

Hoe komen spuitdrones van de grond in Nederland?

Tamme van der Wal, Sebastian Paolini van Helfteren, Bauke Abma, Jan van de Zande, Corné Kempenaar



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Hoe komen spuitdrones van de grond in Nederland?

Tamme van der Wal^{1,2}, Sebastian Paolini van Helfteren¹, Bauke Abma¹, Jan van de Zande², Corné Kempenaar²

1 Wageningen Environmental Research

2 Wageningen Research, Agrosystems Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research, team Applied Spatial Research en Wageningen Plant Research, business unit Agrosystems Research, in het kader van Beleidsondersteunend onderzoeksthema NPPL (projectnummer BO-43-120.01-002).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2022

Gereviewd door:

Raymond Jongschaap, Business Unit Manager Agrosystems Research (Wageningen Plant Research)

Akkoord voor publicatie:

Wies Vullings, Teamleider Applied Spatial Research (Wageningen Environmental Research)

Rapport 3197
ISSN 1566-7197

Van der Wal, T., S. Paolini van Helfteren, B. Abma, J. van de Zande en C. Kempenaar, 2022. *Hoe komen spuitdrones van de grond in Nederland?* Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3197. 42 blz.; 7 fig.; 2 tab.; 49 ref.

Op het snijvlak tussen luchtvaart- en landbouwregelgeving bevindt zich de ontwikkeling en inzet van spuitdrones. Nieuwe regelgeving op het gebied van gewasbescherming verwacht veel van drones als innovatieve manier om middelen toe te dienen. Echter, er zijn nog de nodige barrières voor het invoeren van spuitdrones. Naast regelgeving zijn dit ook de beschikbaarheid van hiervoor goedgekeurde middelen, opleidingen en licenties van drone-operators, technische standaarden voor spuitinstallaties en dienstenmodellen voor de markt. De studie constateert een positief toekomstbeeld voor spuitdrones, maar dat wetenschappelijke en technische ontwikkeling nodig is voor het wegnemen van risico's en onzekerheden. Deze studie geeft handvatten voor verdere onderzoeksinitiatieven en doorontwikkeling in de markt.

Trefwoorden: Sustainable Use Regulation, Drones, UAVs, RPAS, gewasbescherming, spuiten

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/579334> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3197 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: spuitdrone van Drone4Agro (bron: Future Farming)

Inhoud

Verantwoording	5	
Woord vooraf	7	
Samenvatting	9	
1	Introductie	11
	1.1 Aanleiding	11
	1.2 Doelstelling	12
	1.3 Aanpak	12
2	Sputdrones in de landbouw	14
	2.1 Operationele en technische ontwikkeling	14
	2.2 Kansen voor spuitdrones in het kader van IPM	16
	2.3 Non-IPM-kansen voor spuitdrones	19
3	Regelgeving	21
	3.1 Regelgeving met betrekking tot het vliegen met (spuit)drones	21
	3.2 Regelgeving met betrekking tot gewasbescherming	22
	3.3 Gewasbescherming en Goede praktijk	23
	3.4 Conclusie ten aanzien van wet- en regelgeving	24
4	Maatschappelijke aspecten	26
	4.1 Maatschappelijke aspecten	26
	4.2 Uitdagingen	28
	4.2.1 Wetgeving	29
	4.2.2 Digitale infrastructuur	29
	4.2.3 Effecten van de vertraging in marktontwikkelingen	29
	4.2.4 Investeringskosten	29
	4.2.5 Specificiteit in gebruik	30
	4.2.6 Druppelgrootte en bestrijdingsmiddel effectiviteit	30
	4.2.7 Data en compatibiliteit met al gebruikte systemen	30
	4.2.8 Impact op milieu	31
	4.3 Dienstenmodellen	31
5	Discussie	32
	5.1 Praktijkeisen aan spuiten en platform	33
	5.1.1 Luchtvaartregelgeving	33
	5.1.2 Spuitregelgeving	33
	5.2 Spuitdoel en payload	34
	5.3 Uitvoering en besturing: Spuiten met drones	34
	5.4 Roadmap	35
	5.4.1 Herzieningsproces	35
	5.4.2 Testen	35
	5.4.3 Demonstraties	36
	5.4.4 Beoordelingskader	36
	5.4.5 Niche	36
	5.4.6 Autonomie	36
6	Conclusie	37
Literatuur	39	
Bijlage 1	Conceptueel raamwerk	41



Verantwoording

Rapport: 3197

Projectnummer: BO-43-120.01-002

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Business Unit Manager Agrosystems Research (Wageningen Plant Research)

naam: Raymond Jongschaap

datum: 31-08-2022

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Wies Vullings

datum: 02-09-2022

Woord vooraf

Voor u ligt het resultaat van een onderzoek naar kansen en belemmeringen voor het toepassen van drones bij het uitvoeren van gewasbescherming en andere agronomietoepassingen in open teelten. Nadrukkelijk kunnen we stellen dat er kansen zijn voor drones bij gewasbescherming/IPM, maar er zijn ook zeker belemmeringen. Medewerkers van Wageningen University & Research brengen in dit rapport kennis en inzichten vanuit luchtvaart- en gewasbeschermingsmiddelen-regelgeving alsook de praktijk van drones en landbouw bij elkaar, om zo de weg naar duurzamere gewasbescherming met inzet van (spuit)drones te ondersteunen. Het gaat dan om het toepassen van chemische en groene bestrijdingsmiddelen en bio-stimulanten die verspoten worden, over het plaatsen van biologische bestrijders tegen ziekten en plagen (insecten, aaltjes, en micro-organismen) en om het uitbrengen van zaden op akkers (bijv. zaaien groenbemester in een gewas). De uitdagingen voor het marktrijp maken van spuitdronediensten worden ook besproken.

Het onderzoek werd uitgevoerd in 2021 en 2022 in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het was een onderdeel van het beleidsondersteunend onderzoeksprogramma Slimme Technologie. We bedanken medewerkers van SK&I van LNV voor de opdracht en de afstemming tijdens het onderzoek en het schrijven van het rapport.

Dr. ir. Raymond Jongschaap
Business Unit Manager Agrosystems Research

Samenvatting

Wie de vakbladen volgt, krijgt een groot enthousiasme voor de dronetechnologie mee: drones met camera's voor monitoring en detectie, maar ook steeds vaker drones als 'vliegende robot' voor het uitvoeren van taken. Met name drones voor spuiten van gewasbeschermingsmiddelen geniet veel aandacht. Dat is ook niet zo gek als men kijkt naar de al jarenlange inzet van spuitdrones in bijvoorbeeld Zuidoost-Azië, waar het een risico-arm alternatief is voor de gedragen rugspuit in bijv. natte rijstvelden of steile hellingen.

In Nederland (en West-Europa en Noord-Amerika) is het gebruik van spuitdrones nog niet echt van de grond gekomen, alhoewel er veel aandacht voor is vanuit de industrie, de media en de wetenschap. De hoofdvraag van deze studie is dan ook het identificeren van kansen voor spuitdrones qua effectiviteit, efficiëntie en kwaliteit van de spuitacties, alsmede welke randvoorwaarden daaraan gesteld (moeten) worden. De term spuitdrone moet hier breed gezien worden, het betreft zowel het toedienen van chemische middelen alsook uitbrengen van biologische bestrijders (levende organismen) ter bestrijding van ziekten, plagen en onkruiden in gewassen. En binnen chemische middelen is onderscheid mogelijk tussen synthetische stoffen en meer natuurlijke stoffen (ook wel groene middelen of laag-risicomiddelen genoemd).

Om deze vraag verder te beantwoorden, kijkt deze studie naar de businesscase en de maatschappelijke case van spuitdrones, naar wet- en regelgeving, naar andere randvoorwaarden, ook van stakeholders en naar de huidige barrières voor invoering. Uit deze analyse blijkt dat wet- en regelgeving de belangrijkste barrière vormt, alhoewel de voorstellen van de Europese Commissie voor een nieuwe verordening inzake het duurzaam gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, drones met naam en toenaam noemen als belangrijke technische innovatie. Maar ook dienstenmodellen en adoptie in de markt zijn mogelijke barrières voor een nabije toekomst met veel spuitdrones in het veld.

De studie heeft ook benoemd op welke wijze de invoering van spuitdrones versneld kan worden. Met name het bieden van een regelgevingsperspectief met tijdlijn wordt daarbij als belangrijke mijlpaal gezien. Om daar te geraken, stelt deze studie voor – op basis ook van deskundigenconsultatie – om de sector hierop voor te bereiden door bijv. het spuiten van water, groene middelen of biologische bestrijders, het verspreiden van zaad of mestkorrels en andere niet-chemische toedieningen alvast versneld toe te laten. Hiertoe moet ook in het kader van de luchtvaartwetgeving een specifiek traject worden doorlopen. Het gebruik van drones met camera's voor o.a. detectie van ziekten en plagen is al technisch en qua regelgeving mogelijk en wordt ook al in projecten toegepast.

