. De monsternamen met de Skywalker was moeilijker te timen door de hoge snelheid en het meanderen van de pluim. Om te bewijzen dat bemonstering van chemische gassen in een rookwolk mogelijk is, zou de vliegproef met de eNose en canister herhaald moeten worden met een wolk met hogere concentraties, die een betere benadering vormt van wat er bij een echte brand zal worden aangetroffen.

De inzet van onbemande meetvliegtuigjes is juridisch haalbaar op basis van ontheffingen, zolang de juiste voorbereidingen getroffen worden. Om de onbemande vliegtuigjes ad hoc bij calamiteiten in te kunnen zetten is lastiger, maar ook hier lijkt het haalbaar dat er afspraken gemaakt kunnen worden, gezien het grote maatschappelijk belang.

Het lijkt zowel technisch als juridisch haalbaar om onbemande vliegtuigjes in te zetten bij chemische en radiologische calamiteiten. Ten aanzien van de economische haalbaarheid zijn kostenindicaties gegeven. De baten zullen aanzienlijk zijn op het gebied van beperking van de (kans op) schade door een betere inschatting van de ernst van een calamiteit en efficiëntere inzet van hulpdiensten.

Voordat de onbemande vliegtuigjes daadwerkelijk ingezet kunnen worden bij calamiteiten zal aanvullend onderzoek noodzakelijk zijn. Hierbij moet gedacht worden aan het herhalen van de chemische vliegproef met een rookwolk met een meer realistische (hogere) concentratie van (chemische) stoffen. Maar ook in de bemonstering- en meettechniek kunnen verbeteringen aangebracht worden, zoals de dataverwerking van de eNose. Deze zou aangepast kunnen worden om sneller data naar de grond te sturen en meer verschillende gassen in de rookpluim te meten. Naast het verder testen van gassampling zou stofsampling een mooie aanvulling zijn.

Voor radiologische calamiteiten kan gedacht worden aan andere detectoren en het corrigeren en visualiseren van de meetgegevens.

8 Literatuur

- [1] Wikipedia, 'Airplane.' <http://en.wikipedia.org/wiki/Airplane>, 2013. [Online; benaderd 5 september 2013].
- [2] Wikipedia, 'Helicopter.' <http://en.wikipedia.org/wiki/Helicopter>, 2013. [Online; benaderd 5 september 2013].
- [3] Wikipedia, 'Multicopter.' <http://en.wikipedia.org/wiki/Multicopter>, 2013. [Online; benaderd 5 september 2013].
- [4] Wikipedia, 'Aerostat.' <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerostat>, 2013. [Online; benaderd 5 september 2013].
- [5] Wikipedia, 'Powered paragliding.' http://en.wikipedia.org/wiki/Powered_paragliding, 2013. [Online; benaderd 5 september 2013].
- [6] M.G. Mennen en N.J.C. van Belle (2007). RIVM Rapport 09021051/2007: Emissies van schadelijke stoffen bij branden.,
- [7] 'An unmanned helicopter measures radiation levels to assess the retention of radioactive materials', <http://fukushima.jaea.go.jp/english/topics/pdf/topics-fukushima001e.pdf>.
- [8] 'Radiation measurement from air - Conducting the first test flight of an autonomous unmanned airplane', <http://fukushima.jaea.go.jp/english/topics/pdf/topics-fukushima042e.pdf>.
- [9] 'Actueel Hoogtebestand Nederland', <http://www.ahn.nl/index.html>.

Bijlage A: mogelijke ongevalsscenario's

Calamiteit	Locatie	Reden inzet meetvliegtuigje	Wenselijke meetdata	Huidige methode
Radiologische calamiteiten				
Terroristische aanslag met vuile (radiologische) bom (bijvoorbeeld Cs-137 of Co-60)	Midden in drukke stad	Er is op dat moment veel winkelend publiek op de been. Er breekt paniek uit en niemand kan een kant uit. Hulpdiensten komen vast te staan in het verkeer. De meetwagen komt de stad niet (of moeilijk) in. Niemand weet wat er is gebeurd en of er nog iets zal gaan gebeuren. Met een of meer kleine vliegtuigjes waarop dosistemosensoren zitten kan ondanks de chaos op leefniveau snel worden vastgesteld of het incident een radiologische component heeft. Zo ja, dan kan het getroffen gebied (en hotspots) ook in kaart worden gebracht.	- Omgevingsdosistempo $H^*(10)$ - (eventueel) concentratie nuclidespecifieke lucht(stof)	Wachten totdat de hulpdiensten erbij kunnen. Proberen met meetwagens het gebied in te komen.
Brand in een radionuclidelaboratorium van (bijvoorbeeld) een ziekenhuis	In of aan de rand van een stad	Om sneller een druk bevolkt gebied (en hotspots) in kaart te kunnen brengen en daarmee sneller maatregelen te kunnen afkondigen.	- Omgevingsdosistempo $H^*(10)$ - Zowel voor bepaling lucht tijdens de brand als voor oppervlaktebesmetting na de brand - (eventueel) concentratie nuclidespecifieke lucht(stof)	Door middel van meetploegen (brandweer) en RIVM-metwagens gebied in kaart brengen.
Ongeval met een kerncentrale in de dreigingsfase en eerste lozingsfase	In de buurt van een kerncentrale	Vliegtuigje is sneller ter plaatsen om een eventuele wolk in kaart te brengen. Het in kaart brengen van een wolk is ondanks modelberekeningen lastig omdat de wolk niet zichtbaar is en meetpunten dus goed gekozen moeten worden. Door een vliegtuigje te laten vliegen kan dit veel eenvoudiger en sneller gedaan worden.	- Omgevingsdosistempo $H^*(10)$	Met NMR en meetploegen worden metingen verricht. Meetwagens hebben meer mogelijkheden (maar die arriveren pas na een paar uur)

Calamiteit	Locatie	Reden inzet meetvliegtuigje	Wenselijke meetdata	Huidige methode
Ongeval met een kerncentrale in de lozingsfase	In de buurt van een kerncentrale	Er is daadwerkelijk een lozing gaande. Nu is het belangrijk om te weten waar de wolk zich bevindt, maar ook wat de pluimhoogte van de wolk is. De pluimhoogte van de wolk kan alleen bepaald worden met een vliegtuigje. Maar ook voor het nemen van monsters in een wolk kan een vliegtuigje gebruikt worden.	- Omgevingsdosistempo $H^*(10)$ zowel voor bepalen locatie van de wolk als hoogte - concentratie nuclidespecifieke lucht(stof)	Met NMR, meetploegen van de brandweer en meetwagens wordt al rijdend de wolk in kaart gebracht. Meetwagens kunnen ook de nuclidespecifieke luchtstofconcentratie bepalen maar alleen vanaf de grond. Pluimhoogte wordt nu niet bepaald.
Ongeval met een kerncentrale in de nazorgfase	Kan heel Nederland zijn. Met name weilanden en steden.	Door een ongeval met een kerncentrale kan een heel groot gebied besmet raken, waardoor koeien op stal moeten, gewassen niet meet gegeten kunnen worden of zelf de bevolking geëvacueerd moet worden. Met name slecht bereikbare gebieden als weilanden of steden kunnen veel sneller en eenvoudiger met een vliegtuig in kaart gebracht worden.	- Door middel van omgevingsdosistempo $H^*(10)$ de oppervlaktebesmetting in kaart brengen	Met behulp van rijdende meetploegen.
Ongeval met een transport van radioactieve materialen (bijvoorbeeld ziekenhuisnucliden) over de weg.	Midden op een snelweg	Door het ongeval ontstaat een lange file waardoor het voor de hulpdiensten en meetwagens erg moeilijk is om bij het ongeval te komen. Met een vliegtuigje kan men veel sneller bij het ongeval komen en de situatie in kaart brengen.	- Omgevingsdosistempo $H^*(10)$	Proberen met meetwagens en brandweermmeetploegen in de buurt van het ongeval te komen.
Chemische calamiteiten				
Grote brand (zoals Moerdijk)	Rookpluim trekt over een groot gebied (bewoning en landbouwgebied) met diverse infrastructurele obstakels (rivieren, spoorlijnen etc.).	Met een vliegtuigje kan de hoogte van de pluim worden bepaald. Hiermee kan samen met het weerbeeld het effectgebied beter worden gemodelleerd voor het bepalen van locaties voor monsternamen. Daardoor kan de depositie in de omgeving beter en sneller in kaart worden gebracht. Maar er kan met een vliegtuigje ook eenvoudiger en sneller worden gemeten en bemonsterd in de pluim.	- Hoogte van de pluim - (specifieke) gassen (bijvoorbeeld NH_3, HCN, H_2S) - vluchtige organische componenten - bemonstering van gassen - bemonstering van stofdeeltjes	Nu wordt er een schatting van de pluimhoogte gemaakt waarmee wordt gemodelleerd. Bemonstering en metingen worden op strategisch gekozen punten op de grond gedaan.

