Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Drones in het personen- en goederenvervoer

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid | KiM

Kennisinstituut
voor
Mobiliteitsbeleid

Inhoud

Samenvatting 5

1 Inleiding 7
1.1 Achtergrond en onderzoeksvragen 7
1.2 Terminologie en classificering van drones 8
1.3 Opbouw van het rapport 9

2 Randvoorwaarden ontwikkeling en implementatie van drones 10
2.1 Technologische ontwikkelingen 10
2.2 Maatschappelijke acceptatie 13
2.3 Conclusie 16

3 Toepassingen en marktkansen van drones binnen het personen- en goederenvervoer 18
3.1 Pakketbezorging 19
3.2 Onbemande luchtvracht 24
3.3 Onbemand personenvervoer 28

4 Conclusie 34
4.1 Randvoorwaarden 34
4.2 Marktkansen 34
4.3 Ruimtelijke effecten 36

Literatuur 37

Appendices 41
Appendix A: De ontwikkeling van sense-and-avoidtechnologie 41
Appendix B: Kosten pakketvervoer per drone 42

Colofon 44

Kennisinstituut
voor
Mobiliteitsbeleid

Samenvatting

Drones kunnen in de toekomst[1] worden toegepast in bepaalde deelmarkten van het personen- en goederenvervoer in Nederland. Snelheid is de belangrijkste reden om drones te gebruiken, in plaats van conventionele alternatieven zoals de bestelbus, het vliegtuig of de auto. De gebruiker van de drones betaalt hiervoor een meerprijs. Hoewel het in absolute zin om vrij grote aantallen dronevluchten kan gaan, betreft het nichemarkten ten opzichte van de totale omvang van het personen- en goederenvervoer.

Technische aspecten en maatschappelijke acceptatie zijn belangrijke randvoorwaarden

De samenleving wordt gekenmerkt door schaarste. Hierdoor bestaat er een constante prikkel om zaken effectiever en efficiënter aan te pakken. Robotisering is hier een gevolg van. De opkomst van professionele dronetoepassingen, zoals in de landbouw of de publieke sector, kan ook tegen deze achtergrond worden beschouwd.

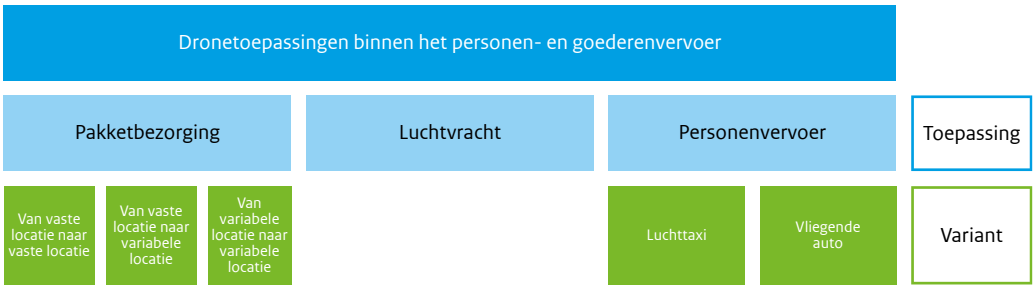
Afhankelijk van het soort toepassing zal het gebruik van drones aan bepaalde randvoorwaarden moeten voldoen. Van groot belang voor de ontwikkeling van drones zijn bepaalde technische aspecten en de maatschappelijke acceptatie van dronetoepassingen. Er komen hierbij belangenafwegingen tussen economische kansen en maatschappelijke veiligheids- en privacyaspecten om de hoek kijken. Een voorbeeld zijn zogenoemde no-flyzones. Die zijn onder meer bedoeld om ongelukken te voorkomen. Als er echter te veel gebieden als no-flyzone worden aangewezen, dan gaat dat ten koste van commerciële gebruiksmogelijkheden. Voor bijvoorbeeld de levering van goederen vliegt een drone namelijk het liefst rechtuit, over grotere afstanden. Afsluiting van het luchtruim leidt dan tot omvliegen en dus hogere kosten.

Drie mobiliteitstoepassingen van drones

Drones vliegen in luchtlagen die nog nauwelijks worden gebruikt. In het personen- en goederenvervoer creëren ze nieuwe, rechtstreekse verbindingen en vermijden ze bovendien congestie. Vervoer kan zodoende sneller plaatsvinden. Er bestaat mede daarom consensus over de verwachting dat onbemande luchtvaartuigen hun intrede zullen doen in dit domein.

Drie mobiliteitstoepassingen van drones zijn te onderscheiden: pakketbezorging, luchtvracht en personenvervoer. Daarbinnen is een onderverdeling van varianten mogelijk; zie figuur S1. Dit onderscheid is nuttig met het oog op verschillen in de marktkansen en ruimtelijke effecten die dronetoepassingen met zich mee brengen.

Figuur S1 Schematisch overzicht van dronetoepassingen binnen het personen- en goederenvervoer



[1] Deze studie kijkt enkele decennia vooruit, maar de implementatie van drones in het personen- en goederenvervoer verloopt natuurlijk stapsgewijs.

Enkele kansrijke opties voor toepassing drones in pakketvervoer

Er bestaan enkele kansrijke toepassingsmogelijkheden voor drones in het pakketvervoer. De snelheid van levering kan een groot voordeel zijn; sommige bedrijven verwachten binnen een half uur te kunnen leveren. Een deel van de consumenten zal bereid zijn om voor de snelle bezorging per drone een meerprijs te betalen. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor bedrijven waar een defect schaars onderdeel het productieproces stil legt, of voor medische toepassingen zoals het snel ter plaatse brengen van een defibrillator. Voor de meeste pakketten gaat spoedlevering echter niet op. Wanneer snelheid niet erg belangrijk is, dan is een bestelbus vaak efficiënter vanuit kostenperspectief. Die zullen daarom nog op grote schaal worden ingezet voor pakketbezorging. De Europese luchtvaartorganisatie SESAR verwacht dat er in Europa in 2035 zo'n 70.000 drones zullen vliegen, die 1-1,5 procent van de pakketten bezorgen.

Het weer heeft een grote invloed op de prestaties van kleine pakketdrones en daarmee op de betrouwbaarheid van een bezorgdienst. Een betere weersbestendigheid is zeker in Nederland een belangrijke technologische randvoorwaarde voor het succes van deze toepassing. Daarnaast is het aantal drones dat door een enkele droneoperator wordt bediend, en de frequentie waarmee een drone vliegt, van grote invloed op de kosten per vlucht. Ontwikkeling van autonome besturing en, daarmee samenhangend, de toepassing van sense-and-avoidtechnologie zijn daardoor ook belangrijk voor de verdere uitrol van deze dronetoepassing.

Toepassing drones in luchtvrachtvervoer is vooral nichemarkt

Luchtvrachtdrones zijn van toegevoegde waarde in nichemarkten waarin goederen met een hoge waarde, tijdgevoeligheid en/of bederfelijkheid moeten worden vervoerd in kleinere hoeveelheden dan de bestaande luchtvracht. De afwezigheid van een concurrerend alternatief versterkt hier de marktkansen. Ten opzichte van pakketvervoer gaat het om grote afstanden en grote hoeveelheden per vlucht, en deze typen drones zijn dan ook (veel) groter qua omvang. Door de uitgebreide transportinfrastructuur zijn er in Nederland weinig evidente markten voor luchtvrachtdrones, maar elders in de wereld zijn die er wel.

Kosten en veiligheid cruciaal voor personenvervoer via drones

Personendrones kunnen als luchttaxi worden ingezet. De passagier kan zodoende files vermijden en snel op zijn bestemming arriveren. Net als in het pakketvervoer wordt er een meerprijs gerekend ten opzichte van de alternatieve modaliteit, in dit geval vooral de auto. Die meerprijs is op de korte termijn hoog, maar kan op de lange termijn dalen. Dat kan onder meer wanneer passagiers bereid zijn hun dronevlucht met anderen te delen. Het voordeel van een drone wordt relatief groter naarmate de afstand langer wordt. De veiligheid is voor personendrones nog belangrijker dan voor andere toepassingen.
Het vertrouwen van passagiers in het luchtvaartuig moet groot zijn, voordat ze erin stappen. Ook in Nederland zal er waarschijnlijk een selecte doelgroep gebruik willen en kunnen maken van personendrones.

Marktkansen vooral in pakketbezorging en personenvervoer

Marktpartijen investeren momenteel relatief veel in het pakketvervoer en het personenvervoer met drones, en relatief weinig in de luchtvracht. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in de pakketbezorging en het personenvervoer meer zekerheid is over waar de marktkansen zich voordoen.

Opkomst drones heeft gevolgen voor skyline en ruimtelijke ordening

Drones zullen moeten worden ingepast in het luchtruim. Zodoende verandert de skyline van Nederland. Ook voor de ruimtelijke ordening zijn er gevolgen. Er zullen bijvoorbeeld landingslocaties moeten worden ingericht. Vooral in stedelijk gebied is dit een uitdaging, maar mogelijk biedt de bestaande infrastructuur hiervoor kansen. Verticaal opstijgen en landen is noodzakelijk om drones te gebruiken voor transport binnen een stedelijke omgeving.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

Onbemande luchtvaartuigen, vaak kortweg aangeduid als *drones*, nemen een steeds prominentere plaats in de samenleving in. Tot voor kort werden drones vooral ingezet voor militaire doeleinden. Dit is echter veranderd door de massale verkoop van drones voor recreatief gebruik. Ook zijn er meer en meer professionele dronegebruikers. Bedrijven en overheidsinstellingen zien mogelijkheden om met drones risico's voor hun personeel te reduceren, productieprocessen te optimaliseren of nieuwe diensten aan te bieden.

Er is een aantal (Nederlandse) studies gedaan naar de toepassingsmogelijkheden van drones. Rijkswaterstaat (2015) bestudeerde bijvoorbeeld casussen waarin drones werden ingezet in het publieke domein, het Wetenschappelijk Onderzoek en Documentatiecentrum (WODC, 2015) schetste kansen en bedreigingen van drones in de publieke en private sector, met een focus op veiligheid en criminaliteit, en Van der Wal et al. (2016) verkenden toepassingen van drones in de landbouw en de natuur.

Bij veel toepassingen staat *observatie* centraal. De politie en brandweer maken bijvoorbeeld gebruik van drones bij brandbestrijding, het zoeken naar vermiste personen en het monitoren van grote evenementen. Verder voerde Rijkswaterstaat bijvoorbeeld pilots uit waarbij drones werden ingezet bij de bestrijding van gelekte olie in een rivier, de monitoring van rijgedrag op een verkeersknooppunt en de inspectie van waterkwaliteit en -veiligheid (Rijkswaterstaat, 2015).

Er bestaat consensus over de verwachting dat het gebruik van drones voor civiele toepassingen de komende jaren hard gaat stijgen (Airneth, 2016). SESAR, de organisatie die de onderzoeks- en ontwikkelingsinspanningen van EU-lidstaten op het gebied van *air traffic management* coördineert, heeft het marktpotentieel van drones geschat. SESAR (2016) verwacht dat er binnen Europa in 2050 zo´n zeven miljoen drones voor recreatieve doeleinden in gebruik zijn. Daarnaast verwacht het onder meer dat er dan in de landbouw zo'n 100.000 drones actief zijn, dat publieke diensten (zoals brandweer en politie) zo'n 50.000 drones inzetten ten behoeve van de openbare veiligheid, en dat er zo'n 100.000 drones worden ingezet voor bezorgdiensten.

Ondanks de verwachte groei zijn toepassingen in het personen- en goederenvervoer, waartoe bezorgdiensten worden gerekend, relatief onbelicht in de bestaande literatuur. Vanuit beleidsoogpunt is het relevant om kennis te nemen van de mogelijkheden die drones bieden voor vervoer. Hieruit is bijvoorbeeld af te leiden in hoeverre er kansen liggen voor het Nederlandse bedrijfsleven waarmee rekening moet worden gehouden in de regelgeving, en welke infrastructurele en ruimtelijke consequenties 'transportdrones' met zich mee brengen.

In deze studie sluit het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) aan op deze vraag vanuit het beleid en verkent het de bestaande en toekomstige mogelijkheden van onbemande luchtvaartuigen in het personen- en goederenvervoer. Het heeft daarbij als zichtjaar 2035, net als SESAR (2016).

De onderzoeksvragen zijn:
1. Welke studies naar de toepassingen van drones in het personen- en goederenvervoer zijn er en wat zijn de resultaten daarvan?
2. Wat zijn de sterke en zwakke punten van toepassing van drones in het:
   a. pakketvervoer;
   b. vrachtvervoer;
   c. personenvervoer?
3. Zijn er haalbare businesscases voor die drie dronetoepassingen? Welke wordt mogelijk het eerste realiteit?
4. Welke aanpassingen aan de ruimtelijke ordening zijn er nodig om de inzet van drones in het personen- en goederenvervoer mogelijk te maken?

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden zijn openbare bronnen geraadpleegd. Hiernaast zijn seminars en congressen bezocht om een zo actueel mogelijk beeld te krijgen van de huidige stand van zaken in de snel veranderende dronessector. Ten slotte zijn ook enkele deskundigen geraadpleegd.

1.2 Terminologie en classificering van drones

De term 'drones' verwijst in dit rapport naar onbemande luchtvaartuigen (*unmanned aerial vehicles*, UAVs). Daarmee wordt een luchtvaartuig bedoeld dat geen piloot aan boord heeft. Hieronder vallen bijvoorbeeld onbemande vliegtuigen en -helikopters, maar niet raketten en weerballonnen. Eveneens onder de term 'drones' vallen aanverwante begrippen zoals *remotely piloted aircraft system* (RPAS), *unmanned aerial system* (UAS) en *unmanned cargo aircraft* (UCA). Er is voor gekozen om de term 'drone' deze overkoepelende betekenis te geven, omdat deze goed is ingeburgerd in de samenleving (SAMR, 2016). Dit is in lijn met de keuze van bijvoorbeeld het WODC (2015).

Drones zijn er in veel verschillende vormen en maten. The Hague Security Delta (HSD, 2015) gebruikt de volgende classificering op basis van het gewicht van onbemande luchtvaartuigen:
- Klasse 1: 0 tot 150 kilo;
- Klasse 2: 150 tot 600 kilo;
- Klasse 3: vanaf 600 kilo.

Het gros van de drones valt in klasse 1. Daarbij gaat het veelal om de bekende multikopters, die slechts enkele kilogrammen wegen (zie figuur 1.1, links). Een voorbeeld van een drone in klasse 2 is de Ehang[2] personendrone. De grootste operationele drones van dit moment zijn militair, zoals de Global Hawk. Dat is een onbemand verkenningsvliegtuig van de Amerikaanse luchtmacht, met een gewicht tot wel veertien ton. Het onderscheid in deze gewichtsklassen laat zien hoe divers drones zijn.

Figuur 1.1 Voorbeelden van drones: DJI Phantom (klasse 1, links), Ehang 184 (klasse 2, midden), Northrop Grumman Global Hawk (klasse 3, rechts). Bron: DJI, Ehang en Northrop Grumman.

[2] Deze drone komt uitgebreider aan bod in paragraaf 3.3.1.

<< Terug naar inhoud

Naast onderscheid op basis van gewicht kan, voor wat betreft de techniek van het vliegen, onderscheid worden gemaakt tussen rotorvliegtuigen en multikopters enerzijds en vleugelvliegtuigen (*fixed-wing aircraft*) anderzijds. Een rotorvliegtuig is in staat om met zijn rotors verticaal op te stijgen en te landen (VTOL – *vertical take-off and landing*). Een vleugelvliegtuig kan dat niet en heeft een startbaan nodig (STOL – *short take-off and landing*). Een ander verschil ligt in de brandstofefficiëntie en de snelheid. In de horizontale vliegfase zijn de prestaties van een vleugelvliegtuig op dat vlak beter. Om die reden bestaan er zogenoemde hybride ontwerpen, die rotors met vleugels combineren. Het uitgangspunt daarbij is dat een drone verticaal landt en opstijgt, maar in de horizontale vliegfase functioneert als een vleugelvliegtuig.

Smolka (2016) laat zien dat bij de opkomst van een nieuwe industrie het aantal producenten aanvankelijk snel toeneemt. Wanneer het product is ingebed in de samenleving, komt er een dominant ontwerp dat leidt tot standaardisatie en consolidatie. De markt wordt daarna door enkele producenten beheerst en de anderen verlaten de markt. Kijkend naar de markt voor drones is het evident dat deze nog in het beginstadium van de ontwikkeling verkeert. Deze verkenning beoogt verder te kijken dan de huidige context, maar daarbij moeten de onzekerheden wel voor ogen worden gehouden. Het dominante (drone) ontwerp is nu nog niet beschikbaar.

1.3 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 gaat in op de technologische ontwikkelingen en de maatschappelijke acceptatie op het gebied van drones, en geeft daarmee de randvoorwaarden voor de verdere implementatie van drones in onze samenleving. Die randvoorwaarden gelden voor alle dronetoepassingen en zijn daarmee dus ook van belang bij de inzet van drones in het personen- en goederenvervoer. Daar waar regulering relevant is, wordt erop ingegaan. Dit betreft bijvoorbeeld de betrouwbaarheid, veiligheid en privacy van drones en hun inpassing in het luchtverkeer.

Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op dronetoepassingen in het pakketvervoer, vrachtvervoer en personenvervoer. Die onderverdeling is nuttig met het oog op verschillen in businesscases en ruimtelijke effecten die de toepassingen met zich mee brengen. De huidige stand van zaken komt aan bod, maar het hoofdstuk is vooral bedoeld om een doorkijkje te geven naar de toekomst. Per dronetoepassing ligt de nadruk op de marktkansen van het gebruik van drones in vergelijking met de bestaande (alternatieve) vormen van transport. Daarbij is ook een aantal technologische kenmerken uit hoofdstuk 2 van belang.