Deze studie concludeert dat het gebruik van spuitdrones nog een jonge tak van sport is, maar dat onderzoek en technische ontwikkeling kunnen bijdragen aan een versnelling op de invoering hiervan. Wetenschap en marktpartijen kunnen ook stappen zetten in het voorbereiden van wet- en regelgeving om met spuitdrones in de praktijk te werken, onder andere door in het kader van de drone-luchtvaartregelgeving een standaardscenario voor spuiten te ontwikkelen.

Door samenwerking tussen overheid, wetenschap, markt en sector kan Nederland een innovatievoorloper op dit gebied worden, ondanks dat andere landen eerder al een voorsprong namen in de droneontwikkeling (zoals Frankrijk, Zwitserland en België). De inzet van drones voor spuiten biedt bovendien grote kansen om de inzet van gewasbeschermingsmiddelen duurzamer te maken.

1 Introductie

1.1 Aanleiding

Reasons for optimism in fast-growing drone market

17-06 | Drones | Article



Figuur 1 Vakbladen schrijven veelvuldig over de inzet van drones in de landbouw (bron: Future Farming website, 17-6-2022).

De inzet van drones voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen is een van de attractieve use cases van deze opkomende technologie. Terwijl er in het buitenland al tientallen jaren in de praktijk mee wordt gewerkt, is in Nederland het gebruik van spuitdrones geen gangbaar alternatief. Dit heeft onder andere met regelgeving te maken, zowel op het gebied van de luchtvaart (waar drones onder vallen) als op het gebied van gewasbescherming. Omdat spuitdrones een interessante technologie zijn voor bijv. spotspraying en vermindering van bodemverdichting door zware machines, is het een ontbrekende optie in het precisielandbouw-arsenaal. Dit is ook onderkend in de onlangs uitgebrachte voorstellen van een Europese 'Sustainable Use Regulation' waar het gebruik van drones nadrukkelijk wordt genoemd als technologische innovatie (EC, 2022). Het Ministerie van LNV heeft daarom gevraagd om te onderzoeken of en hoe spuitdrones in Nederland ingezet kunnen worden in de landbouwpraktijk. In deze verkenning wordt gekeken welke regelgeving, agronomische en maatschappelijke aspecten een rol spelen in de realisatie van spuitdrones in Nederland.

EU farmers: Unlock potential of agricultural drones or risk falling behind

By Natasha Foote | EURACTIV.com

📅 6 Jul 2020 (updated: 📅 16 Jul 2020)

Supporters



One promising solution for reducing the use of pesticides includes the use of drones for the targeted application of pesticides. [SHUTTERSTOCK]



Advertisement

Figuur 2 Illustratief artikel over de wens om met drones alternatieve manieren van toediening van gewasbescherming mogelijk te maken.

1.2 Doelstelling

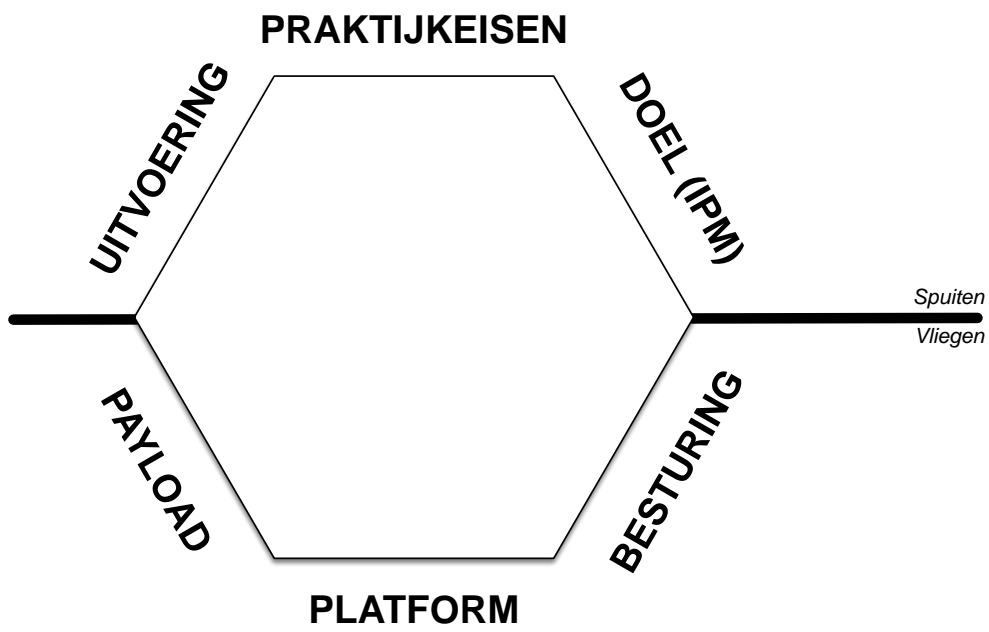
Doel van dit rapport is om bij te dragen aan een beter en breder inzicht naar de potentie van spuitdrones voor de Nederlandse landbouw. Hierbij worden technische mogelijkheden en ontwikkelingen geïnventariseerd. Daarnaast wordt het wettelijk kader beschreven waarin spuitdrones kunnen opereren. Het rapport bevat een aantal aanbevelingen in de vorm van een roadmap om de toepassing van spuitdrones voor de nabije en verdere toekomst in te richten.

1.3 Aanpak

Het onderwerp van deze studie, spuitdrones, bevindt zich op het snijvlak van twee domeinen, namelijk het vliegen met drones en de toepassing daarvan, in dit geval, in de landbouw en gewasbescherming specifiek. Figuur 3 geeft een grafisch beeld hoe deze domeinen nader geduid kunnen worden. De figuur heeft het domein 'spuiten' in drie hoofdgroepen verdeeld. Ook het domein 'vliegen' bestaat uit drie hoofdgroepen. Daarmee zijn vele termen die ook in dit rapport gebruikt worden, gerubriceerd. De figuur biedt een eerste analyse hoe de verschillende aspecten individueel en onderling samenhangen (lijnen). Ook zijn de tweemaal drie hoofdgroepen aan elkaar gerelateerd: de overliggende segmenten zijn het sterkst met elkaar verbonden als 'assen':

- **Praktijkeisen ↔ Platform:** de eisen die er vanuit de toepassing, het spuiten, gesteld worden, bepalen in hoge mate welk platform er ingezet kan worden;
- **Doel ↔ Payload:** afhankelijk van het 'spuit-doel' kunnen er verschillende payloads aan een platform hangen, inclusief camera's voor scouting of evaluatie;
- **Uitvoering ↔ Besturing:** op deze as zijn de elementen verbonden die van belang zijn in het spuitdomein en daarmee randvoorwaarden geven aan de besturing.

Deze verkenning bestaat uit een deskstudie. De tussenresultaten zijn door middel van expertinterviews geverifieerd en/of uitgebreid. Er is een workshop gehouden om met de experts ook een agenda voor verdere ontwikkeling af te stemmen.



Figuur 3 Conceptueel raamwerk voor onderzoek naar potentie van spuitdrones.

2 Spuitdrones in de landbouw

2.1 Operationele en technische ontwikkeling

In Nederland werden drones in de landbouw rond 2008 geïntroduceerd als platform voor Remote Sensing en een alternatief voor satellieten. Hiermee werd de beperking van satellietbeelden omzeild wanneer er door te veel bewolking geen goede beelden gemaakt konden worden. In Nederland is sinds die tijd een aantal bedrijven actief om met drones informatie voor land- en tuinbouw te verzamelen. Nog steeds is Remote Sensing de meest gebruikte toepassing van drones in Nederland. Drones worden ingezet voor het in kaart brengen van allerlei gewaseigenschappen.

Drones vallen onder de luchtvaart, en daarmee is de luchtvaartregelgeving een bepalende factor in het huidige gebruik. Regelgeving bepaalt waar drones aan moeten voldoen, hoe operaties uitgevoerd moeten worden en welke eisen er aan piloten gesteld worden.

Ook het zgn. 'vliegspuiten' waarbij bemande vliegtuigen gebruikt werden voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen is bekend onder de huidige regelgeving. Omdat drones en luchtvaart verbonden zijn, worden deze regels ook op drones van toepassing verklaard. Vliegspuiten is inmiddels verboden, tenzij er nood is (bijv. onbegaanbaar terrein door aanhoudende regen). Deze regels zijn echter een belangrijke sturende factor in de ontwikkeling van de sector, omdat dronespuiten dus ook als vliegtuigspuiten wordt gezien. Regels zijn medebepalend voor hoe succesvol een dienst of product kan zijn. Zo vormen de huidige hoge eisen aan de operator een barrière voor nieuwe toetreders in de dronediensten. Een ander aspect van de regelgeving zijn de vliegbepalingen die gelden rondom vliegvelden en laagvliegzones. Diverse landbouwgebieden liggen immers vlak bij vliegvelden (Schiphol, Lelystad, Eelde, Eindhoven e.a.; Van der Wal, 2016).