Calamiteit	Locatie	Reden inzet meetvliegtuigje	Wenselijke meetdata	Huidige methode
Moeilijk te bestrijden langdurige brand (cacao, chemische industrie, afval verwerker)	Stedelijk gebied	Bij smeulende branden is er geen sterk stijgende pluim. Pluimhoogte en pluimstijging zijn moeilijk waarneembaar vanaf de grond. Veranderingen in de loop van de tijd in een groot gebied kunnen door een vliegtuig in kaart gebracht worden. Met een vliegtuig kan makkelijker gescand worden waar die pluim is en blijft.	- (specifieke) gassen (bijvoorbeeld NH₃, HCN, H₂S) - vluchtige organische componenten - bemonstering van gassen - bemonstering van stofdeeltjes - temperatuur	De MOD heeft enkele instrumenten die geschikt zijn om langdurig te monitoren. Deze monitoren staan echter niet 'stand-by' of kunnen niet zomaar op straat achtergelaten worden. Het nadeel van deze monitoren is dat deze dan vast staan in verband met de elektriciteitsvoorziening en bij een draaiende wind geen nuttige informatie meer verschaffen.
Een container met chemicaliën die van een boot is gevallen en op het strand van een Waddeneiland is aangespoeld. Of een complete boot die ergens in het Waddengebied is gestrand.	Waddeneiland, Waddenzee	De MOD heeft geen boot. Het gebied is niet eenvoudig te doorkruisen. Getijden maken het moeilijker om langer ergens te meten. Een draaiende wind kan grote gevolgen hebben bij het kiezen van een locatie (Den Helder of Harlingen).	- (specifieke) gassen (bijvoorbeeld NH₃, HCN, H₂S) - vluchtige organische componenten - bemonstering van gassen - bemonstering van stofdeeltjes	De MOD is afhankelijk van andere diensten die wel in het bezit van boten zijn om dichterbij te komen.
Terroristische aanslag met vuile bom (chemisch)	Midden in drukke stad	Er is op dat moment veel winkelend publiek op de been. Er breekt paniek uit en niemand kan een kant uit. Hulpdiensten komen vast te staan in het verkeer. De meetwagen komt de stad niet (of moeilijk) in om metingen te doen.	- Strijdgassen	Met meetwagen de stad in proberen te komen. Monsternamen door een gaspakkenteam met een inzetijd van 20-30 minuten.
Aanslag in metro (bijvoorbeeld met Sarin)	Amsterdam/Rotterdam/Den Haag	Bij een aanslag met strijdgassen in een metrostelsel is monsternamen door een gaspakkenteam noodzakelijk. Het gaspakkenteam heeft een beperkte inzetijd van ongeveer 20-30 minuten. Het lopen in gaspak door een metrotunnel is zeer tijdrovend. Een zwerm kleine vliegtuigjes kan sneller het hele stelsel scannen.	- bemonstering van gassen - strijdgassen	Monsternamen door een gaspakkenteam met een inzetijd van 20-30 minuten.

Calamiteit	Locatie	Reden inzet meetvliegtuigje	Wenselijke meetdata	Huidige methode
Vulkaanuitbarsting	IJsland	Door vulkaanstof in de hogere luchtlagen werd in het voorjaar 2010 het vliegverkeer stilgelegd. Dit is iets wat Nederland niet zelfstandig beslist. Het is wel mogelijk dat er met onbemande vliegtuigjes informatie verzameld wordt over de situatie boven Nederland.	- Fijnstofmassa - deeltjesgrootte - samenstelling stof	Het vulkaanstof is door het KNMI goed te onderscheiden op satellietbeelden. De meteorologen volgen de situatie en maken modelberekeningen van de verspreiding van het stof.
Lekkende trein	Spoor	Het spoorwegnetwerk is op veel plaatsen niet eenvoudig te bereiken met een voertuig. Met een vliegtuig is een afgelegen trein sneller te bereiken en kan sneller gevonden worden waar en of er een lek is.	- (specifieke) gassen (bijvoorbeeld NH₃, HCN, H₂S) - vluchtige organische componenten - bemonstering van gassen	De MOD probeert zo dicht mogelijk bij een rampterrein te komen. Lopend worden de laatste (kilo)meters afgelegd.
Vage stankklachten door (illegale) lozingen van bedrijven	Woningen in de buurt van bedrijven	Doordat lozingen illegaal zijn of niet opgemerkt worden door bedrijven klagen bewoners over regelmatig terugkerende stank. Soms is dit slechts enkele uren per maand, maar de ergernis en bezorgdheid over de gezondheid nemen in de loop der jaren toe.	- (specifieke) gassen (bijvoorbeeld NH₃, HCN, H₂S) - vluchtige organische componenten	Meetcampagnes, modelberekeningen. Het is niet eenvoudig om mensen daarmee gerust te stellen. "Gisteren of een uur geleden was het erger."
Explosieve situatie	Na een explosie tussen of in gebouwen	Er kan een situatie ontstaan waarbij het niet meer veilig is om met een gaspak te gaan lopen. Mogelijk is er instortingsgevaar en is het toch wenselijk om monstername of metingen uit te voeren.	- Beeld - Monstername	De MOD gaat niet naar explosieve locaties of ingestorte locaties. Hoe belangrijk is monstername in die situatie?