Hoofdstuk 4 geeft de conclusie van deze studie.

2 Randvoorwaarden ontwikkeling en implementatie van drones

Om drones toe te kunnen passen voor mobiliteitsdoeleinden moet zijn voldaan aan een aantal randvoorwaarden voor het gebruik van drones in het algemeen. SESAR (2016) noemt in dat verband technologische progressie, maatschappelijke acceptatie en regulering. Deze aspecten worden ook genoemd door de Europese Commissie (2015) in de *Riga Declaration on Remotedly Piloted Aircraft (drones)*. Als relevant voor de maatschappelijke acceptatie noemt de Europese Commissie onder meer de privacy en veiligheid van burgers, maar ook de geluidsoverlast die drones wellicht veroorzaken. Dit hoofdstuk behandelt op technisch vlak de besturing, het energieverbruik, de integratie in het luchtruim en de weersbestendigheid van drones. Als het gaat om de maatschappelijk acceptatie wordt stilgestaan bij het draagvlak in de samenleving, veiligheid en de invloed van drones in de persoonlijke leefomgeving.

2.1 Technologische ontwikkelingen

2.1.1 De besturing van drones

De volgende vier vormen van besturing van onbemande luchtvaartuigen worden onderscheiden:

- binnen het zicht van de operator (VLOS);
- buiten het zicht van de operator (BVLOS);
- voorgeprogrammeerd autonoom;
- volledig autonoom.

De minst geavanceerde vorm van de besturing van drones is wanneer de operator vanaf de grond de drone bedient en deze continu in het oog kan houden. Het luchtvaartuig bevindt zich binnen *visual line of sight* (VLOS). Hierdoor ontstaan er beperkingen aan het gebruik van de drone in termen van grootte, vliegafstand en snelheid. In Nederland geldt dat een recreatieve dronegebruiker binnen diens gezichtsveld tot maximaal 50 meter hoog en 100 meter ver mag vliegen. Bij VLOS gaat het veelal om kleine multikopters (klasse 1-drones in de classificering van HSD). Deze vorm van besturing komt nu het meest voor, zowel bij hobbymatig als bij professioneel gebruik.

De volgende vorm wordt gekenmerkt door besturing op grotere afstand en buiten het zicht van de operator (*beyond visual line of sight*, BVLOS). De drone wordt bijvoorbeeld bestuurd vanuit een centraal aanstuurpunt. Een operator kan op deze manier meerdere drones gelijktijdig bedienen. Merk op dat hier in potentie een kostenvoordeel te behalen is ten opzichte van VLOS-besturing. Er kan tot zo'n 250 kilometer afstand worden gewerkt met een directe verbinding tussen de operator en de drone, bijvoorbeeld via het 4G-netwerk. Bij een grotere afstand wordt gebruikgemaakt van een indirecte verbinding via bijvoorbeeld een satelliet. De vertraging tussen de commando's van de operator en de reactie van de drone kan oplopen tot enkele seconden (De Graaff, 2014; De Graaff, persoonlijke communicatie, 6 april 2017). BVLOS wordt op dit moment onder meer toegepast door Defensie bij de uitvoering van verkenningsvluchten met drones boven oorlogsgebieden.

De meest geavanceerde besturingsvorm is autonoom vliegen. Van autonomie is sprake wanneer een drone zonder tussenkomst van een operator een complete vlucht kan uitvoeren. Zo'n vlucht bevat allerlei complexe functies zoals vliegen, navigeren, risicosituaties vermijden en handelen in noodsituaties (De Graaff, 2014). Autonoom vliegen is vaak het einddoel van droneontwerpers. Er zijn op hoofdlijnen drie redenen om te streven naar autonoom vliegen (Scherer, 2014):

- Efficiëntie: Er worden bij andere besturingsvormen nog steeds mensen ingezet;
- Veiligheid: Veel ongelukken zijn te wijten aan menselijk handelen;
- Bereikbaarheid: De drone kan op plaatsen komen die niet zijn geprepareerd (bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een landingsbaan) voor de ontvangst van luchtvaartuigen.[3]

Bij de onbemande autonome luchtvaart kan onderscheid worden gemaakt tussen voorgeprogrammeerd en volledig autonoom vliegen. Het cruciale verschil tussen beide vormen is de aanwezigheid van zogenoemde sense-and-avoidtechnologie. Een volledig autonoom opererend luchtvaartuig kan middels sense-and-avoid andere luchtvaartuigen detecteren, maar ook risicovolle weerssituaties en andere objecten (in algemene zin ook wel *hazards* genoemd) herkennen en ontwijken. Het gebruik van sense-and-avoid zou betekenen dat de drone overal kan vliegen, afgezien van afgesloten delen van het luchtruim. Er is op dit moment echter nog geen volwaardig sense-and-avoidsysteem beschikbaar (Airbus, 2016). Volgens Sebastian Scherer[4] (persoonlijke communicatie, 14 augustus 2017) is sense-and-avoid voor kleine typen drones binnen 1-3 jaar commercieel verkrijgbaar. Voor grotere typen drones schat hij dat op 5-10 jaar. Meer over de werking en ontwikkeling van sense-and-avoid staat in Appendix A.

Een tussenvorm op weg naar volledig autonoom vliegen is voorgeprogrammeerd autonoom vliegen. Hierbij voert een operator een vluchtplan in, dat vervolgens door de drone wordt uitgevoerd. Omdat sense-and-avoid ontbreekt, geldt de impliciete aanname dat de drone geen ander luchtverkeer of *hazards* tegenkomt. Hiervan bestaan al *wel* praktijkvoorbeelden. De Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk bijvoorbeeld (zie afbeelding in figuur 1.1) is een onbemand verkenningsvliegtuig van de Amerikaanse luchtmacht. Afhankelijk van de situatie in de lucht kan een operator op de grond de besturing overnemen (BVLOS) (Northrop Grumman, z.j.). Doorgaans vliegt de Global Hawk echter dusdanig hoog dat het geen ander luchtverkeer tegenkomt.

2.1.2 Energiebronnen

Brandstof is een grote kostenpost in de luchtvaart. Doordat de zwaartekracht wordt getrotseerd, kost het vervoer per tonkilometer door de lucht meer energie dan over het land. Daarom is het van belang om nader te kijken naar de diverse energiebronnen die in gebruik zijn (of gaan worden) voor de onbemande luchtvaart. Het gaat om onder meer batterijen, fossiele brandstof, waterstof, zonne-energie en laser.

Batterijen worden vooral gebruikt om kleine typen drones aan te drijven (klasse 1, bijvoorbeeld de multikopters). Het gaat om lithium-ion-polymeer-accu's, kortweg lipo's. Een drone kan daarmee grosso modo een half uur vliegen; afhankelijk van het model drone zijn de accu's uitneembaar.

[3] Overigens geldt dit argument vooral voor rotorvliegtuigen en slechts in beperkte mate voor vleugelvliegtuigen.
[4] Sebastian Scherer is *Systems Scientist* bij het Robotics Institute van Carnegie Mellon University. Hij werkt aan de ontwikkeling van sense-and-avoidtechnologie.

Fossiele brandstof (kerosine, diesel) wordt vooral gebruikt voor grote typen drones (klasse 3, bijvoorbeeld de Global Hawk). Op dit moment zijn lipo's daarvoor namelijk niet sterk genoeg. Dat heeft te maken met de energiedichtheid. In kerosine zit 60 keer meer energie dan in een accu (Melkert, 2017). Een klasse-3-drone zal daarom heel veel accu's mee moeten nemen, wat zorgt voor extra gewicht en nog meer benodigde energie. Toch zijn er meerdere initiatieven om ook grotere luchtvaartuigen op elektriciteit te laten vliegen. Voorbeelden zijn de start-ups Zunum Aero en Wright Electric uit de Verenigde Staten, maar ook gevestigde partijen zoals Airbus zijn hiermee bezig (Melkert, 2017; Dorrestijn, 2017). Ontwikkelingen in de auto-industrie kunnen wellicht bijdragen aan de realisatie van elektrisch vliegen.

Waterstof is een gas dat veel energie bevat. Het wordt geproduceerd door water te splitsen in waterstof en zuurstof. Op dit moment zijn er enkele typen auto's die rijden op waterstof. Het is hiervoor noodzakelijk de waterstof samen te persen in stevige tanks. Maar die tanks zijn zwaar en daardoor niet erg geschikt voor de luchtvaart. Een alternatief is de waterstof te koelen tot deze vloeibaar is. Deze techniek bevindt zich nog in de ontwikkelfase. Daarom is de toepassing van waterstof in de luchtvaart op dit moment nog niet aan de orde (Hermans, 2017).

Zonne-energie kan nuttig zijn om lang in de lucht te blijven. Een voordeel van deze energiebron is namelijk dat deze niet hoeft te worden meegenomen, maar in de lucht wordt opgewekt. Een nadeel is dat er op het luchtvaartuig heel veel oppervlakte nodig is om voldoende zonnecellen te kunnen plaatsen. Dat heeft te maken met de relatief lage omzetting van zonlicht naar bruikbare energie per zonnepaneel. Het laadvermogen van drones op zonne-energie is daardoor relatief laag. Een voorbeeld van een drone op zonne-energie is de 6,8 kilo lichte AtlantikSolar (AtlantikSolar, 2015).

Laser kan ten slotte worden ingezet om drones in de lucht van stroom te voorzien. Door vanaf de grond een laserstraal naar een drone te sturen, die vervolgens wordt omgezet in elektriciteit, kan een drone zelfs oneindig in de lucht blijven. De ontwikkelaars van deze nieuwe techniek denken bijvoorbeeld aan toepassing op 'laaghangende' satellieten (LaserMotive, z.j.), maar daarnaast is een oplaadstation voor vliegende drones niet ondenkbaar.

2.1.3 De inpassing van drones in het luchtruim

Op dit moment bestaat het luchtruim uit *gecontroleerd* en *ongecontroleerd* gebied, wat betekent dat de luchtverkeersleiding er wel/niet het luchtverkeer coördineert. De gecontroleerde gebieden betreffen vooral de hogere luchtlagen en het luchtruim nabij luchthavens. Niet alle luchtruimgebruikers hebben zodoende te maken met luchtverkeersleiding. Recreatieve luchtvaartuigen maken bijvoorbeeld veel minder gebruik van gecontroleerd luchtruim.

Kleine typen drones zullen naar verwachting vooral gebruikmaken van de lagere luchtlagen en dus van het ongecontroleerde luchtruim. Om voor professionele dronegebruikers een betrouwbare, efficiënte en veilige toegang tot het luchtruim te waarborgen, is er behoefte aan een systeem dat overweg kan met grote aantallen luchtvaartuigen. SESAR (2017) heeft daarom *U-space*[5] ontwikkeld. Dat is een concept waarin de coördinatie van het luchtruim (in hoge mate) digitaal en automatisch plaatsvindt. Operators dienen een vluchtplan in, zodat bekend wordt waar hun drones zich bevinden. Het systeem coördineert vervolgens alle vluchten. Ook gebieden die (tijdelijk) niet toegankelijk zijn, worden binnen dit systeem gecommuniceerd.

Grote typen drones zullen wellicht zowel in ongecontroleerd als in gecontroleerd luchtruim willen vliegen. Om ook die te integreren zullen de luchtverkeersleiding en dronegebruikers samen een werkwijze moeten ontwikkelen. Vast staat dat technologische progressie nodig is voordat drones kunnen worden geïntegreerd in het luchtruim, ongeacht de grootte ervan.

[5] De U staat voor *urban* of *you* om aan te geven dat het ook gaat om luchtruim boven stedelijk gebied. Recreatieve drone-gebruikers zijn hiervan uitgesloten, omdat zij in de onderste luchtlaag vliegen (dus onder *U-space*).

2.1.4 Weersbestendigheid

De laatste factor waarbij technologische vooruitgang nodig wordt geacht, is het weer. Weersomstandigheden hebben vooral invloed op de prestatie van kleinere typen drones en op multikopters. Van belang zijn (NVDrones, 2016):

- Temperatuur: Op warme dagen moeten de rotors van een drone harder draaien om genoeg draagkracht te genereren, doordat de lucht dunner is. Daardoor wordt bovendien de elektronica warmer, wat een reden is om de drone langer op de grond te laten afkoelen tussen twee vluchten. Op koude dagen presteert de lipo-accu van een drone slechter. Het kan voorkomen dat deze te weinig spanning genereert, waardoor de drone überhaupt niet werkt.
- Neerslag en vocht: Drones presteren slechter in regen, sneeuw en andere vormen van neerslag, waar ze momenteel niet goed tegen kunnen. Ook in mistige omstandigheden krijgen drones te maken met vocht. Mist bemoeilijkt bovendien de visuele besturing (VLOS). Een hoge luchtvochtigheid kan ten slotte ook zorgen voor vocht op de drone.
- Wind: Hogere windsnelheden bemoeilijken de vlucht van een drone. Het vergt bijvoorbeeld meer energie om koers te houden en te manoeuvreren. Vliegen wordt afgeraden wanneer de maximale windsnelheid hoger ligt dan de topsnelheid van de drone. In zo'n situatie is er geen controle meer en dat vergroot het risico op crashes.

De genoemde weersfactoren zorgen ervoor dat de maximale vliegtijd korter wordt, of dat het simpelweg onverantwoord is om te vliegen. Ook zal tijdens het vliegen met het weer rekening moeten worden gehouden: kan de drone wel of niet over een hoog obstakel heen vliegen bijvoorbeeld? Een autonoom vliegende drone zal moeten beschikken over sensoren en over voldoende 'slimheid' om dat zelf te bepalen (Singh, zoals geciteerd in Popper, 2016).

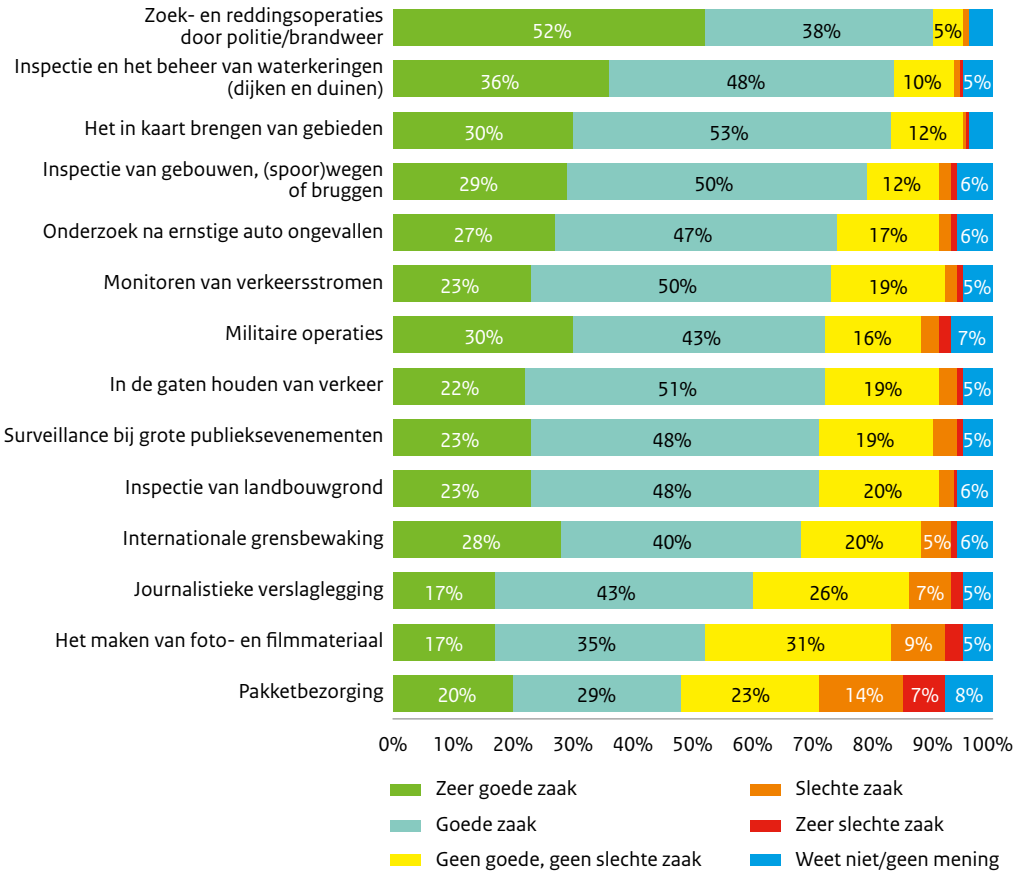
In Nederland valt ongeveer 7 procent van de tijd neerslag. Dat is over een etmaal gemeten een uur en veertig minuten (Buienalarm.nl, z.j.). In De Bilt viel in 2016 op 134 dagen ten minste 1 millimeter neerslag. Windkrachten van 4 Beaufort en hoger bemoeilijken het vliegen met multikopters al sterk. In De Bilt waren er in 2016 127 dagen waarop er gemiddeld een uur lang sprake was van ten minste 4 Beaufort (KNMI, 2017).

2.2 Maatschappelijke acceptatie

2.2.1 Draagvlak

Draagvlak in de samenleving is nodig voor een bredere implementatie van drones. In 2016 heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) onderzoek laten uitvoeren naar de bekendheid en het gebruik van drones in Nederland (SAMR, 2016). Uit de enquête (n=2026) bleek dat het draagvlak voor professionele toepassingen van drones groot is. Tussen de 50 en 90 procent van de Nederlanders vindt de voorgelegde toepassing een (zeer) goede zaak (zie figuur 2.1). Het sterkste draagvlak is er voor toepassingen met een maatschappelijk nut, zoals operaties door de politie en brandweer. Bij elk van de voorgelegde professionele toepassingen vindt een kleine minderheid het dronegebruik een (zeer) slechte zaak. Relatief de grootste weerstand is zichtbaar bij de inzet van drones voor het maken van foto- en filmmateriaal en pakketbezorging. Deze uitkomsten vertonen overeenkomsten met de uitkomsten uit een vergelijkbaar Amerikaans enquêteonderzoek (Miethe et al., 2014).