Figuur 4 Links: Yamaha RMAX spuitdrone in actie in een wijngaard in Napa Valley (bron: <https://youtu.be/ydfPzqaNkuA>); Rechts de DJI AGRAS MG (bron: <https://youtu.be/4gGMMPMm9MQ>).

Naast Remote Sensing zijn in er in het buitenland al verschillende initiatieven ontplooid voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen met drones. In Japan is het spuiten met onbemande luchtvaartuigen al zo'n 30 jaar praktijk, met onder andere de Yamaha RMAX – een op afstand bestuurd, onbemande helikopter. De RMAX wordt sinds 1991 commercieel ingezet. In Azië biedt deze manier van spuiten een alternatief voor rijdende spuiten of rugzak- of handspuiten en is het een goed alternatief in gebieden waar de bodem slecht begaanbaar is (Li, 2020). Eerder ging de boer met een handspuit de akker of het veld over en de spuitdrone. Als alternatief voor de toch grote spuit-helikopters, heeft de Chinese drone-bouwer DJI heeft een veel kleinere spuitdrone ontwikkeld, de AGRAS MG. Hiermee wordt het spuiten met drones veel

eenvoudiger – althans technisch. Regelgeving is ook hier een bepalende factor, niet alleen het vliegen, maar ook de landbouwkundige regelgeving t.a.v. het spuiten.

Inmiddels zijn er commerciële spuitdrones in allerlei soorten en maten – zie Tabel 1 voor specificaties. Belangrijk is om hier de drones te vergelijken met veldspuiten die tegenwoordig worden gebruikt, waarbij spanwijdtes van 30 tot 60 m mogelijk zijn.

Tabel 1 Voorbeelden van commerciële spuitdrones. Gegevens zijn indicatief en genomen van de websites.

Bedrijf	Draagcapaciteit (L)	Spanwijdte (m)	Vliegtijd (minuten)
DRONE4AGRO ¹	15, 25, 40, 80	3.0, 4.5, 6.0, 9.0	20
DJI	20	4-7	10-15
Dream Eagle	20	5-7	15-15
ASTA Technology*	10, 12, 15, 20, 30, 50	4-6 (10L) & 6-8 (50L)	15-20 (10L, leeg) & 7-14 (50L, vol)
Polardrone**	16	4-6	15
Volocopter/John Deere	200	9+***	30
Rantizo (DJI Agras MG 1P)	16	4	10 - 30
Yamaha (RMax)	16	3.13	60

* Spanwijdte en vliegtijd voor drones tussen de 10 en 50L kunnen geëxtrapoleerd worden van de gegeven data.

** Spanwijdte is voor de 'blanket spraying'-modus. Polardrone geeft ook mogelijkheden voor 'spot spraying', waarbij spanwijdte minder relevant is.

*** Spanwijdte is nergens vermeld. Een conservatieve spanwijdte is op basis van foto's geraden.

In Japan, Zuid-Korea en China worden spuitdrones vooral gezien als een veiligere toepassing vergeleken met handgedragen- en rugspuiten en een goedkopere optie dan vliegtuigspuiten (He et al., 2014, 2016, 2017). In deze landen worden spuitdrones op de veelal kleine percelen met voornamelijk natte rijst dan ook veelvuldig toegepast. De diversiteit aan spuitdrones is groot en varieert van single-rotor mini-helikopters met een rotordiameter van 2 m (Yamaha R-Max 3880; China Z-3, CAU-3WZN10A) tot multi-copter drones met 4 tot 24 rotors (DJI, Xaircraft, Quanfeng, TTA, China 3WSZ-15, 3WYR-30). Het draagvermogen aan spuitvloeistof varieert van 5 L tot 30 L voor de single-rotors en 1-10 L voor de multi-rotors en er wordt 1- 5 L/ha gespoten bij een werkbreedte van 2-5 m, een vliegsnelheid van 1-4 m/s en een vlieghoogte van 1- 5 m. In Japan wordt meer dan 90% van het natte rijstareaal met spuitdrones gespoten (> 950.000 ha en ongeveer 50% van het landbouwareaal). Dit zijn vooral single-rotor minihelikopter-toepassingen (He et al., 2014). In Zuid-Korea wordt op ongeveer 15% van het landbouwareaal gewasbescherming met spuitdrones uitgevoerd, voornamelijk in rijst. In China worden spuitdrones op een veelheid van gewassen ingezet (rijst, tarwe, mais, suikerriet, fruit en katoen), vooral ter vervanging van handspuiten. Van het totale landbouwareaal wordt ongeveer 1-2% gewasbescherming met spuitdrones uitgevoerd (He et al., 2017).

Waar vooral in (Zuid-Oost) Azië kleine percelen (1-2 ha) met spuitdrones worden behandeld, wordt er in Oekraïne melding gemaakt van grote graanpercelen (40 ha) die binnen een uur met een zwerm van drie spuitdrones behandeld werd (XAG, 2021).

Toepassing van spuitdrones in de Verenigde Staten (Giles et al., 2014, 2018) bij de gewasbescherming in wijnbouw laat zien dat de effectiviteit van met spuitdrone toegepaste meeldauwmiddelen vergelijkbaar was met de gebruikelijke wijnbouw-spuit. Beperking in het gebruik door weersomstandigheden (wind, mist) en het niet mogen gebruiken na zonsondergang waren duidelijke minpunten voor het gebruik van spuitdrones in vergelijking met standaard bespuitingen.

Li et al. (2018) hebben vergelijkende metingen gedaan in een appelboomgaard met een spuitdrone (Linyi Fengyun Aviation X 4; elektrische 4 multi-rotor met onder iedere rotor een spuitdop; 60 L/ha) en een standaard axiaal boomgaardspuit (1050 L/ha). De depositie in het gewas, de drift naar de lucht, depositie op de grond en de externe verontreiniging na bespuiting van de spuiten werden gemeten. De effectieve werkbreedte van de spuitdrone werd op grond van het depositiepatroon in een plat vlak vastgesteld op 2,23 m. De meeste depositie

¹ <https://drone4agro.com/specifications>.

was daarbij midden onder de spuitdrone en bel-vormig. De depositie op blad in de fruitboom was van de spuitdrone in absolute zin ($0,16 \mu\text{L}/\text{cm}^2$) lager dan van de axiaal boomgaardspuit ($2,79 \mu\text{L}/\text{cm}^2$), maar uitgedrukt als percentage van het uitgebrachte spuitvolume vergelijkbaar. De variatie in verdeling op het blad in de boom was voor de spuitdrone hoger (VC 48%) dan voor de axiaal boomgaardspuit (VC 33%). Door de airflow van de spuitdronerotors was de drift naar de lucht hoger dan die van de axiaal boomgaardspuit (10 tot 100 keer afhankelijk van afstand en hoogte). De depositie van spuitvloeistof op de grond in de boomgaard was bij de spuitdrone bespuiting maar 20% van die van de axiaal boomgaardspuit. De hoeveelheid spuitmiddel aan de buitenkant van de spuitdrone was na bespuiting van de boomgaard bij de spuitdrone twintig keer hoger ($14 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) dan die bij de axiaal boomgaardspuit ($0.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Geconcludeerd wordt dan ook dat door gebruik van spuitdrones bij boomgaardbespuitingen de drift aanzienlijk hoger kan zijn en er zorg is voor de operator bij het wisselen van spuitvloeistof containers en het aanraken van de drone. Aanbevolen wordt het spuitdroneontwerp te verbeteren en te onderzoeken of de spuihoogte van de drone verlaagd kan worden om de drift te beperken.

2.2 Kansen voor spuitdrones in het kader van IPM

Internationaal wordt IPM (Integrated Pest Management) als het kader voor gewasbescherming beschouwd. Het bestaat uit stappen/principes die te maken hebben met preventie, waarnemen, beslissen en prioritering niet-chemische bestrijding boven chemische bestrijding. Drones kunnen aan de meeste principes bijdragen. Idealiter moeten spuitdrones niet gezien worden als eenzijdige apparaten die alleen gewassen met chemicaliën kunnen spuiten. Een spuitdrone kan een veelzijdig en modulair systeem zijn dat verschillende taken kan doen. IPM is gekozen als kader, omdat het verder gaat dan alleen spuiten met middelen – het kijkt naar het hele gewasbeschermingsproces, waar drones een brede rol in kunnen spelen. Bovendien kunnen met drones ook biologische middelen (bijv. Roofinsecten) worden toegepast. IPM kan gezien worden als de combinatie van acht principes (Barzman et al., 2015), samengevat in Tabel 2 en daarna verder uitgelicht:

Tabel 2 Drone toepassingen in IPM.