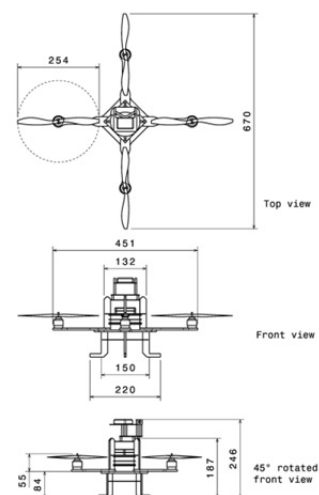
NMR – Nationaal Meetnet Radioactiviteit

MOD – Milieuongevallendienst

Bijlage B: voorbeelden van types meetvliegtuigjes

Rotorcraft

Ascending Technologies Pelican



Figuur 27: Pelican-quadrocopter

RPA	Ascending Technologies Pelican
Lengte	670 mm
Breedte	670 mm
Hoogte (maximaal)	400 mm
Massa leeg (incl. accu)	1,5 kg
Maximale startmassa	2,0 kg
Maximale vliegsnelheid	40km/h
Maximale windsnelheid	36km/h
Maximale vliegtijd	20 minuten
Motoren	4 Asctec Pelican-motoren
Propellers	APC 10"
Accu	11,1V 6000mAh Lipo-batterij

Mikrokopter Okto XL2*Figuur 28: Mikrokopter Okto XL2-oktokopter*

De Mikrokopter Okto XL2 is een 'Vertical Take-Off and Landing' (VTOL) multirotor-RPA. Het systeem heeft acht horizontaal georiënteerde propellers waarmee het in staat is om zich zowel in horizontale richting als in verticale richting te verplaatsen en stil in de lucht te hangen. Van de acht propellers draaien er vier met de klok mee en vier tegen de klok in. Tijdens het stil in de lucht hangen, draaien alle propellers met dezelfde snelheid. De momenten gegenereerd door de propellers die met de klok mee draaien en de propellers die tegen de klok in draaien, heffen elkaar op. Op deze manier is de Oktokopter in staat om stabiel stil te hangen. Om in een bepaalde richting te vliegen wordt de oktokopter uit evenwicht gebracht. Door de snelheid van de propeller te verhogen die zich het verste van de gewenste bewegingsrichting bevindt, zal de multirotor in die richting verplaatsen. De oktokopter zal in de gewenste bewegingsrichting kantelen (stampen, rollen). De oktokopter draait om zijn topas (gieren) door de snelheid tussen de propellers die met de klok mee draaien en de snelheid van de propeller die tegen de klok in draaien te veranderen.

RPA	Mikrokopter Okto XL2
Lengte (incl. prop)	1210 mm
Breedte (incl. prop)	1210 mm
Hoogte	425 mm
Massa leeg	2,3 kg
Massa leeg (incl. accu's)	3,7 kg
Maximale startmassa	5 kg
Maximale vliegtijd	30 minuten
Motoren	8 x MK3638
Propellers	CFK1245/38
Accu's	2 x 14,8V 6600mAh Vislero Lipo-batterij

Paramotor

Opale Spiral 3.2



Figuur 29: Opale Spiral 3.2 Paramotor

Airframe	Opale Spiral3.2
Lengte (incl. prop)	N.A.
Breedte (incl. prop)	3900 mm
Massa leeg (incl. accu's)	TBD kg
Maximale startmassa	9.0 kg
Maximale snelheid	36km/h
Maximale wind	
Maximale vliegtijd	60 minutes
Motoren	1200 Watt elektrische motor
Propellers	TBD
Accu's	2 x 14.8V 5000mAh Lipo batterij

De Opale Spiral 3.2 is een systeem dat is samengesteld uit een parafoil en frame met motor. Met een stuurlijn aan de linker- en rechtervleugeltip van de parafoil wordt het toestel bestuurd. Het gewicht van het frame en het motorvermogen bepalen of het toestel stijgt, daalt of op gelijke hoogte blijft.

Aeroplane

Skywalker 1900



Figuur 30: Skywalker 1900

Airframe	Skywalker 1900
Lengte (incl. prop)	1180 mm
Breedte (incl. prop)	1900 mm
Massa leeg (incl. accu's)	1,6 kg
Maximale startmassa	3,0 kg
Maximale snelheid	70km/h
Maximale wind	36km/h
Maximale vliegtijd	20 minuten
Motoren	550 Watt elektrische motor
Propellers	TBD
Accu's	11V 4000mAh Lipo batterij

De Skywalker 1900 is een vastevleugelluchtvaartuig met een T-staart en duwpropelleraandrijving. Het systeem wordt bestuurd met ailerons, roer en hoogteroer en wordt met de hand gelanceerd.

De lading wordt in de romp onder de vleugel geplaatst, waardoor het toestel een laag zwaartepunt heeft, wat de stabiliteit ten goede komt.

Skywalker X8



Figuur 31: Skywalker X8

Airframe	Skywalker X8
Lengte (incl. prop)	1180 mm
Breedte (incl. prop)	2120 mm
Massa leeg (incl. accu's)	2.5 kg
Maximale startmassa	4.0 kg
Maximale snelheid	100km/h
Maximale wind	36km/h
Maximale vliegtijd	60 minuten
Motoren	1150 Watt elektrische motor
Propellers	TBD
Accu's	2 x 14.8V 5400mAh Lipo batterij

De Skywalker X8 is een vastevleugelluchtvaartuig waarbij de romp deel uitmaakt van de vleugel. Het toestel wordt bestuurd met twee elevons (aileron-hoogteroercombinatie) en wordt gelanceerd met een katapult. Het ontwerp geeft het toestel een relatief grote (romp)inhoud, waardoor meer lading kan worden meegenomen. Door de juiste combinatie van accucapaciteit en lading kan meer snelheid of vluchtduur worden gerealiseerd.

Aerostat



Figuur 32: twee Aerostats

De aerostat is een stationair systeem dat zijn stabiliteit haalt uit de vorm van de ballon. Eventueel kan met een propeller wat voorwaartse snelheid mee worden gegeven.

Bijlage C: huidige chemische meettechnieken

De Milieuongevallendienst beschikt over een uitgebreide set aan meet- en bemonsteringstechnieken. Deze zijn door de jaren heen ontwikkeld en aangepast aan de mogelijke analysetechnieken in het veld. Grofweg kan er onderscheid gemaakt worden tussen het meten van gassen en het meten van stofdeeltjes in een rookpluim. De metingen die het meest relevant zijn bij branden worden hieronder toegelicht.

Gassen

- Een Tedlar-bag is een luchtzak die handmatig bemonsterd wordt met een Vacutube. Door de Vacutube open te trekken wordt de Tedlar-bag gevuld. De lucht uit de Tedlar-bag wordt in de labwagen geanalyseerd op VOC's. Om deze techniek toe te passen in een onbemand vliegtuigje moet de handmatige bemonstering geautomatiseerd worden, zodat er per vlucht een monster mee naar beneden gebracht worden.
- De canister is een stalen bol met een gecoate inerte binnenkant. De canister wordt vooraf vacuüm gezogen en door een kraan te openen zal de canister vollopen met omgevingslucht. Ook deze wordt in de labwagen met de GC-MS geanalyseerd op VOC's. Om de techniek toe te passen in een vliegtuig moet een klep op afstand aangestuurd worden waarmee de canister geopend wordt.
- De meeste sensoren worden op de markt gezet als draagbare handheld apparaten. Het zijn bijvoorbeeld elektrochemische of metaaloxide-sensoren, maar soms ook infrarood. Ze worden gepresenteerd als gevoelig voor een bepaald gas, maar ze zijn bijna allemaal ook kruisgevoelig voor andere gassen. Ze leveren desondanks zeer nuttige informatie over de aanwezigheid van gassen en het toenemen of afnemen van gassen. De MOD gebruikt Rae-sensoren voor diverse anorganische gassen. Een eNose met vier verschillende sensoren wordt momenteel getest en is zeer geschikt voor het waarnemen van veranderingen in samenstelling. Voor toepassing in een vliegtuig hoeft alleen het meetsignaal opgevangen te worden.
- Aldehydeconcentraties worden bepaald door lucht over een cartridge aan te zuigen. De cartridge wordt geanalyseerd met behulp van GC-MS. Voor toepassing in een vliegtuig moet een pomp meegenomen worden. Er is een risico dat door drukverschillen de bemonstering in een vliegtuig minder goed zal gaan dan op de grond.
- Passieve sampling met badges en andere middelen geeft nauwkeurige tijdsgemiddelde concentraties van VOC's. Voor meetvliegtuigen vergt dit te lange bemonsteringstijden.
- De MOD gebruikt een PID voor het bepalen van de som van koolwaterstoffen. Bij hoge concentraties kan dit instrument zeer geschikt zijn voor bronopsporing. Het geeft een som van VOC's, maar geen informatie over welke stof het gaat.