Figuur 2.1 De houding van Nederlanders ten aanzien van professionele dronetoepassingen. Bron: SAMR (2016).



Het draagvlak kan verder toenemen wanneer dronetoepassingen meer ingebed raken in de samenleving, en het nut ervan duidelijk wordt. Ongelukken en andere incidenten kunnen het draagvlak daarentegen doen verminderen. Bijna drie kwart van de Nederlanders acht bijvoorbeeld het risico op het gebruik van drones door criminelen groot. Ook het risico op een inbreuk op de privacy door particulier of professioneel gebruik beschouwt de meerderheid als groot. Al met al zijn veiligheid en de impact op de persoonlijke leefomgeving belangrijke punten van zorg bij dronegebruik (HSD, 2015).

2.2.2 Veiligheid

Veiligheid is van algemeen maatschappelijk belang, en kan daarom ook los van de maatschappelijke acceptatie van dronetoepassingen worden gezien. Desalniettemin hebben incidenten met drones naar verwachting een negatief effect op het draagvlak en het gebruik van drones. Vanuit dat perspectief is het te beschouwen als randvoorwaarde voor bredere implementatie van drones in de samenleving. Binnen 'veiligheid' kan ten slotte onderscheid worden gemaakt tussen enerzijds het onbewust veroorzaken van gevaarlijke situaties en het plaatsvinden van ongelukken, en anderzijds het bewust misbruik van drones door criminelen of terroristen.

In 2016 kreeg de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) 64 incidentmeldingen binnen over recreatieve[6] drones, tegenover 29 meldingen over incidenten met drones die beroepsmatig werden ingezet. De incidentmeldingen over recreatieve drones komen vooral uit de hoek van de grote luchtvaart, waarbij de drones dichtbij een vliegtuig kwamen. Of het gaat om een bewuste keuze van de droneoperators is niet duidelijk. Het kan ook gaan om zogenoemde *fly-aways*, waarbij de operator de controle kwijtraakt en de drone stuurloos wegvliegt. Er zijn ten slotte weinig bekende schadegevallen bij derden door dronecrashes; meestal heeft alleen de drone schade (ILT, 2017).

Wild et al. (2016) onderzochten 152 casestudies van drone-incidenten over de periode 2005-2016. Zij concluderen dat er in bijna twee derde van de gevallen een technische oorzaak aan ten grondslag ligt. Deze constatering wil overigens niet zeggen dat menselijk handelen *niet* van invloed is op drone-incidenten. Wild et al. (2016) bevelen aan dat beleidsmakers meer aandacht schenken aan de technische kant van drones, in aanvulling op de maatregelen die zijn gericht op de droneoperators.

Naast veiligheidsincidenten die per ongeluk ontstaan, identificeert The Hague Security Delta (HSD, 2015) drie veiligheidszaken waarbij drones door kwaadwillenden kunnen worden gebruikt. Ten eerste kunnen drones worden ingezet als dodelijk wapen of bij de facilitering van de inzet van dodelijke wapens. Terroristen zouden er aanslagen mee kunnen plegen. Ten tweede zijn drones te gebruiken door criminelen. Er zijn bijvoorbeeld incidenten waarbij drones worden ingezet om verboden goederen gevangenissen binnen te smokkelen. Ten derde kunnen drones worden gehackt om daarna voor malicieuze doeleinden te worden ingezet. Om de veiligheid van burgers te borgen werken diverse landen aan de ontwikkeling van een systeem dat in staat moet zijn om drones te detecteren en eventueel uit te schakelen.

2.2.3 Drones in de persoonlijke omgeving

Schending van de privacy door zowel autoriteiten als individuen baart zorgen (HSD, 2015). Drones kunnen met behulp van camera's, microfoons en sensoren voor de onderschepping van telecomverkeer, informatie opleveren over burgers en bedrijven (spionage). Maar zelfs als een drone *niet* met dergelijke sensoren is uitgerust, kan het vliegen van een drone boven mensen leiden tot een inbreuk op de privacy. Mensen kunnen immers vaak niet zien of een drone met een camera is uitgerust. Dat kan ertoe leiden dat iemand zich onder invloed van zo'n overvliegende drone toch anders gaat gedragen. Dat wordt het *chilling effect* genoemd: iemand gaat zich minder vrij gedragen dan anders het geval zou zijn (VenJ, 2015).

Op het gebied van privacy is er daarom al veel wettelijk geregeld. Het recht op bescherming van de persoonlijke levenssfeer is onder meer neergelegd in het Europees verdrag tot bescherming van de Rechten van de Mens en de Grondwet. Daarnaast is er nog bescherming via de Wet Bescherming Persoonsgegevens. Het Wetboek van Strafrecht ten slotte, verbiedt het opzettelijk fotograferen van "een persoon, aanwezig in een woning of op een andere niet voor het publiek toegankelijke plaats", en verbiedt het beschikken over een op die manier gemaakt 'beeld'.

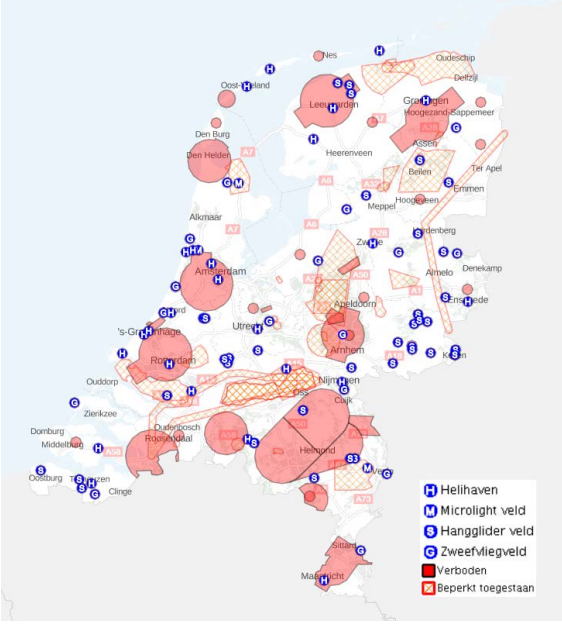
Naast privacyaspecten zijn er andere factoren die een negatief effect in de persoonlijke omgeving kunnen hebben. Het zoemende geluid[7] dat drones maken, kan bijvoorbeeld storend werken. Grotere modellen drones kunnen bovendien voor behoorlijk wat wind zorgen bij het stijgen en landen, en dat kan overlast veroorzaken.[8] Het laatste aspect is horizonvervuiling. Afhankelijk van de aantallen drones en de hoogte waarop ze vliegen, kan dit leiden tot verstoring van de leefomgeving. Als gevolg van onder meer geluids-overlast door drones is in Nederland zijn enkele Natura 2000-gebieden tot no-flyzone bestempeld, om de vogels daar te beschermen (De Jager, 2016). Figuur 2.2 laat de no-flyzones voor recreatieve drones in Nederland zien (IenM, z.j.). Overigens zijn de meeste no-flyzones ingesteld vanwege de veiligheid in de luchtvaart, en niet vanwege geluidsoverlast.

[6] Meldingen over recreatieve drones komen doorgaans van derden, zoals piloten. Meldingen over beroepsmatige drones komen doorgaans van de droneoperators zelf. Het gaat in Nederland om enkele tientallen personen en organisaties die in het bezit zijn van een ROC (RPAS Operator Certificate).

[7] De term 'drone' komt van het Engelse woord voor dar, oftewel een mannetjesbij, die een zoemend geluid maakt.

[8] Zie dit filmpje op YouTube waarin stukken gras worden weggeblazen door een kleine personendrone!

Figuur 2.2 Drones zijn lang niet overal toegestaan; de rechter figuur toont de no-flyzones voor recreatieve drones in Nederland. Bron: eigen foto (links) en IenM (z.j.) (rechts).



2.3 Conclusie

Drones kennen diverse professionele toepassingen, bijvoorbeeld in de landbouw of de publieke sector. De verwachting is dat de aantallen drones die hiervoor worden ingezet, behoorlijk toenemen in de komende jaren. Dat biedt economische en maatschappelijke kansen. Er is echter een aantal randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan alvorens een bredere implementatie van drones in de samenleving doorgang kan vinden. SESAR en de Europese Commissie noemen onder meer technologische progressie en maatschappelijke acceptatie. In dit hoofdstuk hebben we deze aspecten beschreven.

Techniek

- Autonoom vliegende drones zijn het einddoel als het gaat om de besturing. Hoewel autonome besturing niet voor alle nuttige toepassingen noodzakelijk is, zit er wel een aantal voordelen aan. Er hoeft bijvoorbeeld geen mens aan te pas te komen, wat scheelt in de kosten. Voor de realisatie van autonome besturing is de ontwikkeling van sense-and-avoidtechnologie noodzakelijk, wat nog een aantal jaar in beslag neemt.
- Op het gebied van energie zijn verbeteringen nodig, omdat de payload-range-combinatie van drones op dit moment beperkt is. Lipo-accu's zijn nog niet krachtig genoeg voor zwaardere ladingen en/of langere vluchten. Maar verbeteringen zijn wel waarschijnlijk. Afgezien van het gebruik van fossiele brandstoffen zijn alternatieve energiebronnen nog niet ver genoeg ontwikkeld om op grote schaal toegepast te worden.
- Als drones breed toepassingen vinden, wordt het drukker in het luchtruim. In de lagere luchtlagen zullen operators of autonoom vliegende drones moeten weten waar andere drones in hun omgeving zich bevinden, en zullen ze objecten op hun vliegroute moeten kunnen detecteren. In de hogere luchtlagen zullen drones moeten worden geïntegreerd in het luchtverkeersmanagementsysteem van de bemande luchtvaart.
- Kleine typen drones zijn momenteel te weinig weersbestendig om structureel inzetbaar te zijn. Professionele toepassingen vereisen een hoge mate van betrouwbaarheid en inzetbaarheid.

Maatschappelijke acceptatie

- Er lijkt op dit moment voldoende *draagvlak* in de samenleving voor uitbreiding van het aantal dronetoepassingen. De vraag is echter hoe wordt gereageerd op incidenten, zoals de inzet van drones door criminelen of terroristen, en crashes waarbij drones betrokken zijn.
- Het is noodzakelijk dat drones veilig en *betrouwbaar* zijn om ongelukken te voorkomen. Hier kunnen technische verbeteringen aan bijdragen, bijvoorbeeld als het gaat om de stabiliteit van de verbinding tussen de drone en de operator. Eveneens is het van belang dat operators hun drone goed leren besturen.
- Criminelen en terroristen kunnen drones inzetten voor hun malicieuze doelen. Het is daarom nodig dat er adequate anti-dronemaatregelen worden genomen om drones waar een dreiging vanuit gaat, te kunnen neutraliseren. Publieke organisaties zoals de politie zijn hiermee aan de slag.
- De hinder van drones in de persoonlijke leefomgeving ten slotte moet beperkt blijven. De privacy van burgers moet bijvoorbeeld zijn gewaarborgd, en dat op geloofwaardige wijze, om het *chilling effect* te voorkomen.

Op alle genoemde randvoorwaarden leveren publieke en private instellingen werk. Zo ontwikkelt de techniek zich snel: de energiedichtheid van batterijen neemt toe, sensoren worden lichter en de software wordt beter. Zodoende verbetert de verhouding tussen kosten en prestatie, waardoor meer dronetoepassingen technisch mogelijk en economisch rendabel worden.

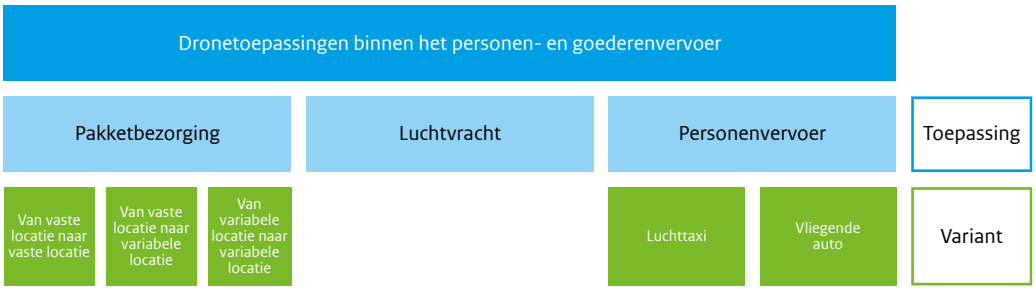
Al met al zijn de randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan voordat drones op grote schaal in het personen- en goederenvervoer kunnen worden ingezet, generiek van aard. Het niet voldoen aan de randvoorwaarden is daarmee ook een bedreiging voor de marktkansen van ‘mobiliteitsdrones’.
Het volgende hoofdstuk gaat in op die marktkansen.

3

Toepassingen en marktkansen van drones binnen het personen- en goederenvervoer

Dit hoofdstuk gaat over de toepassingen van drones in het personen- en goederenvervoer. Er wordt onderscheid gemaakt in drie dronetoepassingen: pakketvervoer, vrachtvervoer en personenvervoer. Binnen die toepassingen zijn nog enkele varianten mogelijk (zie figuur 3.1). Deze clustering is nuttig met het oog op verschillen in de businesscases en de ruimtelijke effecten die de dronetoepassingen met zich mee brengen. De huidige stand van zaken komt aan bod en er wordt een doorkijkje gegeven naar de toekomst.[9] Per variant wordt ingegaan op de marktkansen die de variant heeft. Het marktpotentieel voor commercieel dronegebruik moet groot genoeg zijn, wil de toepassing geïmplementeerd worden. De baten moeten groter zijn dan de kosten, en dat saldo moet groter zijn dan het baten-kostensaldo van de bestaande (alternatieve) vormen van transport.

Figuur 3.1 Schematisch overzicht van dronetoepassingen binnen het personen- en goederenvervoer



[9] Er komen in dat kader veel concepten en prototypen naar voren, maar dit is logischerwijs geen compleet overzicht van deze snel veranderende sector.

3.1 Pakketbezorging

3.1.1 Varianten

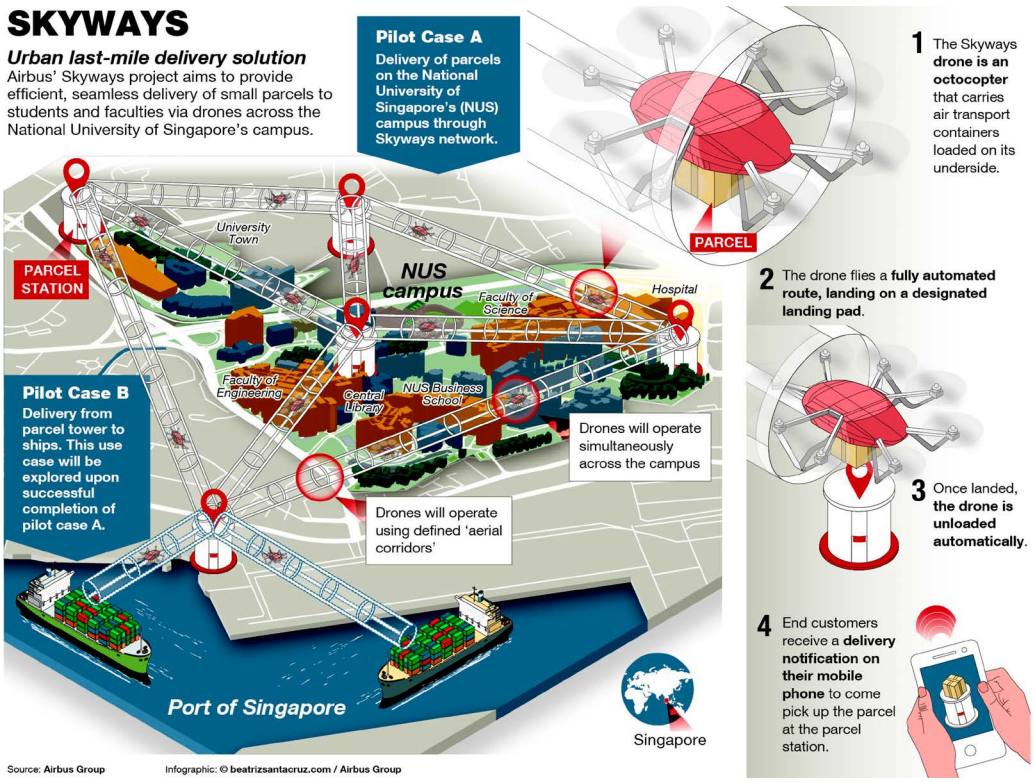
Van de drie dronetoepassingen in het verkeer en vervoer is pakketbezorging het verst qua ontwikkeling. Er zijn al enkele praktijkvoorbeelden bekend, vaak te kwalificeren als *proof of concept*. Het gaat daarbij hoofdzakelijk om klasse 1-rotorvliegtuigen/-multikopters met een maximale belading (*payload*) van enkele kilogrammen en een vliegduur van maximaal 30 minuten. Dit betreft bijvoorbeeld *last mile delivery*. Er wordt veel geïnvesteerd in deze toepassing, door zowel dronebouwers als pakketvervoerders en vaak in een samenwerkingsverband.