IPM-principes	(Spuit)drones toepassingen
<i>Preventie en onderdrukking van populatie</i>	Door vroege detectie van nesten en ziektes zijn preventie en onderdrukking mogelijk.
<i>Monitoren</i>	Near realtime gewasmonitoring met camerasystemen in combinatie met AI, veldscouting voor het spuiten, controleren van plaagvallen.
<i>Basis van besluit op monitoring en drempelwaarde</i>	Drones kunnen drempelwaarde data geven.
<i>Gebruik van niet-chemische middelen</i>	Biologische bestrijding met o.a. insecten als payload.
<i>Gebruik van specifieke chemische middelen</i>	Van systematische en non-systematische bestrijdingsmiddelen. In bepaalde gevallen zijn drones beter met het verspreiden van bestrijdingsmiddelen over de hele plant. Dit komt door het effect van de rotoren op de wind onder de drone. Payload-gewicht limiet altijd een issue geweest voor grotere velden: Nu nog in ontwikkeling, maar hoge capaciteit lijkt mogelijk in de toekomst. Bijv. John Deere drone met 16 rotors heeft al capaciteit van 550 kg. Er zijn inmiddels verschillende systemen van ca. 10 m, tegen bestaande systemen van 30 tot 50 m.
<i>Chemische-middelenreductie</i>	Door VRA, gerichte/mogelijk lokale aanpak (vermindering gebruik per plant, over het hele veld), ook mogelijk te spuiten tussen en onder gewassen. Het is mogelijk met spuitdrones om dagelijks maatwerk toe te passen bij het spuiten. I.p.v. met een trekker één keer flink spuiten, kun je wanneer mogelijk een beetje spuiten waar het nodig is. Zelfde emissievrije doppen mogelijk als bij veldspuiten, maar tijdstip en plaats veel beter te kiezen, daardoor nog op riskante plekken, betere emissiebeheersing mogelijk (langs kwetsbare natuurgebieden of belangrijke watergangen.)
<i>Anti-resistentie strategieën</i>	Anti-resistentie is een ingewikkeld probleem, aangezien het soms handig is om minder te spuiten, en soms juist meer. VRA via drones kan in ieder geval beide doen. Anti-resistentie is ook veroorzaakt door de simplificatie van landbouwsystemen (monoculturen met weinig aandacht voor gevarieerde beschermingsmethoden).
<i>Evaluatie</i>	Snelle feedback loop mogelijk door drone.

Preventie en onderdrukking van populatie: preventie omvat het opstellen van teeltsystemen die inherent minder waarschijnlijk verlies maken door plagen. Onderdrukking gaat over het verminderen van incidenten in de tijd en intensiteit. Het eerste IPM-principe berust op een combinatie van beheerstrategieën in plaats van één plaagbestrijdingsmethode. Hieronder vallen strategieën als het gebruik van genetische resistente planten, diversificatie van teeltsystemen in tijd en ruimte, incorporatie van plaagbeheer met landschapselementen, en natuurlijke akkerranden.

Preventie en onderdrukking kan door spuitdrones gedaan worden door zich op nesten, beginnende ziektes en abiotische stress te richten. Dit gebeurt al door het lokaliseren van plaaghaarden, wat een boer gericht kan laten werken, en het verdelgen van de nesten zelf, door o.a. het lossen van natuurlijke vijanden en/of pesticiden. Door de relatie tussen abiotische stress en een verhoogde gevoeligheid voor biotische stressoren (Iost Filho et al., 2019) kan een boer ook gericht zoeken en er vroeg bij zijn als een plaag op zijn veld ontstaat.

Ook kunnen spuitdrones het werkbaar maken om teeltsystemen te hebben die divers in tijd en ruimte zijn, vergeleken met gangbare monocultuurlandbouw waarin trekkers de norm zijn. Hiervoor zijn de snelheid, autonomie en dagelijkse inzetbaarheid van een drone essentieel.

Monitoren: om efficiënt te kunnen bestrijden met minder middelen, zouden boeren idealiter weten waar en wanneer plagen en onkruid zich bevinden, voordat ze bestrijden. Helaas is dit niet altijd het geval en worden er voor de zekerheid hele velden bestreden met pesticiden.

Near realtime gewasmonitoring middels (spuit)drones is bewezen effectief en bruikbaar (Yoshio Inoue, 2020). Door machine learning-algoritmen te gebruiken om uit dronebeelden objecten in kaart te brengen (bijv. onkruid, beschadigde gewassen, abiotische stress), kunnen taakkaarten gemaakt worden. Vergeleken met gewasmonitoring via satellieten en vliegtuigen zijn drones makkelijker inzetbaar wanneer de boer dat wil, kan de resolutie veel hoger zijn (onder de centimeter) en is het mogelijk om te monitoren als het bewolkt is. Dit laatste kan ook met vliegtuigbeelden, maar niet met satellietbeelden.

Onder monitoring valt ook het controleren van plaagvallen. Vallen controleren is kostbaar, langdurig en arbeidsintensief werk, wat in sommige gevallen ook gedaan kan worden door drones (Roosjen et al., 2020). Ook hier worden machine learning-algoritmes toegepast om automatisch plaaghoeveelheid, -soort en -geslacht te differentiëren.

Basis van besluit op monitoring en drempelwaarde: voordat een keuze gemaakt wordt in het wel of niet bestrijden, is het belangrijk om onder andere te weten welke organismen, en in welke mate, zich op het erf bevinden. Het besluit tot bestrijden gebeurt op basis van een drempelwaarde die afhankelijk is van de situatie.

Spuitdrones kunnen de data leveren die de basis vormen van de drempelwaarden. Uit deze data kan de boer een beslissing nemen of kan de drone zelf acties uitvoeren.

Gebruik van niet-chemische middelen: er is bij IPM een voorkeur voor niet-chemische middelen als ze voldoende bestrijden, bijvoorbeeld door het gebruik van feromonen, bodemsolarisatie en biologische bestrijding.

Niet-chemische methoden die door spuitdrones kunnen worden toegepast, zijn semiochemische (feromonen) en biologische bestrijding (Iost Filho et al., 2019). Bij semiochemische bestrijding kunnen drones ingezet worden om paringverstoorders op het veld te plaatsen, wat de reproductie van specifieke plagen vermindert (Miller, 2015). Biologische bestrijding, aan de andere kant, omvat het introduceren van natuurlijke vijanden van de plaag (bijv. Teske et al., 2019) en/of steriele populaties (bijv. DuPont, 2018). Toediening van biologische bestrijding is tijdsintensief, kostbaar en eist de nodige precisie in de tijd en ruimte (sommige middelen moeten bijvoorbeeld per plant worden toegediend en dienen specifiek voor één levensstadium van één bepaalde plaag). Terwijl het tegenwoordig vooral met de hand gebeurt, wordt het ook toegediend via hulpmiddelen als de Mini-Airbug (Koppert, 2017) en brommers om meer terrein te kunnen afleggen, wat echter wel tot gewasschade kan leiden (Postali Parra, 2014). Spuitdrones kunnen ook hierbij helpen door sneller locatiegericht te kunnen handelen op basis van een taakkaart of door automatische detectie van eigenschappen die leiden tot plagen.

Gebruik van specifieke chemische middelen: wanneer niet-chemische middelen niet het gewilde resultaat leveren en men alsnog wil bestrijden, is het noodzakelijk om adequate chemische middelen te selecteren. Dit moet gebeuren op basis van wat specifiek nodig is en wat de minst negatieve effecten heeft op gezondheid, ecologie en milieu.

In combinatie met monitoring of een taakkaart kan een spuitdrone specifieke bestrijdingsmiddelen toedienen, precies waar het nodig is en zonder onnodige bodemdruk uit te oefenen. Bij pesticidegebruik is drift, het wegwaaien van middelen, een belangrijke factor om zo goed mogelijk te controleren en – voor veel toepassingen – te beperken. Ook al is drift een complex fenomeen dat o.a. beïnvloed wordt door vlieghoogte en -snelheid, windsnelheid, druppelgrootte en sproeikoptype, is er wel veel onderzoek naar en zijn de resultaten veelbelovend bij correcte kalibratie (bijv. Carvalho et al., 2020; C. Wang et al., 2020; G. Wang et al., 2020; Martin et al., 2019). Een bijkomend fenomeen dat voor drift zorgt bij drones, is de vorming van luchtwervels door de rotoren. Naast de negatieve effecten kunnen verticale luchtwervels ook bestrijdingsmiddelen dieper in de plantenstructuur brengen. Dit kan voor bepaalde middelen, de effectiviteit bevorderen (Guo et al., 2019; Li et al. 2020; Mogili en Deepak, 2021).

De draagcapaciteit van drones is een bekende limiterende factor. Bij grotere hoeveelheden chemische middelen worden de drones groter, wat meer energie kost en ook wrijft met luchtvaartregelgeving. Drones met kleinere volumes aan middelen moeten daarentegen vaker bijgevuld worden en kunnen, in hun huidige staat, daardoor minder efficiënt functioneren. Gayathri Devi et al. (2020) vatten verschillende spuitdronesystemen samen met draagcapaciteiten tussen de 1 en 25L.