Stofdeeltjes

- Stof wordt verzameld door met een pomp een grote hoeveelheid lucht over een filter te zuigen. De filters worden in de mobiele meetwagen geanalyseerd op zware metalen. Vervolgens worden de filters in een laboratorium binnen een dag geanalyseerd op PAK's. De filters worden voor en na de bemonstering gewogen, zodat een uitspraak gedaan kan worden over de stofconcentratie. Voor toepassing in een vliegtuig is een grote stabiele pomp

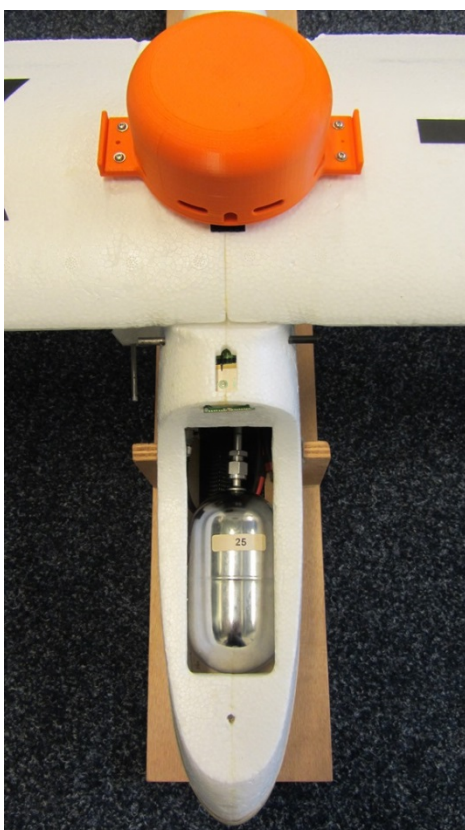
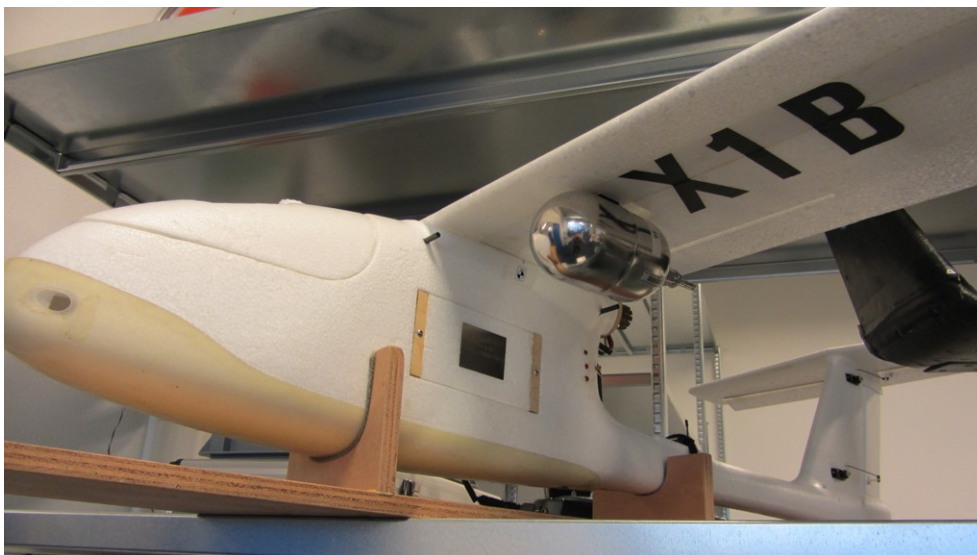
mogelijk een gewichtsprobleem. De snelheid van de lucht om het vliegtuig kan ook invloed hebben op de vangst van de stofdeeltjes.

- Stofdeeltjestellers worden momenteel door de MOD getest om de weging van de filters overbodig te maken. De tellers kunnen een rookpluim direct detecteren en een beeld geven van de stofconcentratie en deeltjesgrootte. De vangst van de deeltjes zou minder goed gedefinieerd kunnen zijn in een bewegend vliegtuig.

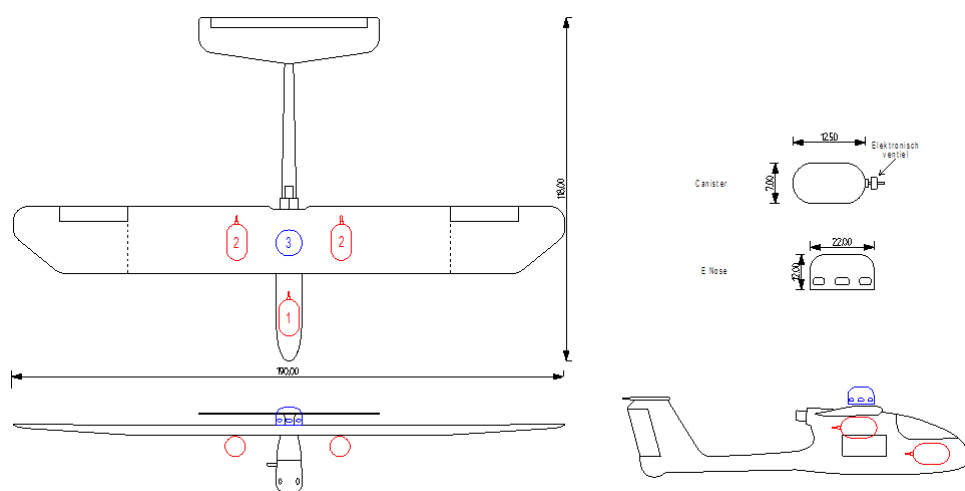
Kansrijke technieken

Binnen de MOD wordt al enkele jaren gekeken naar de toepassing van de GDA2. Dit is een instrument dat een aantal handheld metingen slim combineert. Het bevat een aantal sensoren, een IMS en een PID. Daarbij maakt dit instrument gebruik van de kruisgevoeligheid van diverse sensoren om te bepalen om welk gas het gaat. Binnen de MOD is gekozen voor bemonstering en nauwkeurigere analyse. Voor een snelle screening van een wolk met mogelijk hoge concentraties kan dit instrument een goede bijdrage leveren.