Er kunnen grofweg *drie varianten* worden onderscheiden: variant *A* betreft pakketbezorging vanuit een vaste locatie naar een vaste locatie, variant *B* pakketbezorging vanuit een vaste locatie naar een variabele locatie, en variant *C* pakketbezorging vanuit een variabele locatie naar een variabele locatie. Dit onderscheid is gemaakt om de veelheid aan concepten en initiatieven te kunnen clusteren. Tevens kunnen de achterliggende businesscases, de ruimtelijke implicaties en de regelgeving verschillen. Een luchtvaartautoriteit hoeft bijvoorbeeld bij A maar voor specifieke routes toestemming te verlenen, terwijl er voor B en C een vergunning voor een gebied moet worden afgegeven.

Pakketbezorging van een vaste locatie naar een vaste locatie (variant *A*) is het eenvoudigst. De vlucht van de drone is telkens hetzelfde. DHL was hiermee in 2014 de eerste toen het begon met de levering van medicijnen aan het Duitse Waddeneiland Juist (DHL, 2014). De drone vliegt daar tussen twee geprepareerde landingslocaties; een DHL-bezorger levert het pakket bij de consument af zodra het op het eiland is aangekomen. Een recent initiatief is de samenwerking tussen Swiss Post en dronebouwer Matternet in Lugano, Zwitserland (Glaser, 2017a). Daar wordt een drone ingezet voor de levering van pakketten tussen twee ziekenhuizen. Het personeel van de ziekenhuizen belaadt de drones en stuurt ze op weg via een app. In tegenstelling tot de bezorging op een Waddeneiland vliegen deze drones over stedelijk gebied. Een derde voorbeeld is het Skyways-project van Airbus. In samenwerking met SingPost gaat Airbus vanaf half 2017 pakketten bezorgen op de campus van de National University van Singapore ("SingPost becomes (...)", 2017). Ook hier gaat het om een proef boven stedelijk gebied. Figuur 3.2 laat zien dat de 'campustoepassing' Skyways een stelsel is van vaste vliegroutes (Airbus, 2016).

Een voordeel van deze variant is dat autonoom vliegen technisch relatief eenvoudig te realiseren is. Wanneer de drone geen andere objecten in de lucht tegenkomt, dan is sense-and-avoidtechnologie niet per se nodig. Op industriegebieden valt dat te verwezenlijken door het gebied te bestempelen als no-flyzone voor andere drones. Autonoom vliegen scheelt arbeidskosten.

Figuur 3.2 Infographic van het Skyways-project van Airbus. Bron: Airbus.



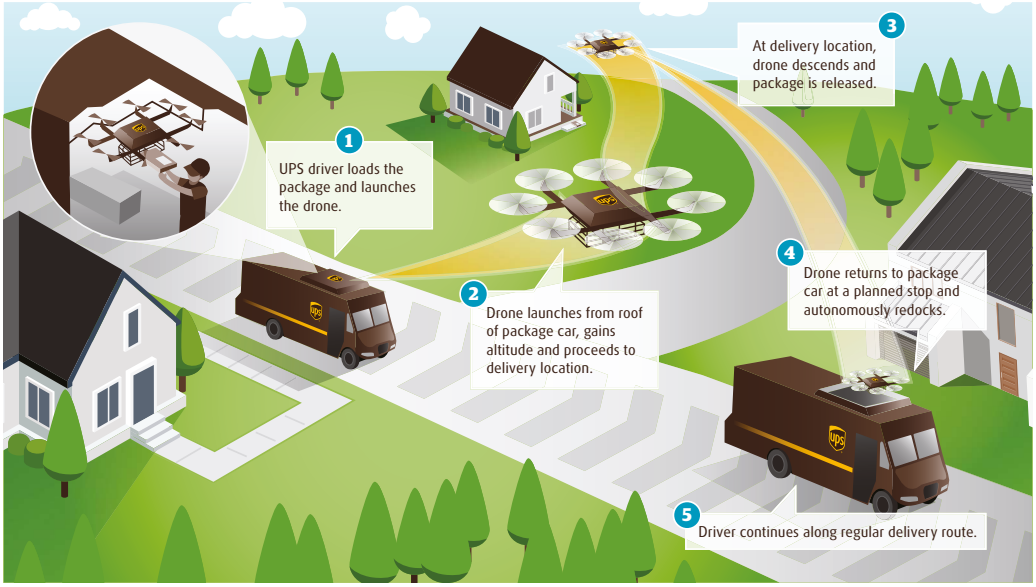
In variant B worden pakketten geleverd vanuit een vaste locatie naar een variabele locatie, bijvoorbeeld vanuit een distributiecentrum naar het huis van consumenten. Amazon (2016) ontwikkelt een dienst waarbij pakketten binnen een half uur worden bezorgd. Hiervoor loopt een pilot in het Verenigd Koninkrijk. De bezorging vindt daar plaats in de tuin van consumenten. Overigens bestaan er alternatieven voor het lossen van pakketten. Het Estse bedrijf CleverOn bouwt een speciale zuil waarin drones hun pakket kunnen lossen; de consument kan zijn pakket daaruit oppikken.[10]

Een Nederlands voorbeeld van deze variant is de zogenoemde 'ambulancedrone'. Deze drone, ontwikkeld door een student van de TU Delft in 2014, is uitgerust met een defibrillator (AED) die wordt gebruikt om mensen met een hartstilstand te reanimeren. De stichting Hart voor Oss wil deze drones inzetten binnen de gemeente Oss, te beginnen met een pilot in 2017 ("Hart van Oss (...)", 2016).

Variant C ten slotte gaat uit van een variabele aankomst- en vertreklocatie van de drones. Amazon heeft bijvoorbeeld een vliegend distributiecentrum gepatenteerd van waaruit drones producten kunnen bezorgen. De luchtschepen in de vorm van een zeppelin kunnen tot een hoogte van 14 kilometer vliegen (Kharpal, 2016). Een ander voorbeeld is UPS, dat werkt aan een systeem waarbij drones opstijgen vanaf een UPS-bestelbus; zie figuur 3.3 (UPS, 2017). Op die manier kan de drone een pakket afleveren terwijl de koerier verder rijdt. De drone komt na aflevering van het pakket terug naar de bestelbus, dus op een nieuwe locatie. Mercedes en Matternet werken aan een vergelijkbaar ontwerp (Mercedes-Benz, 2016).

[10] Zie YouTube voor een impressie hiervan. Dit concept is ook toepasbaar in stedelijke gebieden.

Figuur 3.3 Infographic van de dronetoepassing van UPS. Bron: UPS.



3.1.2 Marktkansen

Er wordt verschillend gedacht over de marktkansen van drones in het pakketbezorgingssegment. SESAR (2016) verwacht dat hiervoor binnen Europa in 2035 zo'n 70.000 en in 2050 zo'n 95.000 drones worden ingezet. Zij zien vooral kansen voor spoedleveringen waarvoor consumenten en bedrijven bereid zijn meer te betalen. Dit geldt met name in de (dichtbevolkte) suburbane gebieden. Buiten het *premium*segment ziet SESAR geen realistische businesscases. Gartner (2017) stelt dat het rendement van bezorgdrones nog niet is bewezen, en verwacht daarom dat dit een nichemarkt blijft vergeleken met andere commerciële toepassingen van multikopterdrones. Gartner ziet wel kansen voor campustoepassingen binnen hetzelfde bedrijf.

Is pakketbezorging een kansrijke toepassing van drones? De baten ervan zullen groter moeten zijn dan de kosten, en dat saldo moet groter zijn dan het baten-kostensaldo van de bestaande (alternatieve) vormen van transport, in dit geval vooral de bestelbus.

Snelheid is het belangrijkste voordeel van pakketbezorging met drones. De *baten* van de snelle levering van een AED voor iemand met een hartstilstand zijn natuurlijk ontzettend groot. Voor iemand die ergens in een park zit en trek heeft in pizza, is snelle levering van minder belang, maar desalniettemin kan er betalingsbereidheid voor zijn. Ook voor bedrijven kunnen de baten van snelle bezorging heel hoog zijn, bijvoorbeeld wanneer er op een groot industrieterrein snel gereedschap en reserveonderdelen moeten worden geleverd. In dat geval ontstaan de baten uit een verlaging van de huidige kosten.

Er bestaan enkele grove schattingen van de *kosten* van pakketbezorging met drones. Keeney (2015) nam Amazon Prime Air (variant B) als uitgangspunt en schatte dat één levering per drone (lading <2,5 kilo, afstand max. 15 kilometer) ongeveer 1 dollar zal kosten. Lewis (2014) deed hetzelfde en kwam beduidend hoger uit met een bandbreedte van 10-17 dollar. De berekeningen laten zien dat een groot deel van de kosten variabel is, en dat ze proportioneel meebewegen met het aantal drones dat moet worden ingezet. De aannames over de variabele kosten in beide berekeningen zijn hierdoor natuurlijk cruciaal.

In Appendix B wordt de gevoeligheid van de kostprijs per vlucht onderzocht voor diverse veronderstellingen. Vooral de veronderstellingen over de frequentie waarmee drones vliegen en over het aantal

drones dat een enkele operator kan bedienen[11], hebben grote invloed op de kosten per vlucht. Bovendien maken veronderstellingen omtrent de prijs van drones en de bezetting van de capaciteit aan drones en operators uit voor de kosten per vlucht. Energiekosten zijn daarentegen gering. Aannames over de omvang van de markt die in aanmerking komt voor vervoer per drone (op basis van het gewicht van het pakket en de afstand tot het distributiecentrum), hebben weinig impact op de kosten per vlucht boven een minimale schaal, waardoor een efficiënte inzet van drones en operators blijft gewaarborgd. Uit de appendix blijkt dat zolang droneoperators vluchten moeten monitoren en zich daarbij wel verdere technische ontwikkelingen (met name sense-and-avoid) en prijsdalingen voordoen, een realistische waarde voor de kosten per vlucht eerder ligt rond 5 dollar dan rond 1 dollar per vlucht. Bij de huidige één-op-éénbesturing van de drone door de operator kost het al gauw 25 dollar per bezorging. De huidige bezorgkosten per bestelbus liggen voor Amazon tussen 2 en 8 dollar (Lewis, 2014).

Een praktijkindicatie van de kosten van de bezorging met drones komt van Matternet. Zij bezorgden medicijnen in Haïti nadat een aardbeving daar veel wegen onbruikbaar had gemaakt. Volgens CEO Andreas Raptopoulos (2013) kostte een vlucht (lading 2 kilo, afstand 10 kilometer) gemiddeld 24 cent; zie tabel 3.1. Arbeidskosten zijn hierin niet opgenomen, omdat de drone autonoom naar geprepareerde landingszones vloog. Energiekosten zijn opnieuw laag. Matternet beoogt in ontwikkelingslanden een netwerk van drones op te zetten die vliegen tussen vaste grondstations (variant *A*).

Tabel 3.1 Matternet's variabele kosten van een dronevlucht. Bron: Raptopoulos (2013).

Voertuig	3 cent
Batterij	9 cent
Basisstation	10 cent
Energie	2 cent
Totaal	**24 cent**

In de wetenschappelijke literatuur zijn ook enkele relevante artikelen verschenen. Haidari et al. (2016) vergelijken op basis van een modelsimulatie de bezorgkosten van een truck ten opzichte van die van drones. De casus betrof de bezorging van vaccinaties in Mozambique. Zij concludeerden dat de implementatie van drones kan leiden tot een verlaging van de bezorgkosten (per vaccinatie) en een hogere beschikbaarheid van de vaccinaties. Belangrijke factoren achter de kostenverlaging zijn onder meer de lage snelheid waarmee trucks zich verplaatsen (als gevolg van de slechte wegkwaliteit in Mozambique) en de bevolkingsdichtheid (drones presteren beter in dunbevolkte gebieden). Ten slotte was het van belang dat een drone genoeg vluchten kon maken om de kapitaalkosten van de investering in het dronessysteem terug te verdienen.

Goodchild en Toy (ter perse) vergelijken de CO_2-uitstoot van een drone[12] met die van een bestelbus, waarbij een centraal gelegen distributiecentrum wordt verondersteld. Hun conclusie is dat een drone efficiënter is voor nabijgelegen routes en routes met een lage routedichtheid, terwijl een bestelbus efficiënt is bij verafgelegen routes en routes met een hoge routedichtheid. Er is sprake van een hoge routedichtheid wanneer er veel stops in elkaars nabijheid liggen en/of er veel pakketten per stop worden

[11] Zowel Keeney als Lewis veronderstellen dat er een operator nodig is om pakketbezorging met drones te realiseren. De veronderstellingen daaromtrent liggen erg uit elkaar, wat een verklaring is voor het grote verschil in kosten per vlucht. Lewis veronderstelt BVLOS, waarbij een operator één drone bedient. Keeney gaat daarentegen uit van 10-12 drones per operator, waarbij de drones ook nog eens buitengewoon efficiënt worden ingezet met voor elke drone structureel 30 vluchten van een half uur per dag. Zo'n hoog aantal drones per operator veronderstelt een hoge mate van autonomie van een drone, inclusief sense-and-avoidtechnologie.

[12] Overigens stoot een drone geen CO_2 uit. Daarom berekenen Goodchild en Toy (ter perse) de CO_2-uitstoot van de opwekking van elektriciteit in een energiecentrale. Daarbij houden ze rekening met energieverlies bij de overdracht van de centrale naar het stroomnet en van het stroomnet naar de accu van de drone.

bezorgd. De verklaring is dat drones veel meer kilometers (op en neer naar het distributiecentrum) moeten vliegen dan bestelbussen moeten rijden op verafgelegen routes en routes met een hoge routedichtheid.

3.1.3 Conclusie pakketbezorging

Er bestaan verschillende toepassingsvarianten van bezorgdrones, en hierin wordt door diverse (grote) marktpartijen geïnvesteerd. De verschillen in toepassingsvarianten hangen samen met de verschillende marktkansen. Die zijn er in dronegebruik als aanvulling op de bezorging met een bestelbus, in de zogenoemde campustoepassing en in het premiumsegment van de e-commerce. Deze marktkansen bestaan ook in Nederland.

Uit de literatuur komt ten eerste naar voren dat routedichtheid erg belangrijk is in de vergelijking tussen (een netwerk van) drones en bezorging met een bestelbus, wat de voornaamste bestaande concurrent is van bezorgdrones. Bij een hoge routedichtheid zijn de bezorgkosten per pakket relatief laag bij het gebruik van een bestelbus. Ten tweede is de afstand tussen het distributiecentrum en het bezorgadres van belang. Routedichtheidsvoordelen van een bestelbus worden versterkt wanneer de bezorgadressen verder weg liggen van het distributiecentrum. Ten derde is het van belang dat de investeringskosten voor het opzetten en onderhouden van een dronesnetwerk over voldoende dronevluchten kan worden gespreid. De bezettingsgraad moet dus voldoende groot zijn.

De varianten die door de diverse marktpartijen worden uitgewerkt, kunnen worden getoetst aan deze algemene principes. UPS blijkt met de inzet van drones in rurale gebieden, waarbij de drone vanaf het dak van de bestelbus vertrekt, in overeenstemming te handelen met het routedichtheidsprincipe.
In rurale gebieden is de routedichtheid relatief laag en kan een drone zorgen voor lagere kosten.
De bestelbus fungeert in wezen als een mobiel distributiecentrum en de drone vliegt daardoor relatief korte afstanden.

Aan een campustoepassing, met als kenmerk de vaste routes, ligt eveneens een kostenbesparing ten grondslag. Op een campus zijn de af te leggen afstanden relatief kort. Een voordeel van deze toepassing is bovendien dat autonoom vliegen technisch relatief eenvoudig te realiseren is, wat een besparing op de arbeidskosten oplevert. Door drones toe te passen op bijvoorbeeld een industriële campus kan adequaat worden gereageerd op een oproep voor benodigde reserveonderdelen, waardoor productieprocessen kunnen blijven draaien. Toepassing van deze variant is ten slotte ook goed denkbaar op universiteiten en bedrijventerreinen in Nederland. De stap om dit in praktijk te brengen is relatief klein, omdat de locatie van het routenetwerk vast ligt en er gericht een vergunning kan worden verleend.

Bediening van het premiumsegment van de e-commerce wordt beoogd door onder meer Amazon, dat pakketten per drone rechtstreeks vanuit vaste distributiecentra wil afleveren bij de consument. Daarbij wordt het voordeel van routedichtheid niet benut. Het is aannemelijk dat daardoor (zeker op korte en middellange termijn) de kosten van bezorging met drones niet onder het kostenniveau van een bestelbus komen te liggen (zie Appendix B). Wel kunnen er extra inkomsten worden gegenereerd. De betalingsbereidheid van klanten voor een snelle levering met een drone (mogelijk al binnen een half uur) is daarbij cruciaal.

Bij het bedienen van het premiumsegment is een sterke marktsegregatiestrategie van groot belang: welk deel van de markt komt in aanmerking voor spoedbezorging met drones? Een koeriersdienst of webwinkel zal veel distributiecentra moeten gebruiken om de afstand tussen drone en afleveradres beperkt te houden. Hiervoor zullen zij gebieden selecteren waarin zij verwachten veel potentiële klanten aan te kunnen trekken. Eenuursleveringen worden door Amazon in het Verenigd Koninkrijk rondom 'slechts' negen grote steden aangeboden. Gegeven de benodigde (grote) marktomvang in de nabijheid van een distributiecentrum, komen in Nederland primair de grote steden in aanmerking. Volgens SESAR (2016) gaat het ten slotte om 1-1,5 procent van de pakketmarkt in Europa (ongeveer 85 miljoen pakketten) dat binnen het premiumsegment valt en voldoende nabij een distributiecentrum ligt.