NB Of spot spraying mogelijk is, en dus het behalen van reductie in middelgebruik, hangt naast de drone-spuit technologie sterk af van de werking van het chemische of biologische middel dat toegepast wordt. Veel chemische middelen hebben een preventieve werking, d.w.z. dat ze niet direct in contact met de ziekte, plaag of onkruid gebracht moeten worden, maar dat ze een preventieve, beschermende laag aanbrengen over de bodem/het gewas. Dit betekent automatisch dat je dan niet over *spot spraying*, maar over *blanket spraying* spreekt bij die groep van middelen. Variabel doseren (ook wel: *Variable Rate Application - VRA*) is hier wel een optie. Een voorbeeld is bestrijding van de aardappelziekte met fungiciden. De chemische middelen die beschikbaar zijn, zijn nagenoeg allemaal preventief werkende middelen. Voor deze toepassing heeft spot spraying, met het bestaande arsenaal aan middelen, geen zin.

Chemische middelenreductie: om de negatieve neveneffecten van chemische middelen verder te beperken, is het essentieel om de dosis zo klein mogelijk te maken en deze zo gericht mogelijk toe te passen. Belangrijk is om potentere middelen te vermijden die ook potentere neveneffecten hebben. Waarbij boeren met trekkers liever niet te vaak bodemdruk uitoefenen op hun velden en daardoor liever in één keer over het hele veld rijden, is het met drones mogelijk om gericht chemische middelen te gebruiken, wat tot reductie van middelen per veld leidt. Bij drones hoeft (en kan) niet alles in één keer – dagelijks (grotendeels geautomatiseerd) maatwerk is mogelijk. Als spuitdrones en de spuitkoppen precies goed zijn, evt. in combinatie met weer (bijv. windrichting), kunnen ze ook op specifieke delen van de plant richten of tussen planten (bijv. om alleen op het onkruid te spuiten). Dit leidt ertoe dat er op riskantere plekken betere emissiebeheersing mogelijk is (langs kwetsbare natuurgebieden of belangrijke watergangen).

Anti-resistentiestrategieën: de hoeveelheid plagen die resistent is voor pesticiden wordt groter. Het is daardoor belangrijk om strategieën te volgen die deze resistentie tegengaat.

Antiresistentie is een ingewikkeld probleem, aangezien het soms handig is om minder te spuiten, en soms juist meer. Drones kunnen in ieder geval beide doen. Antiresistentie is ook veroorzaakt door de simplificatie van landbouwsystemen (monoculturen met weinig aandacht voor gevarieerde beschermingsmethoden; Barzman et al., 2015). Door drones en andere innovatieve technologieën te gebruiken, wordt het werkbaarder voor boeren om gevarieerde teeltsystemen te hebben.

Evaluatie: door het toepassen van IPM komen er veranderingen in de werkwijze en methoden die een boer gebruikt om landbouw te bedrijven. Om de effectiviteit van de veranderingen in kaart te brengen en mogelijke verbeterpunten te vinden, is het noodzakelijk dat er geëvalueerd wordt. Boeren moeten actief nadenken en oordelen over hun praktijken om te leren en duurzaam te blijven.

Terwijl drones vooral in de praktijk hun niche hebben en evaluatie op de boer en zijn collega's berust, kunnen drones helpen door het leveren van data die een boer vervolgens kan analyseren voor zijn evaluatie.

Een voordeel van dronedata is het feit dat deze snel en volgens de wensen van de boer te verzamelen zijn. Zo kan een boer tijdig zijn strategieën aanpassen en datagedreven werken.

2.3 Non-IPM-kansen voor spuitdrones

Naast de toegevoegde waarde van spuitdrones op het gebied van IPM, zijn er ook andere voordelen van spuitdrones voor moderne landbouwsystemen.

Geen bodemdruk

Logischerwijs oefenen drones geen fysieke bodemdruk uit waardoor ze bij strategieën passen om minder bodemdruk uit te oefenen. Hierdoor is bestrijdingsmiddelengebruik niet meer een bron van verdichting en alle negatieve gevolgen van dien. Opbrengstverlies bij rijpaden, wat vooral bij kopakkers tot significante productievermindering kan zorgen, is dan ook niet meer een gegeven.

Waar trekkers slecht inzetbaar zijn bij natte omstandigheden, kunnen drones zonder probleem gebruikt worden bij natte bodems en zelfs ondergelopen terrein (bijv. rijstvelden). Ook zijn drones effectief bij moeilijk of vrijwel onbegaanbaar terrein, zoals boomgaarden, terrassen, ravijnen en steile hellingen. Boeren die een gevarieerd bedrijf hebben (bijv. akkerland en fruitteelt), kunnen spuitdrones voor alle delen gebruiken.

Vermindering menselijk contact met bestrijdingsmiddelen

Als bestrijdingsmiddelen niet door rijdende machines kunnen worden gespreid, gebeurt dat soms door mensen met rug-gedragen containers met chemicaliën. In het beste geval gebruiken werknemers beschermende pakken, maar in andere gevallen wordt dit niet gedaan en leidt dit tot een variëteit aan schade (Anger et al., 2020; Garreto et al., 2021; Soudani et al., 2020). Zoals boven vermeld, kunnen drones vliegen waar conventionele machines niet kunnen komen en kunnen ze ook pesticides aanbrengen tot dieper in de plant. Drones zouden mensen kunnen vervangen bij taken die schadelijk zijn voor hun gezondheid.

Toediening van nutriënten en zaad

Naast bestrijdingsmiddelen kunnen ook andere middelen toegediend worden door spuitdrones. In combinatie met prestatiekaarten, afgeleid uit dronebeelden, kunnen biostimulatoren en vloeibare macro- en micronutriënten precies en tijdig gespreid worden met drones (Udawat et al., 2020). Zo worden niet alleen limiterende factoren als plagen tegengewerkt, maar ook nutriëntentekorten. Ook zaden kunnen toegediend worden met drones. Zowel voor akkerlandbouw, waarbij de positie van de gewassen minder nauw is, als voor herbebossingsprogramma's zijn er al gebruikte toepassingen. In de rijstlandbouw bijvoorbeeld worden drones gebruikt om velden in te zaaien (Worakuldumrongdej et al., 2019) en in verschillende herbebossingsprojecten worden boomzaden geschoten vanuit drones (Lohit and Bisht, 2021).

These seed-firing drones are planting 40,000 trees every day to fight deforestation



One company plans to plant 100 million trees by the year 2024, by dropping seeds from drones in the sky, - Copyright Canva

Figuur 5 Nieuwsbericht over zaaien met drones, <http://www.euronews.com> (bezoekt: 18 juli 2022).

3 Regelgeving

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de wet- en regelgeving voor spuitdrones. Eerst wordt wet- en regelgeving uitgelicht met betrekking tot het vliegen met drones en vervolgens met betrekking tot gewasbeschermingsmiddelen. Standaardisering van technische eigenschappen en de relatie met wet- en regelgeving wordt daarna weergegeven.

3.1 Regelgeving met betrekking tot het vliegen met (spuit)drones

Sinds 31 december 2020 gelden in alle lidstaten van de Europese Unie dezelfde regelgeving ten aanzien van civiele onbemande luchtvaartuigen. De European Aviation Safety Agency (EASA) heeft regelgeving ontwikkeld die door de Europese Commissie en alle lidstaten is overgenomen. Deze 'Regeling onbemande luchtvaartuigen' is een nieuwe, Europees geharmoniseerde regelgeving en hierin wordt onderscheid gemaakt in drie categorieën (Rijksoverheid, 2020):

- a. Vluchten met een laag risico (Open categorie);
- b. Vluchten met een gemiddeld risico (Specifieke categorie);
- c. Vluchten met een hoog risico (Gecertificeerde categorie).

Met deze risico-gebaseerde regelgeving biedt EASA de mogelijkheid om voor allerlei ontwikkelingen, zoals spuitdrones, aanvullende vergunningen te regelen. De categorieën worden hieronder nader toegelicht.

Vluchten met een laag risico (Open categorie)

Hierbij gaat het om drones en operaties met de volgende eigenschappen:

- De drone weegt (bij het opstijgen) maximaal 25 kg;
- Tot maximaal 120 m hoogte;
- Geen gevaarlijke stoffen;
- Er mag niets uit de drone vallen;
- Altijd zicht op de drone. Dit heet de *visual line of sight* (VLOS).