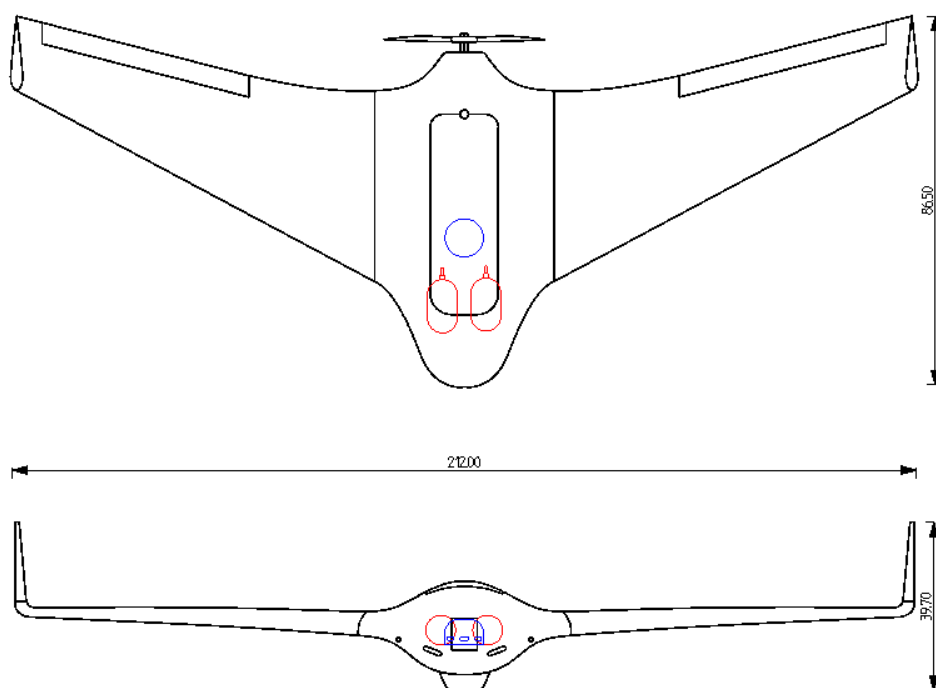
Bijlage D: indicatieve tekeningen en foto's van vliegtuigjes met een geïntegreerde detectoren



Figuur 33: de Skywalker 1900 met een eNose (in de oranje behuizing) en een canister (vooralsnog indicatief)



Figuur 34: tekening van de Skywalker 1900 met de eNose en mogelijkheden voor het installeren van een canister



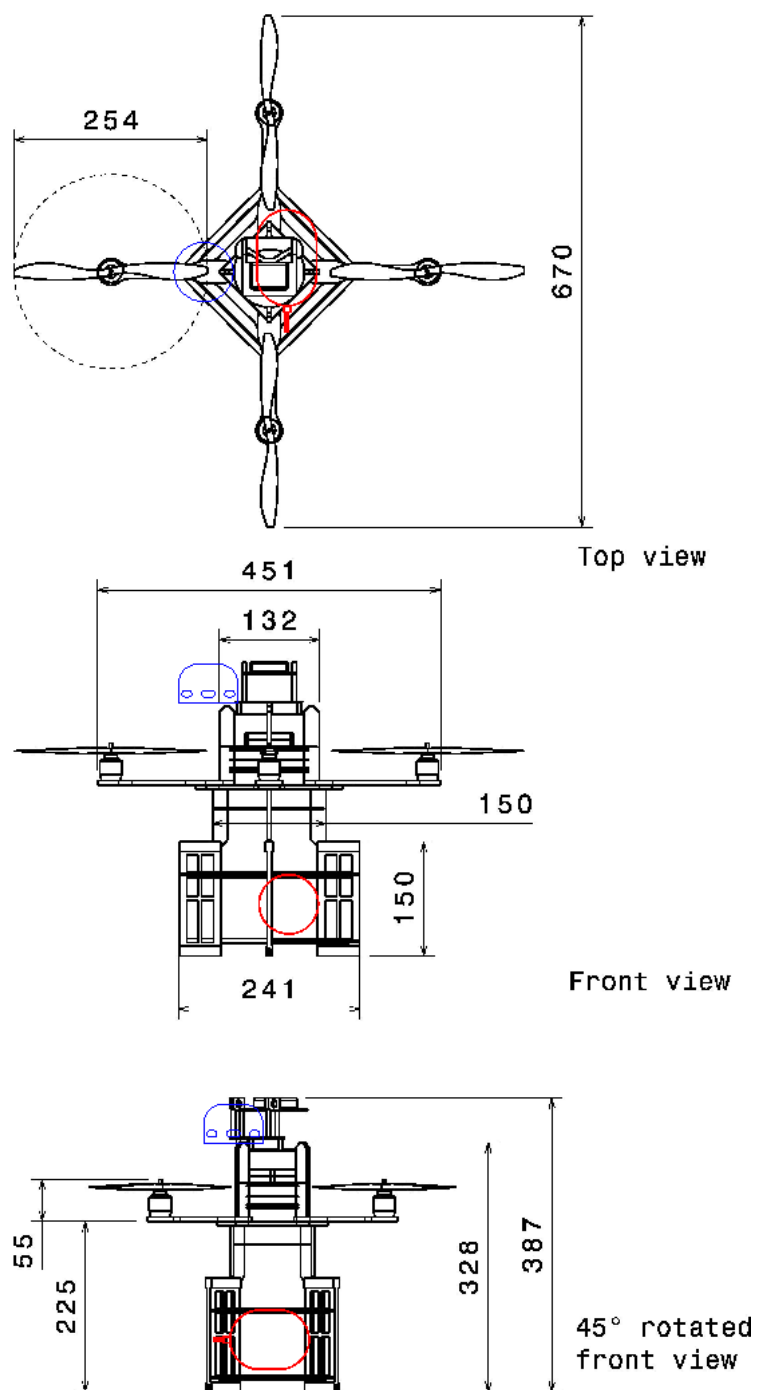
Figuur 35: tekening van een Skywalker X8 waarin in de laadruimte veel plaats is voor de eNose en canisters



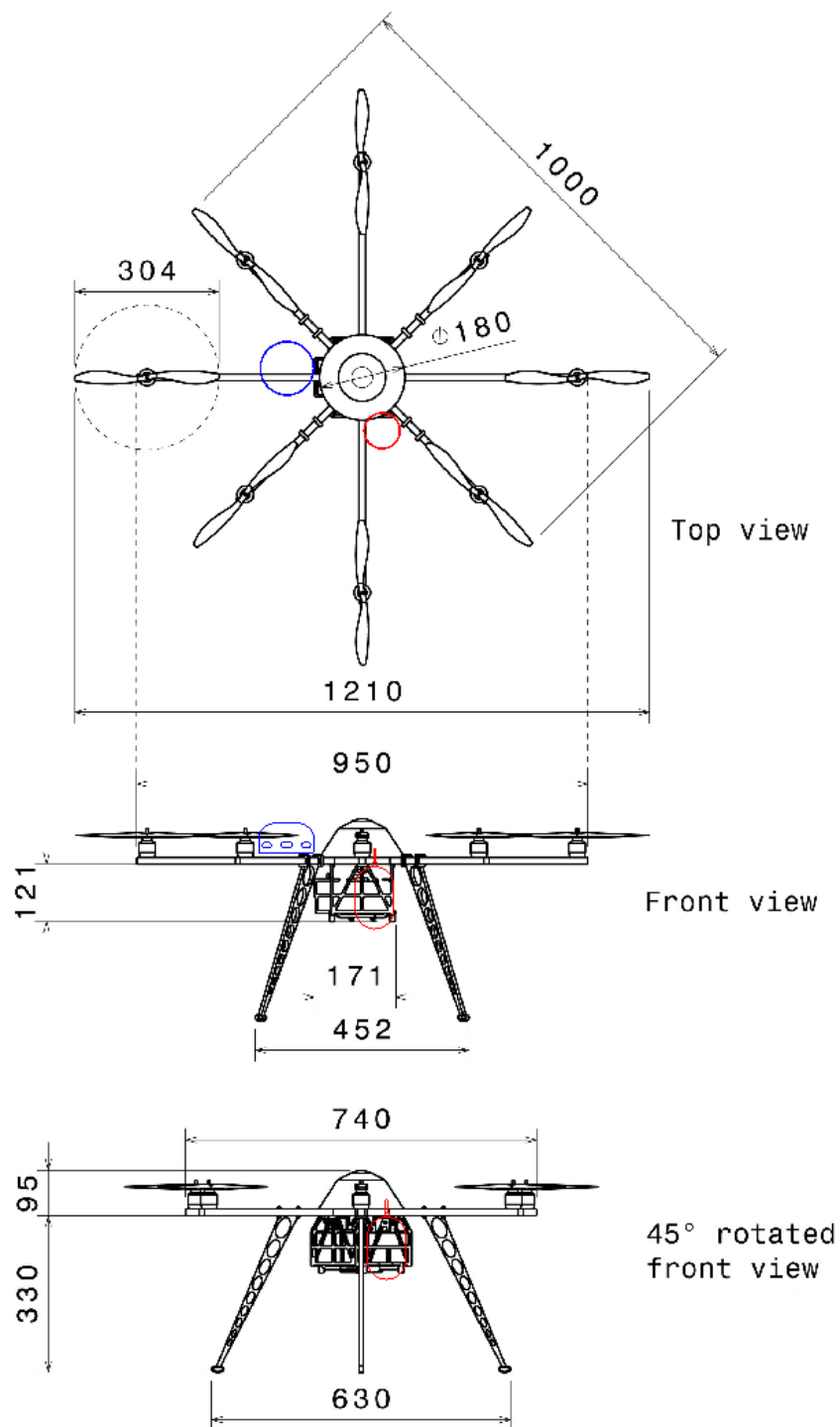
Figuur 36: foto van een Pelikan-quadrokopter met een eNose (in oranje behuizing, bovenaan, achterzijde), een canister (metalen voorwerp onderaan) en twee behuizingen voor camera's (oranje behuizing, bovenaan, voorzijde en links onderaan).