Naast de theoretische mogelijkheden om kosten te besparen of extra inkomsten te genereren, is de praktische uitvoerbaarheid van iedere variant van belang. De vraag is bijvoorbeeld of het mogelijk is om op ieder adres te bezorgen met een drone. In een stedelijke omgeving, en zeker wanneer het appartementen betreft, zijn consumenten niet vanzelfsprekend in staat om het pakket in ontvangst te nemen. Er zal dan een aanvullende dienst moeten worden geboden, zoals de speciale zuilen van CleverOn, waarin drones hun pakket kunnen lossen en consumenten dat pakket kunnen afhalen. Dat heeft ruimtelijke implicaties; die zuilen zullen immers moeten worden geplaatst. In een stedelijke omgeving is de openbare ruimte echter schaars; die zal moeten worden gedeeld met andere functionaliteiten (parkeren, afvalcollecte, enzovoort). In rurale gebieden is het aannemelijker dat een pakket direct bij consumenten (in de tuin) kan worden geleverd. Op industrieterreinen en andere campussen kan een landingslocatie worden geprepareerd voor drones.

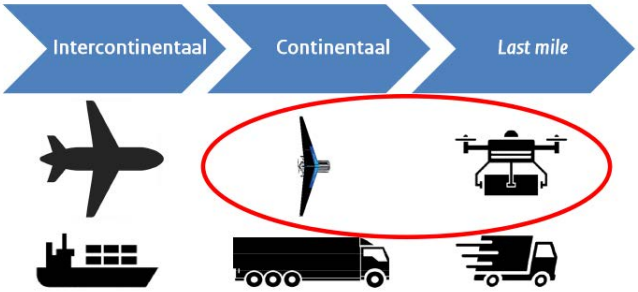
Een factor uit hoofdstuk 2 die niet te onderschatten is, zijn de weersomstandigheden. Temperatuur, neerslag en wind hebben grote effecten op kleine bezorgdrones. Dit verlaagt hun inzetbaarheid. Wanneer er minder dronevluchten worden uitgevoerd, zijn de kosten per vlucht hoger. Bij een campustoepassing of de variant waarbij de combinatie met de bestelbus wordt benut, zorgt de lagere inzetbaarheid er dan voor dat het beoogde kostenvoordeel niet kan worden gerealiseerd. Bij bediening van het premiumsegment bestaat het (grote) risico dat drones niet betrouwbaar genoeg zijn. De beoogde doelgroep die bereid is te betalen voor zekerheid en snelheid, verwacht een betrouwbare dienstverlening; weersomstandigheden kunnen ervoor zorgen dat dit businessmodel ‘door het ijs zakt’.

3.2 Onbemande luchtvracht

3.2.1 Varianten

De tweede dronetoepassing is in de onbemande luchtvracht. In tegenstelling tot de drones die voor pakketbezorging worden ingezet, gaat het hier om grotere luchtvaartuigen. Er worden zowel rotorvliegtuigen als vleugelvliegtuigen ontworpen voor onbemand luchtvrachtvervoer. Het laadvermogen en het bereik daarvan zijn beduidend groter dan van bezorgdrones en er zijn ook meer *combinaties* van belading en bereik denkbaar. Het gaat niet meer om *last mile*-vervoer, maar eerder om continentaal vervoer; zie figuur 3.4. Vanwege de diversiteit binnen deze toepassing leent luchtvracht zich niet voor een onderscheid in aanwijsbare varianten.

Figuur 3.4 Drones in het goederenvervoer (rood omlijnd) en hun tegenhanger per marktsegment. Bron: Pizarro (2017).



Er zijn weinig voorbeelden van onbemande luchtvrachtsystemen bekend. De Kaman K-MAX-helikopter, de UMS Skeldar V-200-minihelikopter[13] en het amfibievliegtuig FLYOX zijn al op de markt beschikbaar. Voorbeelden van organisaties die nog in de ontwikkelfase van hun onbemande luchtvrachtsysteem zitten, zijn Dronamics, Romaeris en Wings for Aid.

[13] Voorheen Saab Skeldar.

De K-MAX is een vrachthelikopter met een maximale belading van 2.700 kilo en een bereik van 400 kilometer bij volledige belading (1.800 kilometer zonder belading). De onbemande versie is afgeleid van de bemande versie. De bemande versie is veruit het meest in gebruik, bijvoorbeeld in de bouw, maar ook bij reddingsacties en brandbestrijding. De onbemande versie is door het Amerikaanse leger ingezet tijdens de oorlog in Afghanistan. Het grote voordeel daarbij was dat er in gevaarlijke situaties goederen konden worden geleverd zonder dat er mensenlevens op het spel stonden (Kaman, z.j.).

De V-200 is een VTOL-drone in de vorm van een helikopter, met een maximale belading van 40 kilo en een bereik van 90 kilometer. De V-200 wordt onder meer ingezet bij de bekabeling van bovengrondse elektriciteitsnetwerken en bij de (spoed)levering van goederen (bijvoorbeeld reserveonderdelen). Daarbij vervangt hij bemande helikopters, waardoor dit werk goedkoper, veiliger en in slechtere weersomstandigheden kan plaatsvinden. UMS Skeldar voert praktijktesten uit met een autonome versie van de V-200, maar normaliter wordt de drone BVLOS bediend (Willems, 2017).

De FLYOX (zie figuur 3.5) is een onbemand vliegtuig dat kan landen en opstijgen vanaf het water. Het heeft een maximale belading van ruim 1.850 kilo en een bereik van bijna 500 kilometer bij volledige belading (5.000 kilometer zonder belading). Het vliegtuig wordt bijvoorbeeld ingezet bij brandbestrijding. Bijzonder eraan is dat het toestel als bouwpakket in en uit elkaar is te halen (Singular Aircraft, z.j.). Met dit toestel wil het Platform Unmanned Cargo Aircraft (PUCA)[14] in samenwerking met de Hogeschool van Amsterdam, de Universiteit Twente, DARPAS en het ministerie van Infrastructuur en Milieu de eerste internationale vlucht met een onbemand vrachttoestel maken in Nederland. Die moet plaatsvinden tussen Weeze (Duitsland) en Enschede (De Boer, 2017).

Een voorbeeld van een start-up in de onbemande luchtvracht is Dronamics[15] uit Bulgarije. Zij werken aan een drone met een belading van maximaal 350 kilo en een bereik van 2.500 kilometer. Het gaat om een vleugelvliegtuig met verbrandingsmotor en BVLOS-besturing. Dronamics mikt op markten waar ze dit toestel als dienst kunnen aanbieden, in plaats van het te verkopen aan klanten (*mobility-as-a-service*). Het grootste marktpotentieel ligt volgens hen in ontwikkelingslanden, met name vanwege de grote afstanden en de kleine hoeveelheden cargo. Daarbij valt te denken aan pakketvervoer (e-commerce) en versproducten, vanwege de hoge tijdgevoeligheid en bederfelijkheid (Rangelov, 2015).

Het Canadese Romaeris ontwerpt een drone met een maximale belading van 250 kilo en een bereik van 1.800 kilometer (zie figuur 3.5). Het gaat hier eveneens om een vleugelvliegtuig met verbrandingsmotor en BVLOS-besturing. De drone is in eerste instantie bedoeld om afgelegen gemeenschappen in Canada te voorzien van alledaagse benodigdheden, zoals voedsel. De prijzen daarvan zijn erg hoog als gevolg van de hoge vervoerskosten. De drone moet kunnen landen en opstijgen vanaf ongeprepareerde landingslocaties (Pizarro, 2017).

Het laatste voorbeeld is Wings for Aid, een niet-commercieel Nederlands initiatief. Wings for Aid wil goederen leveren in rampgebieden. Het gaat daarbij om de levering vanuit een magazijn in de omgeving van de ramp, naar de mensen in nood. In rampgebieden is de bestaande infrastructuur mogelijk onbruikbaar en luchtvracht biedt dan uitkomst. Onbemande vrachtvliegtuigen zouden in het Wings for Aid-concept de goederen middels parachutes kunnen lossen (Koperberg, 2016).

[14] PUCA is een organisatie die de ontwikkeling van onbemande vrachtvliegtuigen stimuleert.
[15] Dronamics is winnaar van een wedstrijd voor start-ups (het Pioneers Festival met deelname van 1.600 start-ups uit 98 landen). Een van de oprichters heeft gestudeerd aan de TU Delft; hun pitch staat op YouTube.

Figuur 3.5 Het amfibievliegtuig FLYOX I (links) en het prototype luchtvrachtdrone van Romaeris (rechts). Bron: Singular Aircraft en Romaeris.

3.2.2 Marktkansen

De verscheidenheid van de varianten maakt het moeilijk om marktkansen aan te wijzen. Een drone zoals de UMS Skeldar V-200 kan worden gebruikt voor goederenvervoer, maar ook als aanvulling op een hijskraan op een bouwplaats. Toch zullen, net als bij pakketbezorging, de baten van onbemande luchtvrachtsystemen groter moeten zijn dan de kosten, en moet dat saldo groter zijn dan het kosten-batensaldo van bestaande alternatieven. Het feit dat er slechts enkele voorbeelden te vinden zijn van onbemande luchtvrachtsystemen kan betekenen dat er op dit moment niet vaak aan deze voorwaarden wordt voldaan. SESAR (2016) verwacht dat de markt voor onbemand luchtvrachttransport in Europa beperkt blijft tot minder dan 1.000 toestellen.

Heerkens (2017) constateert dat bij de ontwikkeling van onbemande vrachtvliegtuigen het wel lijkt alsof "iedereen op iedereen wacht". Daarmee geeft hij aan dat verladers en luchtvaartmaatschappijen pas beslissen over de exploitatie van onbemande luchtvrachtsystemen als ze uitontwikkeld zijn. Fabrikanten willen daarentegen eerst zekerheid over de omvang van de marktvraag voordat ze zich committeren aan de ontwikkeling ervan.

Luchtvracht vertegenwoordigt ongeveer 1 procent van het jaarlijkse mondiale vracht*volume*, maar 35 procent van de mondiale *waarde* van vracht. Luchtvracht wordt doorgaans geprefereerd voor goederen van hoge waarde (bijvoorbeeld machineonderdelen), tijdgevoeligheid (bijvoorbeeld mode) en bederfelijkheid (bijvoorbeeld bloemen). Ruim de helft van de luchtvracht wordt verscheept met *full freighters*, de rest met combivliegtuigen of passagiersvliegtuigen (als *belly freight*) (Boeing, 2016). Dat betekent dat luchtvracht enkel mogelijk is wanneer de vraag op een route voldoende is om er een groot passagiers- of vrachtvliegtuig in te zetten. De combinatie met passagiersvervoer zorgt voor lage marginale kosten voor vrachtvervoer dat in het ruim kan worden vervoerd ("Is there a future (...)", 2016).

Gegeven deze achtergrond heeft PUCA (z.j.) een aantal (design)aspecten geïdentificeerd waaruit (kosten) voordelen voor *unmanned* luchtvracht ten opzichte van de gangbare luchtvracht spreken:

- Er is geen drukcabine nodig, waardoor het vliegtuig niet meer rond van vorm hoeft te zijn. De aerodynamica kan worden verbeterd, wat leidt tot een lager brandstofverbruik.
- Er hoeft vanuit het oogpunt van arbeidstijden geen rekening meer te worden gehouden met de duur van de vlucht. De snelheid van het vliegtuig kan daardoor worden geoptimaliseerd naar brandstofefficiëntie.
- Er wordt vanwege de beoogde besturing via BVLOS veel bespaard op arbeidskosten, doordat één operator meerdere onbemande vrachtvliegtuigen bedient.
- Er kan gebruik worden gemaakt van kleinere (goedkopere) luchthavens vanwege de kortere benodigde landingsbaan. Ook komen meer bestemmingen in aanmerking.

Naast het reduceren van de kosten is het van belang om kansrijke markten (de baten) te identificeren. PUCA[16] (z.j.) stelt dat het gaat om routes waarop de waarde van de vracht hoog is, het vrachtvolume laag is (zogenoemde 'dunne' routes) en er geen alternatieve directe luchtverbinding beschikbaar is. Ook de

[16] Op basis van onderzoek van onder andere Hoeben, J.S.F. (2014) *A value analysis of unmanned aircraft operations for the transport of high time - value cargo* en Prent, S. (2013) *De markt voor onbemande vrachtvliegtuigen*.

afwezigheid van fysieke infrastructuur, zoals (spoor)wegen naar een luchthaven, maken onbemande luchtvaart aantrekkelijk.

Binnen een dergelijke context gaat het niet zozeer om concurrentie met of vervanging van bestaande luchtvrachtstromen, maar vooral om het aanboren van nieuwe markten. Van Groningen (2017) laat in een scenarioanalyse bijvoorbeeld zien dat op de route Ürümqi (in het binnenland van China) - Stuttgart, waarop nu geen verbinding bestaat, een onbemand vrachtvliegtuig minder kost dan bemand luchtvervoer en zeevervoer. Dezelfde conclusie geldt ook voor de route Shenzhen - Stuttgart, maar in mindere mate vanwege de ligging van Shenzhen aan de Chinese kust. Overigens gaat Van Groningen in haar analyse uit van een onbemand vrachtvliegtuig met een maximale belading van 5.000 kilo en een bereik van 10.000 kilometer. Dat is beduidend groter dan bij de voorbeelden uit paragraaf 3.2.1, wat nogmaals de diversiteit binnen de onbemande luchtvracht onderstreept.

3.2.3 Conclusie onbemande luchtvracht

Ondanks de verscheidenheid aan varianten kunnen er op hoofdlijnen wel contouren van markten worden geschetst waarop drones in de luchtvracht actief kunnen zijn. Het gaat om nichemarkten waarin goederen met een hoge waarde, tijdgevoeligheid en bederfelijkheid worden vervoerd, net als in de huidige luchtvracht. Eveneens interessant zijn goederen en routes die potentieel gevaarlijk zijn voor mensen. Het ontbreekt in nichemarkten echter aan routedichtheid en dat maakt een hoge benuttingsgraad van een drone moeilijk. Die zal daarom flexibel, op wisselende locaties moeten worden ingezet. Dat is evenwel goed mogelijk, omdat er geen (locatiegebonden) bemanning nodig is. De kansen voor onbemande luchtvracht zijn ten slotte groter in gebieden die niet goed zijn ontsloten door andere vormen van infrastructuur. Het ontbreken daarvan leidt tot relatief hoge transportkosten, waarmee een drone kan concurreren.

Een empirische constatering is dat relatief weinig (grote) partijen in deze dronetoepassing investeren in vergelijking met het bezorgsegment. Er zijn een aantal start-ups en enkele operationele luchtvracht-drones, maar het gaat om kleine aantallen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat investeerders huiverig zijn om te investeren wanneer een combinatie van nichemarkten nodig lijkt om rendabel te kunnen zijn.

Als we de businessmodellen van de start-ups Dronamics en Romaeris toetsen aan de geschetste contouren van de marktkansen voor onbemande luchtvracht, dan blijken die daar goed op aan te sluiten. Beide zijn bijvoorbeeld gericht op gebieden zonder goede infrastructuur. De lokale transportkosten zijn daardoor hoog; in Canada vooral vanuit financieel oogpunt, en in ontwikkelingslanden vooral vanuit tijdsoogpunt. De hoeveelheid vracht met een hoge geld- of tijdwaarde is in gebieden waarschijnlijk gering. Hun relatief kleine vrachtdrones met evengoed een groot bereik sluiten daarbij goed aan.

In Europa zou een luchtvrachtconcept zoals dat van Dronamics en Romaeris bijvoorbeeld in Scandinavië kunnen worden ingezet. Daar is weliswaar goede infrastructuur, maar de loonkosten zijn er hoog. Hetzelfde principe als bij een bestelbus gaat hier op: zolang er veel volume is of stops dichtbij elkaar zijn, dan biedt een vrachtauto schaalvoordelen. Zodra de ladingen kleiner zijn en de afstanden tussen de stops groter worden, dan is een drone wellicht efficiënter.

In Nederland zouden vrachtdrones wellicht kunnen worden ingezet voor het vervoer van kleine machine- of computeronderdelen tussen schepen en boorplatforms op de Noordzee. Daarmee concurreert het met helikoptervervoer dat momenteel dergelijke leveringen verzorgt. Verder is Nederland dusdanig goed ontsloten, zowel binnenslands als met het buitenland en zowel door de lucht als over land en zee, dat marktkansen niet evident zijn. De ruimtelijke impact blijft daarnaast beperkt wanneer luchtvrachtdrones gebruik maken van bestaande infrastructuur, zoals helipads en vliegvelden. Als alternatief zouden er landingslocaties nabij industrieterreinen kunnen worden ingericht, om het natransport te reduceren. In dat geval zijn de ruimtelijke effecten groter. Het gebruik van VTOL heeft ten slotte een geringere impact op de ruimtelijke ordening dan vleugelvliegtuigen hebben.

3.3 Onbemand personenvervoer

3.3.1 Varianten

SESAR (2016) verwacht dat commerciële toepassingen met drones in het pakket- en vrachtvervoer eerder plaatsvinden dan in het personenvervoer, de derde toepassing die hier wordt onderscheiden. Zowel gevestigde als nieuwe marktpartijen investeren flink in deze markt. Volgens Matthieu Repellin, investeringspartner bij Airbus Ventures (zoals geciteerd in Airbus, 2016), dat ook investeert in drones voor personenvervoer, komt dit enthousiasme doordat de verhouding tussen kosten en vervoersprestatie sterk aan het verbeteren is. Hij verwacht dat onbemand (autonoom) passagiersvervoer binnen afzienbare tijd technisch mogelijk en economisch rendabel wordt. SESAR (2016) lijkt wat conservatiever en verwacht geen grootschalige implementatie van deze dronetoepassing voor 2035.