Aanvullende regels en uitzonderingen worden bepaald door de subcategorie waar de drone in valt. De open categorie kent drie subcategorieën die eisen stelt aan de piloot, vlucht en drone:

- *Subcategorie A1, drones tot 500 g:*
Hierin vallen drones die maximaal 500 g wegen op het moment van opstijging. Onder deze subcategorie wordt het volgende onderscheid gemaakt met de volgende regels: (i) voor speelgoeddrones onder de 250 g gelden geen regels; (ii) bij drones onder de 250 g moet de gebruiker zich registreren bij de RDW als de drone een camera heeft; (iii) voor drones tussen de 250-500 g gelden dezelfde regels als voor andere vluchten met een laag risico.
- *Subcategorie A2, drones tot maximaal 2 kg:*
Hierbij gelden dezelfde regels als andere vluchten, maar door het hogere gewicht van de drone geldt hier een hoger risicoprofiel. Daarom moet de piloot een vaardigheidsbewijs hebben en minimaal 50 m horizontaal afstand houden tot mensen.
- *Subcategorie A3, drones tot maximaal 25 kg:*
Hierbij gelden dezelfde regels als voor andere vluchten met een laag risico. Daarnaast moet de piloot minimaal 150 m afstand houden van woon-, handels-, industrie- of recreatiezones, en mag er niet gevlogen worden in gebieden waar mensen zijn.

Vluchten met een gemiddeld risico (Specifieke categorie)

Een vlucht valt onder deze categorie als:

- Er boven mensen gevlogen mag worden;
- Vluchten in de buurt van luchtvaartterreinen zijn toegestaan;
- Er met drones boven 25 kg gevlogen mag worden;
- Binnen de bewoonde omgeving gevlogen mag worden;
- Er hoger dan 120 m gevlogen mag worden;
- Drones iets mogen laten vallen, bijvoorbeeld het besproeien van gewassen;
- Er buiten het directe zicht gevlogen mag worden (dus ook 's nachts). Dit heet *beyond visual line of sight* (BVLOS).

Voor dit soort vluchten moet de drone-eigenaar zich registreren bij het RDW, een vaardigheidsbewijs hebben, vooraf een risicoanalyse uitvoeren en toestemming hebben van het ILT (Inspectie, Leefomgeving en Transport). Het is op drie manieren mogelijk om toestemming te krijgen:

1. Het indienen van een declaratie volgens een Standaard Scenario (STS);
2. Het krijgen van een vergunning voor een bepaald type vlucht door het indienen van een *Specific Operations Risk Analysis* (SORA);
3. Het behalen van een *Light UAS Operator Certificate* (LUC).

Vluchten met een hoog risico (Gecertificeerde categorie)

Voor deze categorie worden regels nog ontwikkeld door EASA. Vooralsnog behoren tot deze categorie vluchten waarbij:

- er over mensenmenigten wordt gevlogen;
- mensen vervoerd worden;
- gevaarlijke stoffen worden vervoerd die bij een ongeval een hoog risico voor anderen kunnen opleveren;
- de drone een afmeting heeft van 3 m of meer en is ontworpen om boven menigten te vliegen, voor het vervoeren van mensen of gevaarlijke goederen.

Aangezien het verplicht is om ILT-goedkeuring te krijgen voor vluchten met een gemiddeld risico, kan het ILT besluiten dat de vlucht tot een hoog risico behoort.

Waar drones in de huidige wetgeving ingeschreven moeten worden in het luchtvaartregister en in sommige gevallen moesten worden voorzien van een SBvL-keuring, moeten vanaf 2023 alle nieuwe drones voorzien zijn van een speciaal drone CE-keurmerk. Op basis van met name het gewicht van de drone zijn zes verschillende klassen gecreëerd van C0 tot en met C6. Klasse C5 en C6 vallen dan in de Specifieke categorie.

Vanuit de luchtvaart- en dronereggeving is het dus steeds ingewikkelder om de benodigde goedkeuringen voor vliegen te verkrijgen, van laag naar hoog risico, ook omdat de regelgeving nog erg jong is en onder andere voor de gecertificeerde categorie nog nauwelijks ontwikkeld is. Hierdoor is er dus meer potentie in de laagrisico-categorie.

3.2 Regelgeving met betrekking tot gewasbescherming

In de Europese Richtlijn voor Duurzaam Gebruik van Gewasbeschermingsmiddelen (2009/128/EG) staat dat: "Derhalve dient het spuiten vanuit de lucht in het algemeen te worden verboden, met een mogelijkheid tot ontheffing wanneer daaraan duidelijke voordelen in de vorm van minder ernstige gevolgen voor de menselijke gezondheid en het milieu zijn verbonden in vergelijking met andere spuitmethoden of wanneer er geen haalbaar alternatief is, mits gebruik wordt gemaakt van de best beschikbare technologie om de verwaaiing te verminderen." (Overweging 14.) Voorts staat in artikel 9 uitgewerkt onder welke omstandigheden spuiten vanuit de lucht wel kan worden toegestaan, waaronder dat het spuiten vanuit de lucht minder schadelijk is dan vanaf de grond dan wel dat er geen alternatief is (vanaf de grond). Ook staat er dat de middelen die gebruikt worden nadrukkelijk voor vliegtuigspuiten moeten zijn goedgekeurd. Daarnaast zijn er ook onderdelen van de wet Gewasbeschermingsmiddelen en Biociden, art. 80, die op het onderwerp spuitdrones betrekking hebben. Het betreft een Nederlandse invulling op artikel 8 van de

Europese Richtlijn voor Duurzaam Gebruik van Gewasbeschermingsmiddelen (2009/128/EG). Daarbij gaat het om keuring en gebruik van apparatuur die voor gewasbescherming wordt gebruikt.

Verder moet in Nederland iedere toepasser van gewasbeschermingsmiddelen een spuitlicentie hebben, dus ook de piloot van een spuitdrone. In de Verenigde Staten (Giles et al., 2018) wordt aan iedere spuitdrone een unieke registratie gegeven en moet iedere toepasser/operator een certificaat hebben alsof hij een piloot van een spuitvliegtuig is en gewasbeschermingsmiddelen met het vliegtuig toedient.

In juni 2022 heeft de Europese Commissie voorstellen gelanceerd voor een nieuwe verordening, de zgn. Sustainable Use Regulation (EC, 2022). In deze update van de Europese Richtlijn voor Duurzaam Gebruik van Gewasbeschermingsmiddelen uit 2009 wordt onder andere het gebruik van drones voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen als belangrijke innovatie bestempeld. Deze verordening verwacht dat het nog wel drie jaar duurt voordat wetenschappelijk aangetoond is hoe spuitdrones bijdragen aan de doelen van de verordening en de Green Deal, met een reductie in gebruik. De Europese Commissie noemt het plaats-specifiek toedienen van gewasbescherming, ook met drones, een belangrijke innovatie om de doelen van de Green Deal in te vullen.

In ISO-verband wordt gewerkt aan standaarden voor het gebruik van spuitdrones in *ISO/TC23/SC6/WG25 – ISO23117 Unmanned Aerial Spraying Systems*, onder voorzitterschap van Zuid-Korea. Om zoals bij veldspuiten, boomgaardspuiten en kleine spuitapparatuur te voorzien in minimale algemene kwaliteitseisen van het werktuig zelf en zijn toepassing voor de toediening van gewasbeschermingsmiddelen, worden specifieke standaarden ontwikkeld die betrekking hebben op omgeving en milieu, de verdeling van de spuitvloeistof in een plat vlak, de drift en de verdeling van de spuitvloeistof in het gewas. De verschillende onderdelen zijn daarbij in de volgende stadia van ontwikkeling (stand september 2021):

- Part 1: *Environmental requirements*. Is in *Committee Draft* fase voor officiële opname in het ISO-traject.
- Part 2: *Test methods to assess the horizontal transverse spray deposition*. Is in *Provisional Work Item* stage en een eerste tekst is in voorbereiding.
- Part 3: *Field measurement method of spray drift for UAV chemical application*. Is in *PWI* stage, maar gekeken wordt of deze standaard niet meegenomen kan worden in de aanpassing van ISO22866 (Methods for field measurement of spray drift) met uitbreiding voor specifieke eisen bij gebruik van spuitdrones.
- Part 4: *Measurement method of droplets deposition into crop canopy for UAV chemical application*. Wordt eerst gekeken of ISO24354-2 (Spray deposition test for field crop - Measurement in a crop) ook gebruikt kan worden voor spuitdrones.

3.3 Gewasbescherming en Goede praktijk

Goede landbouwkundige praktijk gaat hand in hand met toepassen van IPM-principes. Als ervoor gekozen wordt om een gewasbeschermingsmiddel in te zetten, dient ernaar gestreefd te worden dat het middel zo goed mogelijk op het doel aangebracht wordt. Het gaat hierbij om depositie en effectiviteit van het middel. Vanuit het vakgebied van de gewasbescherming richt het onderzoek naar spuitdrones zich vooral op de verdeling van de spuitvloeistof in de verschillende gewassen en ook naar drift, zij het in wat mindere mate. In de beschikbare operationele systemen van spuitdrones is er nog maar weinig aandacht voor het spuitgedeelte zelf (spuitdoppen, positie van de dop t.o.v. de rotor of breedte van de spuitboom). De aandacht gaat vooral uit naar het vlieggedeelte van de spuitdrones (vlieghoogte, vliegsnelheid). Hierdoor sluiten de droneontwikkelingen nog onvoldoende aan bij de huidige praktijk van een goede gewasbescherming.