Figuur 37: foto van een Mikrokopter-okto met een eNose (oranje behuizing) en een canister



Figuur 38: tekening van een Pelican met indicatief de mogelijkheid voor montage van een eNose (blauw) en een canister (oranje)



Figuur 39: tekening van een Mikrokopter-okto met indicatief de mogelijkheid voor montage van een eNose (blauw) en een canister (oranje)

Bijlage E: luchtvaartregels voor onbemande luchtvaartuigen

Wet Luchtvaart

- Art 2.1: Het is verboden een luchtvaartuig te bedienen (...) zonder het daarvoor geldige bewijs van bevoegdheid of geldige bewijs van gelijkstelling (, tenzij volgens het vierde lid ontheffing is verleend door de Minister van IenM.);
- Art 2.10: Vlieger en leerling-vlieger houden een logboek bij en het is verboden hierin onjuiste gegevens of onjuiste aantekeningen op te nemen, te doen opnemen of toe te laten dat zij daarin worden opgenomen en het is verboden het logboek te beschadigen of te vernietigen;
- Art 2.11: Lichamelijke en geestelijke gesteldheid van de vlieger moet zodanig zijn dat hiermee de veiligheid van het luchtverkeer niet in gevaar kan worden gebracht;
- Art 3.1 en 3.2: Een luchtvaartuig moet voorzien van een geldig nationaliteits- en inschrijvingskenmerk en moet beschikken over een geldig bewijs van inschrijving;
- Art 4.1: Vluchten tegen vergoeding mogen alleen worden uitgevoerd wanneer een organisatie beschikt over een Aircraft Operator Certificate (AOC). Art 4.4: De minister kan hiervoor een ontheffing geven mits de veiligheid van het luchtverkeer niet in gevaar wordt gebracht ;
- Art 4.8: De gezagvoerder zorgt er voor dat de verplichte documenten beschikbaar zijn (zie 5 hieronder);
- Art 5.3: In gevaar brengen van overige luchtvaart en mensen / zaken op de grond is verboden;
- Art 5.7 derde lid: Gezagvoerder hoeft niet altijd aan boord te zijn;
- Art 5.6: Gezagvoerder moet zijn aangewezen;
- Art 5.8: Vluchtvoorbereiding is verplicht;
- Art 8.1.a.: Het is verboden met een luchtvaartuig op te stijgen of te landen anders dan van of op een luchthaven; Gedeputeerde Staten (van een provincie) kunnen een ontheffing verlenen van die verbodsbepaling, indien een bij amvb13 aan te wijzen luchtvaartuig voldoet aan bij regeling van de Minister van IenM gegeven voorschriften en opstijgt van of landt op een terrein dat geschikt is om tijdelijk en uitzonderlijk te worden gebruikt door dit luchtvaartuig.

Besluit Bewijzen van Bevoegdheid voor de luchtvaart

Bewijs van bevoegdheid (BvB) is verplicht.

Besluit Luchtvaartuigen 2008

Bewijs van inschrijving (BvI) en bewijs van luchtwaardigheid (BvL) plus geluidsverklaring zijn verplicht.

Regeling inschrijving burgerluchtvaartuigen.

Luchtverkeersreglement (LVR)

Art 20: Lichte onbemande luchtvaartuigen verlenen voorrang aan vliegtuigen, helikopters (incl. gyroplanes), zweefstoestellen (=zweefvliegtuigen, schermvliegtuigen en zeilvliegtuigen), vrije ballonnen en luchtschepen.

NB. voorrang verlenen moet op de manier zoals internationaal is afgesproken (ICAO Annex 2) en in NL is vastgelegd in het LVR art 19 t/m 24, dus bijvoorbeeld bij elkaar (bijna) recht vooruit naderen, verlegt elk luchtvaartuig zijn koers naar rechts.

Regeling modelvliegen

Regeling modelvliegen met een verbod:

- op het uitvoeren van beroepsmatige vluchten met een modelluchtvaartuig of licht onbemand luchtvaartuig. Van dit verbod kan ontheffing worden verleend;
- op het vliegen met een licht onbemand luchtvaartuig of modelluchtvaartuig in een verboden gebied bedoeld in artikel 1 van de Regeling sluiting luchtruim boven Den Haag en kasteel Drakensteijn, artikel 1 van de Regeling sluiting luchtruim Scheveningen en artikel 1 van de Regeling sluiting luchtruim nationale herdenkingen.

Besluit Vluchtuitvoering

Regeling vluchtuitvoering

Art 3: 1. Een vlucht met een vliegtuig (...) wordt uitgevoerd met inachtneming van de volgende onderdelen van bijlage 6 bij het verdrag (van Chicago):

- in geval van een vliegtuig: de voorschriften van deel II (...); bijlage 6 deel II:

2.2.3 Flight preparation

2.2.3.1 A flight shall not be commenced until the pilot-in-command is satisfied that:

- a) the aeroplane is airworthy, duly registered and that appropriate certificates with respect thereto are aboard the aeroplane;
- b) the instruments and equipment installed in the aeroplane are appropriate, taking into account the expected flight conditions;
- c) any necessary maintenance has been performed;
- d) the mass of the aeroplane and centre of gravity location are such that the flight can be conducted safely, taking into account the flight conditions expected;
- e) any load carried is properly distributed and safely secured; and
- f) the aeroplane operating limitations, contained in the flight manual, or its equivalent, will not be exceeded.

2.2.3.3 Flight planning

Before commencing a flight the pilot-in-command shall be familiar with all available meteorological information appropriate to the intended flight.