De investeringen lijken vooralsnog gefocust op twee varianten: de *luchttaxi* en de *vliegende auto*. Het grote verschil is dat een vliegende auto kan rijden op de openbare weg en een luchttaxi niet. Verder betaalt de gebruiker in het luchttaxiconcept per rit; hij heeft de drone niet in bezit. De vliegende auto is daarentegen een persoonsgebonden vervoermiddel. Het is overigens goed denkbaar dat dit onderscheid op basis van de techniek en het gebruik in de toekomst vervaagt. Waarom zou een drone die uitsluitend kan vliegen, immers geen privébezit zijn?

De Ehang 184 is waarschijnlijk de eerste *luchttaxi*drone die op de markt verschijnt, namelijk in Dubai in 2017. De Ehang is een elektrisch aangedreven multikopter, is geschikt voor één persoon en kan maximaal een half uur vliegen. Het opladen van de batterijen duurt overigens 2-4 uur. De drone werkt met BVLOS-besturing; het commandocentrum zit in de Chinese stad Guangzhou (zie figuur 3.6). In het geval van technische problemen kiest de drone zelf een nabije veilige landingslocatie; volledige autonomie is het einddoel (Ehang, z.j.). Dubai promoot zichzelf met deze primeur als *smart city*, en heeft als doel dat in 2030 een kwart van alle verplaatsingen in de stad in een bestuurderloos voertuig (bijvoorbeeld zelfrijdende auto's en autonome drones) wordt afgelegd (Morlin-Yron, 2017).

Figuur 3.6 De Ehang 184 en het commandocentrum in China van waaruit alle personendrones van Ehang worden gemonitord. Bron: Ehang.

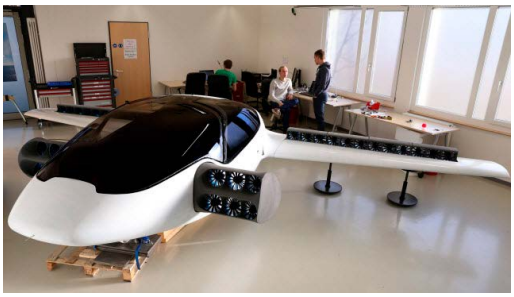
Het Duitse Volocopter (zie figuur 3.7) bouwt een elektrisch aangedreven multikopter die geschikt is voor twee personen. De batterijen zijn verwisselbaar en er kan 20 minuten mee worden gevlogen. Vooralsnog heeft het een typerating als sportvliegtuigje en is besturing door een piloot nodig.[17] In 2018 wil Volocopter een pilot starten waarin hun drone dienst doet als luchttaxi. Het streven is om daarna over te gaan op BVLOS en autonome besturing (Volocopter, z.j.).

Een ander Duits initiatief is de Lilium Jet (zie figuur 3.7). Net als de Ehang en de Volocopter is deze drone in staat om met z'n rotors verticaal op te stijgen en te landen, maar in de lucht draaien de rotors en vliegt hij als een vleugelvliegtuig. De gedachte hierachter is dat een rotorvliegtuig in de horizontale vliegfase

[17] Zie YouTube voor beelden van een testvlucht.

relatief langzaam is en een inefficiënt energieverbruik heeft in vergelijking met een vleugelvliegtuig. Lilium combineert met dit hybride ontwerp het voordeel van een multikopter (VTOL) met dat van een vleugelvliegtuig (energie-efficiëntie). De Lilium Jet heeft hierdoor een bereik van 300 kilometer. Onlangs is de eerste (onbemande) testvlucht gemaakt met een tweepersoonsuitvoering[18]; een uitvoering voor vijf personen is in de maak (Lilium, z.j.).

Figuur 3.7 De Volocopter 2X (links) en de Lilium Jet (rechts). Bron: Volocopter en Lilium.



Het laatste voorbeeld is het Elevate-programma van Uber (2016). Kern hiervan is de ontwikkeling van een netwerk van drones dat bestaande infrastructuur zoals helipads en daken van parkeergarages kan benutten, en dat functioneert als *on-demand* taxidienst. Overigens gaat Uber initieel uit van een *bemand* luchtvaartuig, maar op termijn wordt de piloot vervangen door autonome besturing. Net als Lilium met de Lilium Jet streeft Uber naar een hybride ontwerp van rotors, ten behoeve van het verticaal opstijgen en landen (VTOL), en vleugels, ten behoeve van de energie-efficiënte in de horizontale vluchtfase. Uber heeft in het kader van Elevate de samenwerking gezocht met een aantal partijen die bezig zijn met de ontwikkeling van onbemande luchtvaartuigen, oplaadsystemen en bouwbedrijven (Liberatore, 2017).

De tweede variant van onbemand personenvervoer is de zogenoemde *vliegende auto*. Ook hiervan bestaan meerdere prototypen en er komen enkele modellen op de markt. Kanttekening hierbij is dat het (nog) niet gaat om drones, maar om luchtvaartuigen met een piloot.

Het Nederlandse PAL-V (wat staat voor Personal Air and Land Vehicle) is in 2018 het eerste bedrijf ter wereld dat een vliegende auto op de markt brengt. De PAL-V Liberty (zie figuur 3.8) is een tweepersoons-auto en gyrocopter[19] in één. Om hierin te mogen rijden heeft de bestuurder zowel een rijbewijs als een vliegbrevet nodig. De Liberty is weliswaar geen drone, maar het concept is wel relevant. De Liberty wordt aangedreven door een verbrandingsmotor en kan gewoon tanken bij het tankstation. De transformatie van auto naar gyrocopter kost zo'n 5-10 minuten en om te kunnen vliegen is een startbaan nodig. Vanwege de Nederlandse regelgeving moet starten en landen op een vliegveld gebeuren. De Liberty kan 400 kilometer vliegen of 1.300 kilometer rijden (Witten, 2017).

[18] Zie YouTube voor beelden van een testvlucht.

[19] Een gyrocopter is een vliegtuig met een motorloze rotor. Een propeller zorgt voor de voortstuwing, waardoor de rotor in beweging komt en voor lift zorgt. Qua uiterlijk lijkt de gyrokopter op een helikopter, maar daarbij wordt de rotor aangedreven door een motor. Gevolg van dit technische verschil is dat een helikopter verticaal kan opstijgen en landen, en een gyrocopter niet. Het kost tussen de 20 en 40 uur om een autogirobrevet te halen, ongeveer evenveel als een autorijbewijs (Autogiro, z.j.).

Figuur 3.8 De PAL-V Liberty (links) en de Terrafugia TF-X (rechts). Bron: PAL-V en Terrafugia.

De combinatie van een auto met een gyrocopter is uniek. Andere modellen vliegende auto's maken gebruik van opvouwbare vleugels, zoals de AeroMobil en de Terrafugia Transition. Voor beide geldt dat de bestuurder een vliegbrevet nodig heeft en dat ze nu nog niet leverbaar zijn. Terrafugia positioneert de Transition als *proof of concept* en beoogt met het conceptmodel TF-X een autonoom vliegende auto op de markt te brengen (Terrafugia, z.j.; zie figuur 3.8). De TF-X is een elektrisch aangedreven hybride vleugel-vliegtuig met VTOL-capaciteiten. Terrafugia heeft een brede doelgroep voor ogen en deur-tot-deurmobiliteit als uitgangspunt.

3.3.2 Marktkansen

Net als bij de andere twee dronetoepassingen zullen de baten van onbemand personenvervoer groter moeten zijn dan de kosten, en moet dat saldo groter zijn dan het kosten-batensaldo van bestaande alternatieven. In het geval van onbemand personenvervoer is de personenauto een belangrijk concurrerend alternatief.

Uber en Lilium (zie paragraaf 3.3.1) laten dan ook een vergelijking zien tussen een personendrone en een taxi. Ter illustratie van een *on-demand luchttaxi*service vergelijkt Lilium de kosten en baten van een dronevlucht met die van een taxirit van Manhattan naar JFK Airport. De duur van de rit zou volgens Lilium omlaag kunnen van 55 naar 5 minuten. De ritprijs kan bovendien omlaag van 56 dollar voor een taxirit naar 36 dollar bij gebruik van de luchttaxiservice. Op de lange termijn zou die prijs zelfs kunnen zakken tot 6 dollar (Lilium, z.j.).

Uber heeft vergelijkbare cases uitgewerkt, bijvoorbeeld voor een woon-werkrit tussen San Francisco en San Jose. De reisduur daarvan kan omlaag van 100 naar 15 minuten wanneer een forens overstapt van een Uber X-taxi naar een luchttaxi. De prijs van de vlucht ligt met 129 dollar aanvankelijk boven het Uber-X-tarief van 111 dollar, maar daalt op de lange termijn naar 20 dollar (Uber, 2016).

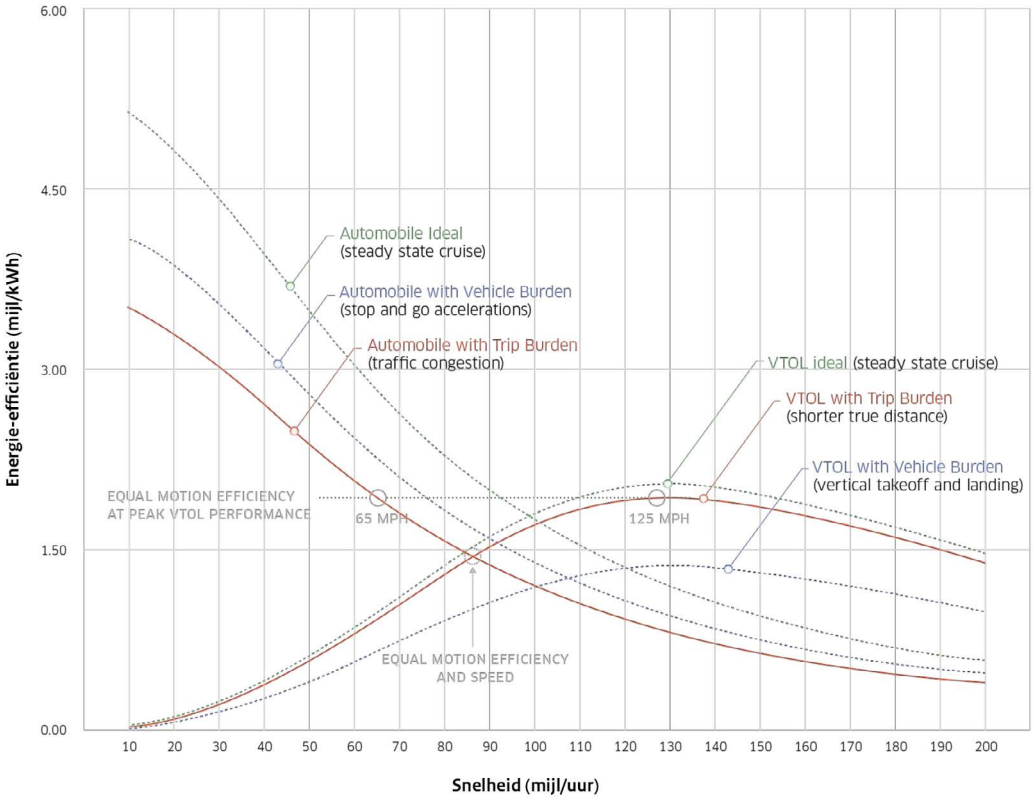
De verklaring voor de daling van de ritprijs in de voorbeelden van Lilium en Uber wordt ingegeven door de (veronderstelde) toename van de populariteit van het luchttaxiconcept. Hierdoor neemt de bezettingsgraad toe en kunnen de vaste kosten over meer ritten worden verspreid, wat leidt tot een lagere ritprijs. Ook zijn er meer drones nodig, wat massaproductie mogelijk maakt. Dit verlaagt de productiekosten: Uber (2016) schat dat die dalen van initieel 1,2 miljoen dollar naar 200.000 dollar op de lange termijn. Ten slotte wordt de piloot op termijn vervangen (zie paragraaf 3.3.1), wat eveneens leidt tot een kostenreductie.

Van invloed op de ritprijs is ook (zoals hoofdstuk 2 heeft betoogd) het energieverbruik. Uber (2016) maakt daarom een vergelijking tussen de energie-efficiëntie van hun beoogde hybride (4-persoons) drone en de Tesla Model S. De energie-efficiëntie wordt bepaald door een combinatie van luchtweerstand en wrijvingsweerstand in het geval van een auto en luchtweerstand en liftkracht in het geval van een drone. Het feitelijke energiegebruik van drones hangt van vele factoren af. Denk daarbij aan de grootte,

de vliegafstand en -hoogte, de temperatuur en de windrichting en -snelheid. Het gewicht van de batterijen verhoogt ten slotte het totaalgewicht van de drone aanzienlijk. Daardoor zijn de energieprestaties lager dan bij een modern sportvliegtuigje.

Figuur 3.9 geeft de resultaten weer van de vergelijking tussen een drone en een Tesla, waarbij de energie-efficiënte is weergegeven als de afgelegde afstand per kilowattuur (kWh). Uit deze analyse blijkt dat de drone veel energie nodig heeft om op te stijgen, maar dat deze bij hogere snelheden wint aan energie-efficiëntie. Reden hiervan is dat de benodigde energie om lift te genereren afneemt, terwijl door de aerodynamica van de drone de toename van de luchtweerstand beperkt blijft. Uit de grafiek blijkt ook dat zonder rekening te houden met opstijgen en landen de energie-efficiëntie van een drone het hoogst is bij zo'n 200 kilometer per uur (125 mijl per uur). Inclusief het energiegebruik voor opstijgen en landen ligt de optimale dronesnelheid bij 215 kilometer per uur (135 mijl per uur) en is de drone efficiënter dan de auto boven de 170 kilometer per uur (105 mijl per uur). Voor korte vluchtjes is een drone vanuit het oogpunt van energie-efficiëntie minder geschikt, doordat het opstijgen en landen relatief veel energie vergt en er tijdens de horizontale vliegfase weinig energiewinst (ten opzichte van de auto) kan worden behaald.

Figuur 3.9 Vergelijking van energie-efficiëntie tussen een elektrische auto en een VTOL-drone. Merk op dat de drie grafieken voor zowel de elektrische auto als de drone scenario's weergeven. In het scenario 'Trip burden' verslechtert de energie-prestatie van een auto sterk als gevolg van omrijden en congestie. In het scenario 'Vehicle burden' verhoogt het verticaal opstijgen en landen het energieverbruik van een drone aanzienlijk. Bron: Uber (2016, p85).



Uber verwacht dat forensen tussen suburbane en urbane gebieden de initiële gebruikers worden van luchttaxi's. Dat komt doordat de hoeveelheid tijd die kan worden bespaard, toeneemt met de afgelegde afstand. Tevens wordt de *last mile* relatief korter bij een lange vlucht; het betreft de afstand tussen de locatie waar de drone landt en de bestemming van de passagier. Uber beoogt verder gezamenlijk gebruik van dezelfde vlucht te bevorderen, waardoor een luchttaxideelsysteem ontstaat. In hun businesscase

veronderstelt Uber dat gemiddeld 67 procent van de stoelen wordt gevuld door een betalende passagier. In een Nederlandse straattaxi is dat ongeveer 44 procent (TNS-NIPO, 2004) en luchtvaartmaatschappijen hebben doorgaans een bezettingsgraad van 80-90 procent. Per week verwacht Uber dat een drone 40 uur wordt gebruikt (Uber, 2016).

De vraag is of een dergelijke bezettingsgraad haalbaar is. Er is niet veel bekend over de bereidheid van mensen om met een onbemand luchtvaartuig te reizen. De Britse krant The Telegraph startte een onlinepoll naar aanleiding van de bekendmaking van de plannen van Uber. De vraag die werd gesteld, luidde: "Zou u reizen in een zelfvliegende luchttaxi?". Ruim 5.000 mensen deden mee aan de poll; 63 procent antwoordde ja (Titcomb, 2016). Dit hoeft natuurlijk geen representatief beeld te geven, maar duidt er wel op dat er een groep is in de samenleving die gebruik zou willen maken van een luchttaxi.

Sivak en Schoettle van de Universiteit van Michigan (zoals geciteerd in Glaser, 2017b) onderzochten de publieke opinie in de VS ten aanzien van *vliegende auto's*. Van de ondervraagden (n=508) vindt 75 procent tijdswinst het belangrijkste voordeel, terwijl 60 procent zich grote zorgen maakt over zowel de veiligheid als de inpassing in het luchtruim en de voertuigprestaties in slechte weersomstandigheden. De enquête laat verder zien dat VTOL de voorkeur krijgt van 83 procent van de ondervraagden en dat 62 procent een capaciteit van 3-4 personen optimaal vindt. Ten slotte is een interessante constatering uit de enquête dat een volledig autonoom opererende vliegende auto (of luchttaxivariant) de voorkeur krijgt boven besturing door een piloot, zowel wanneer het een daartoe opgeleide piloot betreft als de respondent zelf. Daaruit spreekt vertrouwen in de techniek.

De markt voor vliegende auto's is beperkt tot de hogere inkomensgroepen. Het prijskaartje van de PAL-V Liberty is 300.000 euro. De AeroMobil kost 1,2-1,6 miljoen dollar (Rodriguez, 2017). Uit de businesscase van Uber blijkt dat zelfs massaproductie de kosten van een personendrone niet onder 200.000 dollar kan drukken.

3.3.3 Conclusie onbemand personenvervoer

Op basis van de huidige prototypen en concepten kan binnen deze dronetoepassing onderscheid worden gemaakt tussen de vliegende auto en de luchttaxi. Het zijn voertuigen met verschillende eigenschappen. Een vliegende auto is namelijk ook geschikt om op de openbare weg te rijden.