He et al. (2014) noemen effectiviteit van bespuitingen van 70-87%, waarbij lagere effectiviteit vooral veroorzaakt wordt door het van blad afblazen van de lucht onder de rotoren door de hoge snelheid en luchtbeweging (*downwash*) die nodig is voor de draagkracht. Veelal wordt geconcludeerd dat verdere ontwikkeling van de spuitdrone en optimalisatie van de spuitparameters nodig zijn. De interpretatie van de gepresenteerde data in de verschillende onderzoeken (He et al., 2014, 2016; Wang et al., 2016, 2020) is vaak onduidelijk en geeft aan dat er behoefte is aan uniforme meetprincipes en werkwijzen om de spuitdrones onder vergelijkbare omstandigheden te kunnen beoordelen. Dit is mede aanleiding geweest tot

het opzetten van een traject naar ISO-standaardisatie voor de minimale eisen aan de uitvoeringsvorm van een spuitdrone en de evaluatie van de spuitresultaten (ISO-23117).

De spuitdrones zijn in vele uitvoeringsvormen beschikbaar voor gebruik voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. De wisselende resultaten die gepresenteerd worden en de veelal hoge spreiding in spuitvloeistofdepositie op bladeren in het gewas of in de dwarsverdeling (VC 40-75%) geven aan dat er nog een en ander moet gebeuren om de kwaliteit van de bespuiting te verbeteren. Hierbij moet gedacht worden aan gestelde eisen aan de drift die buiten het perceel een risico kan vormen voor oppervlaktewater, niet-doelwit planten en arthropoda, omstanders en bewoners. Een toepassing in Nederlandse gewassen en onder Nederlandse omstandigheden op basis van de reeds beschikbare kennis kan aangeven of er potentie in de toepassing van spuitdrones zit in Nederland. Waar bij veldspuiten een dwarsverdeling met een VC<10% vereist is, mag men aannemen dat voor spuitdrones nog een weg te gaan is om op een vergelijkbaar niveau te komen.

In eerste instantie wordt voor Nederland vooral verwacht dat toepassing van precisielandbouw een uitbreiding kan krijgen met spuitdrones door het pleksgewijs behandelen van het perceel. Voorwaarde blijft dat de spuitvloeistofverdeling minstens overeenkomstig die van de huidige toedieningstechnieken moet zijn en de blootstellingsrisico's niet hoger mogen zijn. Dit kan randvoorwaarden geven waar bijvoorbeeld langs een sloot binnen het perceel wel en niet een spuitdrone gebruikt zou mogen worden.

3.4 Conclusie ten aanzien van wet- en regelgeving

Ten aanzien van wet- en regelgeving lijken de grootste kansen te liggen in wat kleinere drones tot 25 kg, waarbij een payload mogelijk is met ca. 16 L spuitvloeistof. Daarbij lijken de grootste kansen voor nichegebieden van fruitteelt en boomteelt en voor de overige land- en tuinbouw in *spot spraying*: toediening van middelen op noodzakelijke plekken die eerst door goede monitoring zijn verkregen. Daarbij wordt aanzienlijk op werkzame stoffen bespaard. Als teken van vooruitgang op gebied van het gebruik van spuitdrones in de EU, heeft dit jaar Duitsland het gebruik van twee DJI-drones (Agras MG-1P en Agras T16) toegestaan, specifiek voor gebruik in wijnbouw op hellingen zoals in de Moezelvallei met gebruik van één driftreducerende spuitdop (Lechler IDK 90-025 C).

Voor grootschalige akkerbouw lijken spuitdrones in NL minder geschikt door het vlakke land en de al goed geoutilleerde akkerbouwers met hun goede spuitmachines en gecertificeerde doppen (persoonlijke communicatie, B. Rijk, juni 2021). De Nederlandse akkerbouwer heeft over het algemeen goed onderhouden apparatuur met drift-beperkende spuitdoppen, die ook nog eens regelmatig gekeurd dienen te worden. Sectiecontrole (voor segmentbespuiting en middelbesparing) is nog lang niet algemeen, maar is in opkomst. Over het algemeen is het materiaal goed onderhouden en goed gekalibreerd, mede door de periodieke verplichte keuring. De capaciteit is ook groot. Werkbreedtes zijn toegenomen in tientallen jaren en veel boeren hebben een spuit staan voor 30-52 m, zodat zij zelf het optimale moment kunnen kiezen, vaak ook nog met hulp van adviseurs of adviesprogramma's. In paragraaf 4.3 worden mogelijkheden voor drones in de akkerbouw besproken.

Gezien de huidige luchtvaart- en gewasbeschermingswet zou er voor de toekomst een aparte status in de Gecertificeerde categorie of een permanente SORA binnen de Specifieke categorie moeten komen om voor bijv. loonwerkers toepassing van drones voor gewasbescherming mogelijk te maken.

Uitgaande van de recente plannen voor een Europese *Sustainable Use Regulation*, wordt over drie jaar ontheffing verleend van het vliegspuiten aan spuitdrones als instrument om gewasbescherming efficiënter (en met minder risico's dan met gangbare methoden) toe te dienen. De werkgroep die ermee bezig was, bekeek of spuitdrones een aparte subgroep moeten worden met een speciale status naast de twee scenario's zoals die nu benoemd worden: als *aerial application* of afhankelijk van landelijke regelgeving. In artikel 21 van de voorgestelde *Sustainable Use Regulation* laat de EC de lidstaten beslissen over een uitzondering voor drones op het verbod op vliegspuiten (artikel 20).

Spuitdrones worden vooral ook gezien als een interessante mogelijkheid als additionele toedieningsvorm bij precisielandbouw.

Als er ISO-normen zijn op een bepaald gebied kunnen nationale en EU-regelgeving daarvan gebruikmaken door naar de ISO-standaarden te verwijzen. Meestal worden de ISO-standaarden ook als nationale norm (NEN) overgenomen of in samenwerking met de EU ontwikkeld (CEN). Een ISO-norm is een minimale eis die aan werktuigen, meetmethoden en classificaties gesteld kan worden en zijn daardoor belangrijk voor internationale handel en de veiligheid van de werktuigen. De bovengenoemde ISO-standaarden die nu voor spuitdrones in ontwikkeling zijn, hebben betrekking op het spuitgedeelte van de spuitdrone, niet op de luchtwaardigheid.


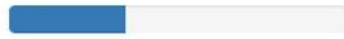
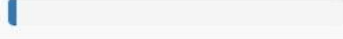
4 Maatschappelijke aspecten

4.1 Maatschappelijke aspecten

Innovaties staan soms op gespannen voet met regelgeving. Enerzijds omdat nieuwe technologische mogelijkheden niet of onvoldoende in regelgeving gevat zijn, anderzijds omdat regelgeving belemmerend kan zijn om technologische ontwikkelingen in te voeren. Het zoeken naar een balans tussen 'ruimte geven aan ontwikkeling' en het beschermen tegen ongewenste (en vaak nog onbekende) (bij)effecten is een uitdaging. Dit geldt ook voor spuitdrones. Zoals hierboven beschreven, is het toedienen van middelen met drones zowel vanuit de luchtvaart als de landbouw een innovatie die nog niet voorzien is in regelgeving.

Het Europees Economisch en Sociaal Comité, een adviesorgaan van het Europees Parlement, de Europese Raad én de Europese Commissie, heeft een aantal aanbevelingen gedaan voor herziening van de *Sustainable Use of Pesticides Directive* (SUD) uit 2009.² Hieruit blijkt dat het doel van deze richtlijn, het ontmoedigen van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, gebukt gaat onder een gebrek aan betaalbare alternatieven: "Het gebruik van alternatieve oplossingen blijft laag, voornamelijk als gevolg van hun ontoereikende efficiëntie en kosteneffectiviteit voor een optimaal gewassenbeheer." Bovendien constateert het EESC dat de ontwikkeling van alternatieven achterblijft of achterloopt bij het van de markt halen van schadelijke werkzame stoffen, zodat de landbouw met steeds minder middelen komt te staan. En, gegeven de minimale winstmarge van landbouwproducten in combinatie met hoge productiekosten, blijkt het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen een belangrijke rol te spelen in het overwinnen van opbrengstrisico's door aantasting, aldus het EESC. Zij bevelen onder andere aan dat er meer inzet komt op de ontwikkeling van alternatieve oplossingen voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en noemen daarbij expliciet het gebruik van drones. De inzet van drones kan een belangrijke bijdrage leveren aan het reduceren van gewasbeschermingsmiddelen, door bijvoorbeeld plaats-specifieker spuiten. Het EESC heeft zijn achterban geconsulteerd en geconcludeerd dat onderzoeksinstituten een belangrijkere rol daarin zouden moeten spelen. Een update: de *Sustainable Use Regulation* is in juni 2022 gepresenteerd (EC, 2022).