Preparation for a flight away from the vicinity of the place of departure, and for every flight under the instrument flight rules, shall include:

- a) a study of available current weather reports and forecasts; and
- b) the planning of an alternative course of action to provide for the eventuality that the flight cannot be completed as planned, because of weather conditions.

Note. The requirements for flight plans are contained in ICAO Annex 2 — Rules of the Air and Procedures for Air Navigation Services — Air Traffic Management (PANS-ATM, Doc 4444).e

2.2.3.4 Weather conditions

2.2.3.4.1 A flight to be conducted in accordance with the visual flight rules shall not be commenced unless current meteorological reports or a combination of current reports and forecasts indicate that the meteorological conditions along the route or that part of the route to be flown under the visual flight rules will, at the appropriate time, be such as to render compliance with these rules possible.

- 2.2.3.4.3 A flight to be operated in known or expected icing conditions shall not be commenced unless the aeroplane is certificated and equipped to cope with such conditions.
- 2.2.3.4.4 A flight to be planned or expected to operate in suspected or known ground icing conditions shall not take off unless the aeroplane has been inspected for icing and, if necessary, has been given appropriate de-icing/anti-icing treatment. Accumulation of ice or other naturally occurring contaminants shall be removed so that the aeroplane is kept in an airworthy condition prior to take-off.

2.4.2 Aeroplanes on all flights

2.4.2.1 An aeroplane shall be equipped with instruments which will enable the flight crew to control the flight path of the aeroplane, carry out any required procedural manoeuvres and observe the operating limitations of the aeroplane in the expected operating conditions.

2.4.2.2 An aeroplane shall be equipped with:

d) the following manuals, charts and information:

- 1) the flight manual or other documents or information concerning any operating limitations prescribed for the aeroplane by the certificating authority of the State of Registry;
- 2) current and suitable charts for the route of the proposed flight and all routes along which it is reasonable to expect that the flight may be diverted;
- 3) 4) n/a;
- 5) the journey log book for the aeroplane;

Art 4.1: De gezagvoerder van een vliegtuig of helikopter zorgt ervoor dat tijdens of dadelijk na afloop van de vlucht een journaal wordt gehouden.

2. Het journaal vermeldt ten minste:

- a) de datum, de plaats en het tijdstip van aanvang en einde van de vlucht;
- b) de duur van de vlucht;
- c) de aard van de vlucht;
- d) de naam en taak van elk lid van het boordpersoneel;
- e) technische storingen, opgelopen schade en verrichte herstellingen die tijdens de vlucht zijn voorgekomen, respectievelijk zijn uitgevoerd;
- f) ongevallen, bijzondere voorvallen en overschrijding van de gestelde gebruiksgrenzen die zich hebben voorgedaan.

Art 5: De door de gezagvoerder mee te voeren documenten, bedoeld in artikel 4.8 van de wet, zijn:

- a) het bewijs van inschrijving, bedoeld in artikel 3.5 van de wet;
- b) het bewijs van luchtwaardigheid, bedoeld in artikel 3.8 van de wet, behoudens in gevallen als bedoeld in artikel 3.2119 van de wet;
- c) het vlieghandboek;
- d) het bewijs van bevoegdheid of bewijs van gelijkstelling, bedoeld in artikel 2.1 van de wet;
- e) het journaal, bedoeld in artikel 4;
- f) indien van toepassing: het geluidscertificaat of de geluidsverklaring, bedoeld in artikel 3.19a van de wet;
- g) indien het luchtvaartuig is uitgerust met vast ingebouwde radioapparatuur: de vergunning voor gebruik van frequentieruimte, bedoeld in artikel 3.3 van de Telecommunicatiewet

Besluit Burgerluchthavens

HST 4: Aanwijzing luchtvaartuigen die mogen opstijgen of landen van een terrein niet zijnde een luchthaven

Art 21: Als luchtvaartuig als bedoeld in artikel 8a.51 van de wet worden aangewezen:

- onbemande luchtvaartuigen tot 150 kilogram;

Regeling veilig gebruik luchthavens en andere terreinen.

Voor de eisen aan het terrein en de directe omgeving wordt voor een deel onderscheid gemaakt tussen

- specifieke eisen voor verschillende categorieën luchtvaartuigen:
 - vliegtuigen (met een vleugel) – art 31, 33.1;
 - helikopters (gedefinieerd als 'rotorcraft' dus inclusief gyroplanes en multicopters) – art 24, 33.3;
 - luchtschepen – art 32, 33.2, en
- algemene eisen, ongeacht de categorie – art 20 t/m 22, 33.4:

Artikel 33

- 1) Onverminderd het bepaalde in § 2 (=art 20 t/m 22), zijn de eisen, bedoeld in artikel 31, eerste lid, onderdelen a tot en met e, van overeenkomstige toepassing op een luchthaven die gebruikt wordt door een onbemand vliegtuig van maximaal 150 kilogram, met dien verstande dat de lengte van de strook, bedoeld in onderdeel a, niet minder is dan 100 meter en de breedte van de strook, bedoeld in onderdeel b, niet minder is dan 10 meter.
- 2) Onverminderd het bepaalde in § 2, is de eis, bedoeld in artikel 32, eerste lid, onderdeel a, van overeenkomstige toepassing op een luchthaven die gebruikt wordt door een onbemand luchtschip van maximaal 150 kilogram.
- 3) Onverminderd het bepaalde in § 2, zijn de eisen, bedoeld in artikel 24, met uitzondering van onderdeel d, van overeenkomstige toepassing op een luchthaven die gebruikt wordt door een onbemande helikopter van maximaal 150 kilogram.
- 4) Een luchthaven die gebruikt wordt door een onbemand luchtvaartuig van maximaal 150 kilogram is zodanig gelegen dat:
 - a) tijdens de start-en landingsfase een vrij uitzicht op de luchthaven mogelijk is;
 - b) in de nabije omgeving van de luchthaven geen obstakels aanwezig zijn die een belemmering vormen voor het veilige gebruik van de luchthaven.
- 5) Artikel 22, eerste lid, onderdeel c, onder 4, is niet van toepassing op een luchthaven als bedoeld in het eerste tot en met het derde lid. Het eerste tot en met het vierde lid zijn van overeenkomstige toepassing op een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik dat gebruikt wordt door een van de in deze leden bedoelde luchtvaartuigen.

Artikel 31: vliegtuigen

- 1) Een luchthaven die gebruikt wordt door een (landbouw)luchtvaartuig voldoet, onverminderd het bepaalde in § 2, (= art 20 t/m 22) aan de volgende eisen:
 - a) voor het landen en opstijgen is een strook beschikbaar met een lengte die ten minste gelijk is aan de startlengte als vermeld in het vlieghandboek behorende bij het betreffende luchtvaartuig;
 - b) de breedte van de strook bedraagt ten minste tweemaal de spanwijdte van het luchtvaartuig dat gebruik maakt van de strook, doch niet minder dan 30 meter (RPAS vliegtuig 10 meter);

- c) in de strook is de bodemgesteldheid, voor wat betreft de vlakheid en de draagkracht, dusdanig dat het betreffende luchtvaartuig op een veilige wijze kan starten en landen binnen de in het bij het betreffende luchtvaartuig behorende vlieghandboek gestelde gebruiksbeperkingen;
- d) in de strook zijn geen obstakels aanwezig. De gewashoogte in de strook is slechts hoger dan 15 centimeter, voor zover deze geen gevaar oplevert voor een veilige vluchtuitvoering;
- e) in het midden, binnen de grenzen van de strook, is een baan aanwezig met een lengte die gelijk is aan die van de strook en een breedte van ten minste twee maal de spoorbreedte van het betreffende luchtvaartuig;

Artikel 32: luchtschepen

- 1) Een luchthaven die gebruikt wordt door een luchtschip dat op zeeniveau in de internationale standaardatmosfeer in geheel gevulde toestand een afmeting heeft van meer dan 5 meter of een inhoud van meer dan 4 kubieke meter, bevat, onverminderd het bepaalde in § 2, aan de volgende eisen:
 - a) De luchthaven bevat een obstakelvrij grondvlak in de vorm van een cirkel met een straal van ten minste de lengte van het luchtschip.
- 2) Het eerste lid is van overeenkomstige toepassing op een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik dat gebruikt wordt door een luchtschip als bedoeld in het eerste lid.