Wat opvalt, is dat er behoorlijk wordt geïnvesteerd in deze dronetoepassing. Het gaat om zowel grote bedrijven zoals Airbus en Uber, als om kleine start-ups met kapitaalkrachtige investeerders.[20] Voor zowel de vliegende auto als de luchttaxi bestaan diverse prototypen en is duidelijk hoe ze gepositioneerd worden in de markt. Sommige aanbieders gaan al op zeer korte termijn live. Ehang wil dit jaar beginnen met het aanbieden van luchttaxidiensten in Dubai; Uber streeft ernaar in 2020 de eerste passagiers-vluchten uit te voeren in Dallas-Fort Worth en (eveneens) Dubai[21] (Liberatore, 2017).

Mensen met een hoge reistijdwaardering uit de hogere inkomensgroepen zullen aanvankelijk de meeste interesse hebben in luchttaxi's en vliegende auto's. Uber verwacht dat de prijs voor een vlucht met een luchttaxi hard zal dalen naarmate het gebruik ervan toeneemt. Daarmee zou de luchttaxi voor een breder publiek toegankelijk worden. Bij deze veronderstelling zijn enkele kritische noties te maken. Ten eerste is het de vraag of mensen bereid zijn om in een (autonoom vliegende) drone te stappen. Enkele inventarisaties lijken erop te wijzen dat er (ex ante) een groep mensen is die dat wel aandurft. Maar wat gebeurt er met dit prille enthousiasme wanneer er slachtoffers vallen als gevolg van een crash? Voor vliegende auto's en luchttaxi's zal voor grootschalige toepassing nadrukkelijk aandacht aan veiligheid moeten worden besteed, om het vertrouwen van passagiers te winnen en te behouden.

[20] Lang niet allemaal zijn ze in dit hoofdstuk besproken. Voorbeelden van andere bedrijven die werken aan onbemand personenvervoer: A^3 (Airbus), Joby Aviation, Zee.Aero en Aurora Flight Sciences. Zie eVTOL voor een overzicht. Larry Page, mede-oprichter van Google, heeft naar verluid 100 miljoen geïnvesteerd in Zee.

[21] In 2020 vindt de Wereldtentoonstelling plaats in Dubai, vandaar dat die stad is gekozen om te starten met luchttaxidiensten.

Ten tweede is het de vraag of een aanbieder van luchttaxidiensten erin slaagt om de vraag te bundelen en er een succesvol deelconcept van te maken. Passagiers bevinden zich op verschillende locaties en hebben mogelijk geen behoefte om een vlucht te delen. In wezen is dat niet anders dan bij huidige taxidiensten, en deeltaxi's vullen slechts een klein deel van de markt in. Maar hiervoor kan wellicht een oplossing worden gevonden, bijvoorbeeld door tariefdifferentiatie. Wanneer een passagier kan kiezen voor een deeltaxi, betaalt hij een lagere prijs voor de vlucht. Een drone is bovendien snel, waardoor een stuk omvliegen relatief weinig tijd kost in vergelijking met een auto.

De meerwaarde van de vliegende auto ten opzichte van de luchttaxi is de mogelijkheid om ermee op de openbare weg te rijden. Dat maakt deur-tot-deurreizen mogelijk; de *last mile* is zonder overstap af te leggen. Daarentegen zullen gebruikers van een luchttaxi overstappen op aanvullend grondtransport of te voet verdergaan.[22]

Ook bij de businesscase achter de vliegende auto's van PAL-V en AeroMobil zijn vraagtekens te plaatsen. Enerzijds hebben luxemerken (zoals Ferrari in de autobranche) voldoende bestaansrecht, hoewel de doelgroep van vermogende consumenten niet groot is. Anderzijds zit de crux van de businesscase in het nut van het product: gaat de gebruiker er daadwerkelijk reistijd mee besparen of wordt de vliegende auto een vorm van vrijetijdsbesteding? Wanneer de gebruiker gebonden is aan (schaarse) startbanen, zoals het geval is met de PAL-V en de AeroMobil, dan krijgt hij te maken met voor- en natransporttijd. Bovendien liggen startbanen veelal buiten de stad. Per saldo is het dan maar de vraag of iemand reistijdwinst boekt ten opzichte van een autorit, zeker wanneer diens vertrekpunt of bestemming zich in een stad bevindt. Een VTOL-design, zoals dat van de Terrafugia TF-X, kan hier mogelijk uitkomst bieden, omdat zich hiervoor in steden meer mogelijke landingslocaties bevinden.

In dat kader stelt Uber bijvoorbeeld voor om daken van parkeergarages en hoge gebouwen te gebruiken als landingslocatie voor luchttaxi's. Dit is geen openbare ruimte en kan commercieel worden geëxploiteerd. De overheid zou hierbij wel randvoorwaarden kunnen scheppen, bijvoorbeeld ten aanzien van de afstand tot gebouwen en het optrekken van geluidswallen. Ook buiten de steden zullen landingslocaties moeten worden gerealiseerd, maar daar is grond minder schaars vergeleken met een stad en zijn er dus meer opties.

[22] Een mogelijke uitzondering hierop is het Pop.Up-concept van Airbus, zie YouTube.

4 Conclusie

Drie mobiliteitstoepassingen van drones zijn te onderscheiden: pakketbezorging, luchtvracht en personenvervoer. Drones kunnen een alternatief zijn voor bestaande modaliteiten wanneer a) snelheid een belangrijk vervoerscriterium is, en b) de hoeveelheden niet groot zijn.[23] Bijvoorbeeld voor de bezorging van benodigde reserveonderdelen op een afgelegen boorplatform, een defibrillator bij iemand met een hartstilstand of een minister die voor spoedoverleg naar Brussel moet.

4.1 Randvoorwaarden

Voordat drones in het personen- en goederenvervoer kunnen worden ingezet, zal aan een aantal randvoorwaarden moeten worden voldaan. Ten eerste is een aantal technische aspecten van belang. De ontwikkeling van sense-and-avoidtechnologie is een belangrijke voorwaarde voor autonome besturing. Een hoge mate van autonomie zorgt voor een daling van de arbeidskosten bij het gebruik van drones, wat gunstig is bij de realisatie van diverse dronetoepassingen. Verder spelen weersomstandigheden vooral bij kleine drones een grote rol. Wanneer drones te vaak niet kunnen vliegen vanwege slechte weersomstandigheden, dan doet dat afbreuk aan de betrouwbaarheid van de dienstverlening. Drones zullen dus in hoge mate weersbestendig moeten zijn. Ook is er een systeem nodig waarin coördinatie van drones in het luchtruim plaatsvindt. Met het oog op de verwachte groei van het aantal drones wordt het drukker in de lucht. Coördinatie verbetert de veiligheid en de efficiëntie van het systeem.

Ten tweede zal de maatschappelijke acceptatie van het gebruik van drones moeten worden geborgd. Producenten van drones staan voor de uitdaging om de veiligheid van drones te vergroten, zowel voor wat betreft de techniek als voor wat betreft het voorkomen van misbruik. Eveneens zal de hinder die drones mogelijk veroorzaken in de leefomgeving van burgers, moeten worden geminimaliseerd. Het gaat daarbij om bijvoorbeeld geluidsoverlast en de perceptie dat er inbreuk op de privacy wordt gemaakt. De maatschappelijke acceptatie zou ten slotte kunnen worden versterkt wanneer drones bijvoorbeeld voor humanitaire doeleinden worden ingezet.

4.2 Marktkansen

4.2.1 Pakketbezorging

Er wordt door relatief veel partijen geïnvesteerd in de ontwikkeling van pakketbezorging met drones. Hier zijn dan ook duidelijk aanwijsbare marktkansen voor. De zogenoemde campustoepassing biedt de mogelijkheid voor bedrijven om sneller, *on demand*, te leveren. Drones vervangen daarbij bijvoorbeeld een interne bedrijfskoeriersdienst. Omdat een campustoepassing bovendien technisch relatief laagdrempelig is, lijkt het waarschijnlijk dat deze variant als eerste van de grond komt.

[23] Dit kan gaan om enkele tonnen aan lading, maar dat is weinig vergeleken met de conventionele luchtvracht. Het begrip 'weinig' is daarmee relatief ten opzichte van het bestaande concurrerende alternatief.

In het premiumsegment van de e-commerce liggen eveneens marktkansen. Met het premiumsegment wordt het deel van de markt bedoeld waarin consumenten bereid zijn om extra te betalen voor een snelle levering van hun bestelde pakket. Het gaat volgens SESAR (2016) om ongeveer 1-1,5 procent van de totale pakketmarkt in Europa. Door dit segment te bedienen kunnen webwinkels en koeriers extra inkomsten genereren. Dit type dienstverlening kan ook in Nederland worden verwacht, vooral in (de omgeving van) grote steden. Door de beperkte actieradius van bezorgdrones (zo'n 15 kilometer) zullen die in de nabije omgeving van distributiecentra bezorgen. Het ligt voor de hand dat die distributiecentra in de nabijheid van grote steden komen te liggen, vanwege het grote aantal consumenten daar.

Wanneer snelheid niet erg belangrijk is, dan is een bestelbus vaak efficiënter vanuit kostenperspectief. Die zullen daarom nog op grote schaal voor pakketbezorging worden ingezet. Een derde toepassing van bezorgdrones echter benut juist de combinatie met een bestelbus. De drone vertrekt daarbij vanaf het dak. Het voordeel van deze combinatie is dat op locaties waar een bestelbus geen routedichtheids-voordelen kan benutten, inzet van een drone tot kostenbesparing kan leiden. Wellicht zijn er in Nederland ook locaties waar deze techniek kan worden toegepast; de landelijke gebieden zijn dan het meest waarschijnlijk.

4.2.2 Onbemande luchtvracht

De marktkansen voor drones in de luchtvracht lopen relatief sterk uiteen, doordat een hoge mate van diversiteit aan combinaties van belading en bereik mogelijk is. Als gevolg daarvan worden uiteenlopende prototypen ontworpen. De rode draad is dat het gaat om nichemarkten waarin goederen met een hoge waarde, tijdgevoeligheid en bederfelijkheid moeten worden vervoerd. De afwezigheid van een concurrerend transportalternatief versterkt deze marktkansen. Eveneens interessant zijn goederen en routes die potentieel gevaarlijk zijn voor mensen. Echter, het ontbreekt in nichemarkten aan routedichtheid en dat maakt een hoge benuttingsgraad van een drone moeilijk. Dat er relatief weinig in deze drone-toepassing wordt geïnvesteerd, hangt mogelijk samen met de diversiteit aan marktkansen en de onzekerheid daaromtrent.

In Nederland zouden vrachtdrones wellicht kunnen worden ingezet voor vervoer van kleine machine- of computeronderdelen tussen schepen en boorplatforms op de Noordzee. Daarmee concurreren zij met helikoptervervoer. Verder is Nederland dusdanig goed ontsloten, zowel binnenslands als met het buitenland en zowel door de lucht als over land en zee, dat er in Nederland weinig evidente markten voor luchtvrachtdrones zijn aan te wijzen.

In landen of gebieden zonder goede infrastructuur hebben vrachtdrones mogelijk een grotere impact dan in Nederland. Hoge transportkosten, zowel in tijd als in geld uitgedrukt, kunnen er bijvoorbeeld in ontwikkelingslanden voor zorgen dat agrariërs hun goederen niet kunnen verhandelen, vanwege de bederfelijkheid ervan. Met de inzet van drones kunnen positieve effecten op de lokale economie optreden. Daar waar het in Nederland gaat om het *finetunen* van het transportnetwerk, kunnen drones in ontwikkelingslanden zorgen voor een *upgrade* daarvan.

4.2.3 Onbemand personenvervoer

Wellicht het meest tot de verbeelding sprekend zijn de personendrones. Die kunnen iemands bezit zijn (als 'vliegende auto'), maar ook als luchttaxi worden ingezet. De passagier kan zodoende files vermijden en snel op de bestemming arriveren. Het voordeel van een drone wordt relatief groter naarmate de afstand langer wordt. De snelheid van een drone wordt dan meer benut en het energieverbruik dat nodig is om (verticaal) te stijgen en te landen, is relatief lager naarmate er verder wordt gevlogen. Ook in Nederland zal een selecte doelgroep gebruik willen maken van personendrones, bijvoorbeeld tussen suburbane gebieden en stadscentra.

De aanschafkosten van een vliegende auto zijn naar verwachting erg hoog. Het bezit van een personen-drone is daarmee voor maar weinig mensen weggelegd. Het gebruik van een drone als luchttaxi is laagdrempeliger. Echter, net als in het pakketvervoer wordt er een meerprijs gerekend ten opzichte van de alternatieve modaliteit, in dit geval de auto. Daarmee wordt ingespeeld op de betalingsbereidheid van mensen die graag snel op hun bestemming willen zijn. Volgens partijen die betrokken zijn bij de

ontwikkeling van luchttaxivervoer zullen de prijzen voor een rit op termijn dalen. Dit komt onder meer doordat passagiers een luchttaxi kunnen delen. De aanbieder van luchttaxidiensten staat voor de uitdaging om de vraag te bundelen en er een succesvol deelconcept van te maken.

4.3 Ruimtelijke effecten

Doordat er meer met drones wordt gevlogen, verandert de skyline van Nederland. Ook voor de ruimtelijke ordening zijn er gevolgen. Voor een succesvolle pakketbezorging zal de consument in staat moeten zijn om zijn pakket aan te nemen. Dit is een uitdaging in een stedelijke omgeving, waar ruimte schaars is. Er kunnen bijvoorbeeld zuilen worden geplaatst die fungeren als ophaalpunt. In rurale gebieden zijn de ruimtelijke effecten waarschijnlijk minder ingrijpend.

Luchtvrachtdrones hebben een geringe ruimtelijke impact wanneer ze gebruik maken van bestaande infrastructuur, zoals helipads en vliegvelden. Als alternatief zouden er landingslocaties nabij industrieterreinen kunnen worden ingericht, om het natransport te reduceren. In dat geval zijn er grotere ruimtelijke gevolgen.

Om personenvervoer met drones mogelijk te maken, zullen eveneens landingslocaties moeten worden ingericht. In steden zouden daken van parkeergarages of hoge gebouwen hiervoor kunnen worden gebruikt; overigens is verticaal opstijgen en landen dan noodzakelijk. Landingslocaties hoeven niet in de openbare ruimte te liggen, en dat biedt kansen voor commerciële exploitatie. Buiten de steden zullen eveneens landingslocaties moeten worden gerealiseerd. Het gebruik van VTOL, ongeacht het type drone, heeft ten slotte een geringere impact op de ruimtelijke ordening dan vleugelvliegtuigen hebben.

Literatuur

Airbus (6 december 2016). *Future of urban mobility*. Gevonden op http://www.airbus.com

Airneth (2016). *The Possible Effects of Unmanned Aerial Vehicles on Mobility and Infrastructure*. 8 december 2016, Den Haag

Amazon (7 december 2016). *Amazon Prime Air*. Gevonden 6 september 2017 op https://www.amazon.com

AtlantikSolar (20 juli 2015). *Solar-powered 81-hours flight successful: A new endurance world record!*. Gevonden op http://www.atlantiksolar.ethz.ch

Autogiro (z.j.). Gevonden 8 september 2017 op de Autogiro Wiki: https://nl.wikipedia.org/wiki/Autogiro

Boeing (2016). *World Air Cargo Forecast 2016-2017*. Seattle, Verenigde Staten: Boeing.

Boer, R.J. de (13 juni 2017). *UCA safety case during an international test flight* [PDF]. Gevonden op https://unmannedcargoaircraftconference.com/wp-content/uploads/2017/06/De-Boer-13_6_2017-v2.pdf

Buienalarm.nl (z.j.). *Hoeveel procent van de tijd valt er neerslag in Nederland?*. Gevonden op 6 september 2017 op http://www.buienalarm.nl/weer-feiten/hoeveel-procent-van-de-tijd-valt-er-neerslag-nederland

Button, K. (2015). All-seeing. *Aerospace America*, *juli-augustus 2015*, 36-41

DHL (24 september 2014). *DHL parcelcopter launches initial operations for research purposes*. Gevonden op http://www.dhl.com

Dorrestijn, K. (23 maart 2017). Het elektrische vliegtuig komt eindelijk van de grond. *BNR*. Gevonden op https://www.bnr.nl

Ehang (z.j.). *Ehang 184 Autonomous Aerial Vehicle*. Gevonden 8 september 2017 op http://www.ehang.com/ehang184

Europese Commissie (2015). *Riga Declaration on Remotely Piloted Aircraft (drones) – "Framing the Future of Aviation"*. Gevonden op https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/news/doc/2015-03-06-drones/2015-03-06-riga-declaration-drones.pdf

Gartner (9 februari 2017). *Gartner Says Almost 3 Million Personal and Commercial Drones Will Be Shipped in 2017*. Gevonden op http://www.gartner.com

Glaser, A. (31 maart 2017, a). The Swiss postal service is using autonomous drones to fly lab samples between two hospitals. *Recode*. Gevonden op https://www.recode.net

Glaser, A. (7 mei 2017, b). Two in five people said they'd be interested in owning an autonomous flying car. *CNBC*. Gevonden op https://www.cnbc.com

Goodchild, A. & Toy, J. (ter perse). Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO_2 emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.017

Graaff, A. de (februari 2014). *Future cargo aircraft and small passenger planes: Will they fly autonomous?* [PDF]. Gevonden op https://unmannedcargoaircraftconference.com/wp-content/uploads/2014/02/Presentatie-Enschede-UAS-Ad-de-Graaff.pdf

Groningen, R. van (2017). *Cost Benefit Analysis Unmanned Cargo Aircraft: Case Study Stuttgart - Urumqi/Shenzhen*. Gevonden op https://www.platformuca.org

Haidari, L.A., Brown, S.T., Ferguson, M., Bancroft, E., Spiker, M., Wilcox, A., Ambikapathi, R., Sampath, V., Connor, D.L. & Lee, B.Y. (2016). The economic and operational value of using drones to transport vaccines. *Vaccine*, *34* (34), 4062–4067. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.06.022

"Hart van Oss wil AED-drones inzetten" (3 oktober 2016). *Drones.nl*. Gevonden op https://www.drones.nl

Heerkens, H. (2017). Unmanned Cargo Aircraft: From Anywhere to Everywhere. *Engineering & Technology Reference*, 9pp. doi: 10.1049/etr.2017.0009

Hermans, J. (28 februari 2017). Waterstofvliegtuigen als de kerosine op is [audio]. *BNR*. Gevonden op https://www.bnr.nl

HSD (2015). *A Blessing in the Skies? – Challenges and Opportunities in Creating Space for UAVs in the Netherlands*. Den Haag: The Hague Security Delta

IenM (z.j.). *Drone no-fly zones*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Miieu. Gevonden 6 september 2017 op https://kadata.kadaster.nl/dronekaart

ILT (2017). *Voorvallen met recreatieve en met beroepsmatige drones*. Den Haag: Inspectie voor Leefomgeving en Transport

"Is there a future for unmanned air cargo operations?" (23 mei 2016). *Air Cargo News*. Gevonden op http://www.aircargonews.net

Jager, W. de (20 december 2016). Overheid voert stilletjes droneverbod in voor grote delen van Zeeland. *Dronewatch*. Gevonden op https://www.dronewatch.nl

Kaman (z.j.). *K-MAX*. Gevonden 6 september 2017 op http://www.kaman.com

Keeney, T. (5 mei 2015). How Can Amazon Charge $1 for Drone Delivery?. *ARK Invest*. Gevonden op https://ark-invest.com

Kharpal, A. (29 december 2016). Amazon wins patent for a flying warehouse that will deploy drones to deliver parcels in minutes. *CNBC*. Gevonden op https://www.cnbc.com

KNMI (2017). *Daggegevens van het weer in Nederland* [databestand]. Gevonden op http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi

Koperberg, B. (8 december 2016). *Humanitarian Delivery Drones* [PDF]. Gevonden op http://www.airneth.nl/uploads/media/Presentation_Barry_Koperberg.pdf

LaserMotive (z.j.). *UAV Power Links*. Gevonden 4 september 2017 op http://lasermotive.com/markets/uav-power-links

Lewis, C. (17 juni 2014). The economics of Amazon's delivery drones. *Robotenomics*. Gevonden op https://robotenomics.com

Liberatore, S. (25 april 2017). Uber says its flying taxis will take to the skies in 2020 in Dallas and Dubai. *Dailymail.com*. Gevonden op http://www.dailymail.co.uk

Lilium (z.j.). *The Lilium Jet*. Gevonden 8 september 2017 op https://lilium.com

Melkert, J. (19 april 2017). Vliegen zonder een druppel kerosine [audio]. *BNR*. Gevonden op https://www.bnr.nl

Mercedes-Benz (7 september 2016). *World premiere of the Vision Van research vehicle – Mercedes-Benz original* [video]. Gevonden op https://www.youtube.com

Miethe, T.D., Lieberman, J.D., Sakiyama, M. & Troshynski, E.I. (2014). "Public Attitudes about Aerial Drone Activities: Results of a National Survey." *Research in Brief*. Center for Crime and Justice Policy: Las Vegas, NV. CCJP 2014-02

Morlin-Yron, S. (17 maart 2017). Driverless flying taxi service set to launch in Dubai. *CNN*. Gevonden op http://edition.cnn.com/2017/03/17/tech/ehang-passenger-drone-dubai

Northrop Grumman (z.j.). Gevonden 8 augustus 2017 op de Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk Wiki: https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk

NVDrones (20 juni 2016). *5 Ways Weather Affects Your Drone's Performance*. Gevonden op https://medium.com

Popper, B. (6 januari 2016). Ehang's autonomous helicopter promises to fly you anywhere, no pilot required. *The Verge*. Gevonden op https://www.theverge.com

Rangelov, S. (2015). *Dronamics - Transportation & Mobility Startup Pitch* [video]. Gevonden op http://www.youtube.com

Raptopoulos, A. (13 juni 2013). *No roads? There's a drone for that* [video]. Gevonden op https://www.ted.com

Rijkswaterstaat (2015). *Drones in het publieke domein – een quickscan*. Gevonden op http://www.dronewatch.nl

Rodriguez, C. (23 april 2017). Flying Cars Take Off And Are Set For Sale For Up To $1.6 Million. *Forbes*. Gevonden op https://www.forbes.com

Pizarro, A. (13 juni 2017). Long Range Cargo UAV for Wide Range of Applications [PDF]. Gevonden op https://unmannedcargoaircraftconference.com/wp-content/uploads/2017/06/Romaeris-Presentation_PCUA_13June2017_Pizarro.pdf

PUCA (z.j.). *Factsheet 1: Civil unmanned cargo aircraft*. Gevonden 8 september 2017 op: https://www.platformuca.org

SAMR (2016). *Flitspeiling drones*. Gevonden op http://www.rijksoverheid.nl

Scherer, S. (25 april 2014). *Toward Autonomous Rotorcraft* [video]. Gevonden op https://www.youtube.com

SESAR (2016). *European Drones Outlook Study – Unlocking the value for Europe*. Brussel: SESAR Joint Undertaking

SESAR (2017). *U-space Blueprint*. Brussel: SESAR Joint Undertaking

"SingPost becomes Airbus Skyways partner" (19 april 2017). *AirTrafficManagement.net*. Gevonden op http://www.airtrafficmanagement.net

Singular Aircraft (z.j.). *FLYOX I*. Gevonden 6 september 2017 op http://singularaircraft.com

Smolka, K (8 december 2016). *UAV Industry Development: Prospects fort he Future* [PDF]. Gevonden op http://www.airneth.nl/uploads/media/Presentation_Katrin_Smolka.pdf

Terrafugia (z.j.). *TF-X*. Gevonden 8 september 2017 op https://www.terrafugia.com/tf-x

Titcomb, J. (26 september 2016). Uber plans self-flying drone taxis to beat city traffic. *The Telegraph*. Gevonden op http://www.telegraph.co.uk

TNS-NIPO Consult & KPMG Bureau voor Economische Argumentatie (2004). *Monitoring en evaluatie deregulering taxivervoer 1999-2003*. Z1480. Gevonden op https://www.rijksoverheid.nl

Uber (2016). Uber Elevate: Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation. Gevonden op https://www.uber.com/elevate.pdf

UPS (21 februari 2017). *UPS Tests Residential Delivery Via Drone Launched From Atop Package Car*. Gevonden op https://pressroom.ups.com

VenJ (2015). *Drones en privacy - Handleiding voor een gebruik van drones dat voldoet aan de waarborgen voor bescherming van de privacy*. Den Haag: Ministerie van Veiligheid en Justitie

Volocopter (z.j.). *Our High Flier: The Volocopter 2X*. Gevonden 8 september 2017 op https://www.volocopter.com/en/product

Wal, T. van der, Meijer, M & Rip, F.I. (2016). Een verkenning naar toepassing van drones in landbouw en natuur - drijfveren, kansen en consequenties. *Wageningen Environmental Research, Rapport 2742*. ISSN 1566-7197

Wild, G., Murray, J. & Baxter, G. (2016). Exploring Civil Drone Accidents and Incidents to Help Prevent Potential Air Disasters. *Aerospace, 3*, 22. doi:10.3390/aerospace3030022

Willems, D. (13 juni 2017). *UMS Skeldar - VTOL Applications for Cargo Deliveries Today* [PDF]. Gevonden op https://unmannedcargoaircraftconference.com/wp-content/uploads/2017/06/ums-DRONE-CARGO-CONFERENCE_FINAL.pdf

Witten, G. (14 februari 2017). Nederlandse Pal-V lanceert vliegende auto. *Autowereld.com*. Gevonden op http://www.autowereld.com

WODC (2015). *Het gebruik van drones - een verkennend onderzoek naar onbemande luchtvaartuigen*. Den Haag: Wetenschappelijk Onderzoek- en Documentatiecentrum

Appendices

Appendix A: De ontwikkeling van sense-and-avoidtechnologie

Om veilig te kunnen opereren moet een onbemand, autonoom vliegend luchtvaartuig weten waar het is, waar het heen moet en waar andere luchtvaartuigen en *hazards* zich bevinden. Hiervoor moet het worden uitgerust met sensoren en computers die in staat zijn het menselijk oog en de hersenen, die de waarnemingen interpreteren, te repliceren. Dat is de basis achter sense-and-avoid.

Het waarnemen van de omgeving vanaf het luchtvaartuig gebeurt met verschillende meetinstrumenten (zie figuur A1). Denk hierbij aan een infraroodcamera, een laserhoogtemeter en een traagheidsnavigatie-systeem. Een uitdaging hierbij is de diversiteit aan waar te nemen objecten. Deze kunnen variëren van hoogspanningskabels, woontorens, berggebied en onweersbuien tot natuurlijk andere luchtvaartuigen. Het toevoegen van meer sensoren verhoogt het gewicht en de kosten van het luchtvaartuig. De sensoren verschillen niet veel tussen autonome rotorvliegen en autonome vleugelvliegtuigen (Button, 2015).

De volgende uitdaging is de interpretatie van de waarnemingen. Hiervoor zijn algoritmen nodig. Algoritmen zijn beslisregels op basis waarvan de computer aan boord van het luchtvaartuig besluit of bijvoorbeeld een landingslocatie stabiel en veilig is en of een vliegroute vrij is van *hazards*. Het scannen van de omgeving en het eventueel verleggen van de route is een iteratief proces. Dat wil zeggen dat de drone een vliegroute heeft uitgestippeld en scant of dat veilig is. Op het moment dat het een (vliegend) object op het vliegroute detecteert, wordt een alternatieve route gekozen. Ook die wordt gescand. Mocht er ook op die route een (vliegend) object op het vliegroute worden waargenomen, dan wordt er een nieuwe alternatieve route gekozen. Dit proces herhaalt zich (Scherer, 2014).

Figuur A1 De sensoren die worden gebruikt voor sense-and-avoid (links), en een door een drone geconstrueerde 3D-impressie van een gebouw (rechts). Bron: Near Earth Autonomy.[24]

Obstakeldetectie bij het opstijgen en (vooral) het landen is een vorm van sense-and-avoid. Een rotor-vliegtuig moet in staat worden geacht om op ongeprepareerd terrein te landen, in tegenstelling tot een vleugelvliegtuig. Een rotorvliegtuig zal daarom voordat het landt een gedetailleerde scan van zijn omgeving moeten maken. Dit gebeurt met lage snelheid. Het waarnemen van kleine objecten is moeilijker naarmate de snelheid hoger ligt.

[24] Zie YouTube voor een demonstratie van hun technologie.

Een laatste uitdaging is de waarneming van/communicatie tussen luchtvaartuigen. Het uitstippelen van een alternatieve route op basis van alleen sense-and-avoidtechnologie, dus zonder communicatie tussen beide luchtvaartuigen, is mogelijk niet adequaat genoeg. Ten eerste is de snelheid van verplaatsing hoog en moeten de sensoren dus op grote afstand kunnen waarnemen. Ten tweede bestaat het risico dat de gekozen alternatieve route van beide drones (eveneens) conflicteert. Om de risico's van de hoge snelheid van verplaatsing te verkleinen, is het zinvol om drones standaard van bijvoorbeeld een transponder te voorzien of de coördinatie via een centraal systeem te laten verlopen (zoals in het *U-space*-concept van SESAR, zie paragraaf 2.1.3). Om te voorkomen dat uitwijkmanoeuvres van drones met elkaar conflicteren, is het zinvol om 'verkeersregels' daaromtrent af te spreken.

Volgens Sebastian Scherer (persoonlijke communicatie, 14 augustus 2017) is sense-and-avoid voor kleine typen drones binnen 1-3 jaar commercieel verkrijgbaar. Voor grotere typen drones schat hij die tijd op 5-10 jaar.

Appendix B: Kosten pakketvervoer per drone

Keeney (2015) heeft een berekening gemaakt van de kosten van pakketbezorging door een drone in een straal van 16 kilometer rond een distributiecentrum. De volledige onderbouwing van die berekening maakt het mogelijk een aantal varianten door te rekenen om de bandbreedte van de kosten in kaart te brengen.[25] De resultaten daarvan staan in tabel B1.

Tabel B1 Kosten per dronevlucht bij verschillende veronderstellingen. Bron: eigen berekeningen.

	Basis	Frequentie drones	Benutting	Prijs drones	Drones per operator		
Vluchten per drone per dag	30	15	15	15	15	15	15
Benutting capaciteit (%)	100	100	75	75	75	75	75
Prijs per drone (dollars)	2.000	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Drones per operator	12	12	12	12	6	2	1
Minuten data per vlucht	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	30,0	30,0
Kosten per vlucht (dollars)	0,88	1,71	2,26	2,65	4,68	13,23	25,41
Kosten per drone (dollars)	9.644	9.377	9.279	10.879	19.212	54.324	104.324

Kolom Basis bevat de berekening overeenkomstig de veronderstellingen van Keeney (2015). Hier komen de kosten uit op 88 dollarcent per vlucht. Dat is lager dan Amazon's huidige bezorgkosten per bestelauto (namelijk 2-8 dollar) en lager dan de schatting van Lewis (2014) (namelijk 10-17 dollar). Keeney gaat er in deze berekening van uit dat elke drone dertig vluchten van een half uur per dag maakt. Elke drone is dus elke dag vijftien uur onderweg. Echter, de wind kan tegenzitten, bij aankomst moet de ontvanger het pakket aannemen, bij terugkomst moet de drone worden geladen en de batterij verwisseld, enzovoort. Daarom lijkt de veronderstelling van SESAR (2016) van vijftien vluchten per dag realistischer. Daarmee verdubbelen echter de kosten per vlucht (zie kolom *Frequentie drones*).

[25] Deze eigen berekeningen zijn beschikbaar op verzoek.

SESAR gaat verder uit van 125 procent overcapaciteit en een bezettingsgraad van de drones van 75 procent. Deze keuzes hangen onder andere samen met variatie van tijden waarop mensen bestellingen in ontvangst kunnen nemen, variatie van bestellingen over de week en over het jaar (meer bestellingen in december bijvoorbeeld). Keeney heeft extra batterijcapaciteit opgenomen in de berekening, waardoor in de kolom *Benutting* alleen de bezettingsgraad van SESAR is overgenomen. De kosten per vlucht stijgen dan naar 2,26 dollar.

Keeney rekent met een prijs per drone van 2.000 dollar. SESAR (2016, p.72) gaat ervan uit dat de huidige prijs van 15.000-40.000 euro met maximaal 2-4 procent per jaar daalt. Dat komt erop neer dat een drone die nu 20.000 euro kost in 2035 10.000 euro zou kosten. De keuze in de kolom *Prijs drones* van 10.000 dollar per drone brengt de veronderstellingen van Keeney dichter bij die van SESAR.

Keeney veronderstelt dat elke operator twaalf drones onder zijn hoede heeft. Tijdens de tweeëneenhalve minuut rondom het lossen van het pakket zendt de drone camerabeelden naar de operator. Keeney heeft de datakosten daarvan meegenomen in de berekening. In een vlucht van dertig minuten passen twaalf blokken van tweeëneenhalve minuut, zodat de operator in theorie precies twaalf landende drones achter elkaar kan monitoren. In de praktijk is dat natuurlijk niet zo, de drones vliegen verschillende afstanden onder verschillende omstandigheden. De veronderstelling van zes drones per operator lijkt dan dichter te liggen bij wat praktisch mogelijk is. Daardoor komen de kosten uit op 4,68 dollar per vlucht.

Ook bij zes drones per operator vliegt de drone behalve tijdens de landingsfase zonder cameraverbinding met de operator. Impliciet veronderstelt Keeney hierbij dus dat sense-and-avoidtechnologie beschikbaar en geïmplementeerd is in de hele vloot drones. De meest rechter kolom van de tabel gaat uit van de huidige situatie, namelijk dat een operator via BVLOS een drone bestuurt en gedurende de hele vlucht een cameraverbinding heeft om de omgeving te overzien. Dat leidt tot hoge kosten per vlucht, namelijk 25,41 dollar. Mocht de operator in staat zijn op die manier twee drones te besturen, dan dalen de kosten tot 13,23 dollar per vlucht.

Al met al geeft deze berekening aan dat zolang droneoperators vluchten moeten monitoren, maar er zich technische ontwikkelingen (met name sense-and-avoid) en prijsdalingen voordoen, een realistisch kosteninterval eerder rond 5 dollar dan rond 1 dollar per vlucht ligt.

Colofon

Dit is een uitgave van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu
September 2017

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

ISBN/EAN
978-90-8902-167-0

KiM-17-A08

Auteurs
Maarten de Lange
Hugo Gordijn
Harry Derriks
George Gelauff

Vormgeving en opmaak
VormVijf, Den Haag

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)
Postbus 20901
2500 EX Den Haag
Telefoon: 070 456 19 65
Fax: 070 456 75 76

Website: www.kimnet.nl
E-mail: info@kimnet.nl

Publicaties van het KiM zijn als PDF te downloaden van onze website www.kimnet.nl.
U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met één van onze medewerkers.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen onder vermelding van het KiM als bron.

Mobiliteitsbeleid
Kennisinstituut
voor

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) maakt analyses van mobiliteit die doorwerken in het beleid. Als zelfstandig instituut binnen het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) maakt het KiM strategische verkenningen en beleidsanalyses. De inhoud van de publicaties van het KiM behoeft niet het standpunt van de minister en/of de staatssecretaris van IenM weer te geven.

Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid

Dit is een uitgave van het

Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Postbus 20901 | 2500 EX Den Haag
www.rijksoverheid.nl/ienm

www.kimnet.nl

ISBN/EAN: 978-90-8902-167-0

September 2017 | KiM-17-A08