Artikel 24: helikopters

- Een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik dat gebruikt wordt door een helikopter en het gebruik hiervan voldoen, onverminderd het bepaalde in § 2, aan de volgende eisen:
 - a) het terrein is verder gelegen dan 50 meter van aaneengesloten woonbebouwing;
 - b) het terrein is verder gelegen dan 25 meter van een openbare weg, tenzij deze weg door de bevoegde autoriteiten is afgezet;
 - c) het terrein heeft afmetingen die ten minste gelijk zijn aan de minimale afmetingen als vermeld in het vlieghandboek behorende bij de betreffende helikopter.

Algemene aanleg-, inrichtings-, uitrustings- en gebruiksvoorschriften

Artikel 20

- 1) Een luchthaven is zodanig gelegen dat:
 - a) het landen en opstijgen kan geschieden, zonder dat daarbij behoeft te worden gevlogen boven gebieden met aaneengesloten woonbebouwing of kunstwerken, met inbegrip van industrie- en havengebieden;
 - b) in de onmiddellijke omgeving van de luchthaven voldoende geschikte gronden aanwezig zijn voor het uitvoeren van een nood- of voorzorgslanding;
 - c) de luchthaven bereikbaar is voor voertuigen van hulpdiensten.
- 2) Op of in de onmiddellijke nabijheid van een luchthaven die wordt gebruikt door gemotoriseerde luchtvaartuigen zijn voldoende en deugdelijke reddings- en brandblusmiddelen aanwezig voor het redden van mensenlevens en de bestrijding van branden van luchtvaartuigen alsmede voldoende en ter zake kundige personen voor de bediening van deze middelen.
- 3) Op de luchthaven is een windzak aanwezig die zowel de actuele windrichting als een globale indicatie van de windsnelheid boven de landingsplaats aangeeft.

- 4) De windzak is op een zodanige plaats opgesteld, dat deze door de gezagvoerder, zowel vanuit de lucht als vanaf de grond, goed kan worden waargenomen.
- 5) De windzak is gevrijwaard van storende invloeden op richting en snelheid van de wind.
- 6) De baan van een luchthaven is vlak en heeft een dusdanige samenstelling dat het de massa van het luchtvaartuig kan dragen.
- 7) Indien het oppervlak van een start- of landingsplaats bestaat uit een gewas dan is dit ten hoogste 0,15 meter hoog.
- 8) De baan, taxibaan of landingsplaats zijn gemarkeerd met een doelmatige markering.
- 9) In het geval een openbare weg of spoorweg in de nabijheid van de luchthaven aanwezig is, dan geldt deze als een obstakel van 5 respectievelijk 5,5 meter boven die weg of spoorweg.
- 10) De leden 1, 6, 7 en 9 zijn van overeenkomstige toepassing op een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik.

Artikel 21

- Een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik is niet gelegen:
 - a) in een gebied waar het uitoefenen van het burgerluchtverkeer tijdelijk of blijvend is verboden op grond van artikel 5.10, eerste lid, van de Wet luchtvaart;
 - b) binnen een op grond van artikel 45, tweede lid, onderdeel c, van het Luchtverkeersreglement aangewezen oefengebied voor nood- of voorzorgslandingen van burgerluchtvaartuigen;
 - c) onder of binnen een afstand van 3 zeemijlen van een laagvliegroute of een laagvlieggebied als bedoeld in de artikelen 4 en 5 van de Regeling VFR-nachtvluchten en minimum vlieghoogten voor militaire luchtvaartuigen, tenzij het gebruik zich beperkt tot vrijdagen na 17.00 uur plaatselijke tijd, zaterdagen, zondagen of nationale feestdagen.

Artikel 22

- 1) Het gebruik van een luchthaven voldoet aan de volgende eisen:
 - a) de exploitant wijst een beheerder aan;
 - b) de beheerder wordt door de exploitant belast met het dagelijkse toezicht op de luchthaven en in het bijzonder met het toezicht op de veiligheid en de goede orde op de luchthaven;
 - c) het gebruik van de luchthaven wordt door de exploitant vastgelegd in een register. In dit register worden ten minste de navolgende gegevens vermeld:
 - het nationaliteits- en inschrijvingskenmerk, type luchtvaartuig tevens inhoudende de inrichting van het luchtvaartuig en de naam van de eigenaar c.q. houder;
 - de naam van de gezagvoerder van het luchtvaartuig;
 - de luchthaven, waarvan het luchtvaartuig het laatst is vertrokken, alsmede het tijdstip van aankomst;
 - de luchthaven van bestemming, alsmede tijdstip van vertrek;
 - de aard van de vlucht, alsmede het aantal inzittenden;
 - de baan- en circuitrichting.
 - d) de gegevens van het register worden ten minste 2 jaar bewaard;
 - e) de exploitant draagt de volgende gegevens over aan de organisatie die verantwoordelijk is voor de uitgifte van luchtvaartpublicaties:
 - het feitelijke adres van de luchthaven;
 - de aangewezen geografische positie van de luchthaven in noordelijke breedte en oostelijke lengte;

- naam en telefoonnummer van de beheerder van de luchthaven;
 - f) het innemen van brandstof door een luchtvaartuig vindt plaats met uitgeschakelde motor en met stilstaande propeller of rotorbladen;
 - g de exploitant draagt er zorg voor dat het gebruik is afgestemd op de beschikbare landings-en parkeercapaciteit op de luchthaven.
- 2) Het eerste lid, onderdelen f en g, zijn van overeenkomstige toepassing op een terrein voor tijdelijk en uitzonderlijk gebruik, met dien verstande dat in plaats van 'de exploitant' wordt gelezen: de houder van de ontheffing, bedoeld in artikel 8a.51 van de Wet luchtvaart.

Artikel 35

- 1) De termijn voor het nemen van een besluit op de aanvraag voor een ontheffing als bedoeld in artikel 8a.51 van de Wet luchtvaart bedraagt vier weken.
- 2) De ontheffing wordt niet verleend dan nadat gedeputeerde staten over de aanvraag tot ontheffing overleg hebben gevoerd met de burgemeester van de gemeente waarin het betreffende terrein ligt.
- 3) De houder van de ontheffing meldt ten minste 24 uur voor de dag dat het terrein zal worden gebruikt dit voornemen schriftelijk of per e-mail (meldingtug@ilent.nl) aan de minister en de burgemeester van de gemeente waarin het betreffende terrein ligt.



.....

K. Tukker, RIVM | H.W. Jentink, NLR |
E.M. van Putten, RIVM | M.C. Roelofs, NLR |
C.F. Muller, NLR | J. Vreeken, NLR

.....

RIVM Rapport 2014-0074
NLR Rapport NLR-CR-2014-378

Dit is een uitgave van:

Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium
Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

september 2014

De zorg voor morgen begint vandaag