9) What is, or should be, the role of (a) research and (b) advisory services in: Promoting certain innovations in pesticides among those working in agriculture

		Answers	Ratio
Research		130	63.11 %
Advisory services		71	34.47 %
No Answer		5	2.43 %

Figuur 6 Enquête vraag van EESC over herziening SUD.

In het geval van spuitdrones gaat het om de samenhang van technologische (en agro-ecologische ontwikkelingen) met maatschappelijke aspecten. Er zijn al veel maatschappelijke aspecten vastgelegd in regelgeving, met name gerelateerd aan milieuaspecten. En daarin is ook een maatschappelijke ambitie om de hoeveelheid bestrijdingsmiddelen sterk te verminderen (GreenDeal/Farm2Fork strategy van de Europese Commissie). Vanwege de milieurisico's (m.n. drift) is vliegtuigspuiten al jarenlang verboden en spuitdrones dus ook.

² Referentie naar EESC rapport.

Daarnaast is er ook veel aandacht voor de risico's die autonome voertuigen met zich meebrengen. De risico's gaan hier voornamelijk over het wegvliegen ('Fly Aways') van drones, het neerstorten daarvan en het verstoren van vliegverkeer met hogere prioriteit (bemande vluchten, traumahelikopters etc.).

Verder zijn er zorgen over de veiligheid van elektronische systemen, zowel wat betreft het beschermen van de data als wat betreft het hacken van de drones of het overnemen van de controle door buitenstaanders.

De veiligheidsaspecten van drones zijn al voor een groot deel in regelgeving afgedekt, omdat de droneregels een risico-gebaseerde opbouw hebben. Vanuit een maatschappelijk oogpunt gaat het naast de regelgeving ook om de garanties dat die regelgevingsaspecten – binnen een bredere context van veiligheid – ook kunnen worden gegarandeerd via de technologie (denk aan waarschuwingspiepjes bij achteruit rijden in een auto). Ten aanzien van de vliegrisico's gaat het dan om bijvoorbeeld *Detect And Avoid*-ontwikkeling en de overgang van controle tussen een menselijke piloot en een automatische piloot.

Daarnaast gaat het ook over de vertaling van de technologische ontwikkeling naar beleid en maatschappelijke acceptatie, het zogenaamde *Governance Nudging*. Een belangrijk onderwerp hierbij is het aantonen dat de technologie voldoet aan de gestelde wet- en regelgeving (*Compliance*).

En natuurlijk wil iedereen een volledig veilig systeem. Hierin is echter een evenwicht te zoeken tussen veiligheid en praktisch – denk hierbij aan de beambte met de rode vlag die vroeger voor de stoomtram uit liep. Het definiëren van 'veilig' en vooral ook het zogenaamde restrisico is daarbij een belangrijk gegeven. Hierin zullen ook verzekeraars een rol spelen in wat wel en niet kan vallen onder een polis.

Dataprivacy

Privacy met betrekking tot dronetoepassingen kent twee specifieke varianten. Ten eerste is er de persoonsgerichte privacy, waar het gaat om personen of handelingen zodanig in data vast te leggen (camera's, track-and-trace etc.) dat daarmee de persoonlijke privacy geschonden wordt. Ten tweede is er de meer bedrijfsgerichte dataprivacy, waarbij de gegevens over de bedrijfsvoering zonder toestemming gedeeld worden.

Wat betreft de persoonsgerichte privacy besteedt de nieuwe EU-regelgeving omtrent drones daar weinig aandacht aan (Rathenau Instituut, 2019). Naast het feit dat er zonder toestemming geen foto-, film- en geluidsopnamen van mensen mogen worden gemaakt, wordt privacy niet behandeld. Over dit aandachtspunt kan men nog veel vragen hebben:

- Hoe zit het met toestemming bij mensen die niet herkenbaar in beeld komen?
- Al kunnen drones onder een bepaalde klasse niet boven andermans grondgebied vliegen, zijn er commerciële drones met camera's die dit wel mogen – mits ze niet lager dan 20 m vliegen – waar twijfels kunnen bestaan over het doel van de drone (bijv. opnames maken of alleen vliegen?)
- Hoe kan de bescherming van privacy gehandhaafd worden?
- Hoe zit het met het herkennen van privacygevoelige afgeleiden waarbij geen persoon herkend wordt? Bijvoorbeeld het herkennen van activiteiten, locaties, persoonsgebonden objecten etc. met camera's.

Wat betreft de bedrijfsgerichte dataprivacy kunnen twee punten behandeld worden: (i) het herkennen van bedrijfsactiviteiten, wat onder het laatste punt van de lijst hierboven valt en hierdoor niet verder besproken zal worden, en (ii) het delen van data afgeleid uit (spuit)drone activiteiten. Hieronder vallen data over middelengebruik, opbrengst, status van gewassen, genomen maatregelen, inventarisatie van bezittingen etc. Naast de boer kunnen andere organisaties deze data in hun voordeel gebruiken. Afspraken moeten gemaakt worden over het doorverkopen van de data en wat dit voor de boer kan betekenen.

Naast het voortdurend blijven innoveren en ontwikkelen van technische oplossingen om deze punten zo veel mogelijk te tackelen, is het ook van groot belang bij technologische innovaties dat hierover goed en duidelijk wordt gecommuniceerd en dat leken de gelegenheid hebben om hier ook zelf informatie over in te winnen. Waar het gaat om maatschappelijke acceptatie van spuitdrones is het relevant om vooral ook de innovatieve kant hiervan te benadrukken, waardoor agrarische ondernemers met veel minder middelen een gezond product kunnen oogsten.

Vertrouwen en transparantie

Om het gebruik van drones acceptabeler te maken in de maatschappij, is het nodig om vragen over transparantie te beantwoorden en het vertrouwen te vergroten (Jakku et al., 2019). Vragen als “wat wordt er met de data gedaan, wie verdient er wat aan, met wie/hoe wordt het gedeeld?” liggen in de kern van het maatschappelijk vraagstuk over dronedata.

Vertrouwen en transparantie gaan hand in hand; transparantie in het kader van dataeigendom en gebruik, is essentieel om het vertrouwen van boeren te verdienen. Hierin kunnen betrouwbare informatie- en adviesnetwerken, waar de boeren al bekend mee zijn, een belangrijke rol spelen als informatiepunt over datavraagstukken. Er moeten echter wel garanties zijn dat er *correct* met de data omgegaan zal worden. Dit kan contractueel vastgelegd worden, of ingebouwd zijn in de systemen als *transparency-proof software*. Hiervoor moet *correct* gedefinieerd worden en dataeisen worden gesteld die gebaseerd zijn op de eisen van gebruikers.

Ook op dit aspect is eerlijke en duidelijke communicatie over transparantie naar gebruikers en andere belanghebbenden cruciaal bij de grootschalige invoering van spuitdrones.

Autonomie

Wellicht een van de belangrijkste maatschappelijke aspecten van drones is de mate van autonomie waarmee de drone kan opereren. Autonomie levert namelijk kansen om operaties efficiënter en met minder arbeidskracht uit te voeren. De nieuwe regelgeving houdt geen rekening met de mogelijkheid tot autonome vluchten met drones. En autonomie is ook nog geen strak afgebakend concept en er worden verschillende invullingen aan gegeven, tussen autonomie en intelligentie, tussen automatische handelingen en zelfstandig opererend. Een aantal varianten van autonomie:

- Geprogrammeerde werkhulp (slapen terwijl het werk wordt gedaan)
 - Tevreden met uitvoering van het werk
- Bepalende intelligentie
 - Beslissingen overlaten aan machine
- Zelfstandig uitvoeren van taken
 - Kan de mens vervangen

Maatschappelijke wenselijkheid is om een vorm van ‘betekenisvolle menselijke controle’ te hebben. En de vraag is in hoeverre landbouwdrone ontworpen worden om dat ook mogelijk te houden (*‘ethics by design’*). Wat bij autonomie speelt, wellicht meer dan bij andere maatschappelijke aspecten, is dat de maatschappij verwacht dat er een aantal publieke waarden worden geborgd in technologie. Eén daarvan kan zijn dat er grenzen zijn aan waar een drone autonoom mag handelen en dat buiten die grenzen de controle vanuit een piloot (mens) vereist is. Experts geven echter aan dat zij autonoom of grotendeels autonoom gevlogen drones nu al veiliger achten dan manueel bestuurd drones – wat een tegenstelling vormt tussen wat veilig is en wat men veilig vindt.

Betrekking van maatschappelijke partijen

Onderzoek laat zien dat collaboratieve methodes, waarbij verschillende belanghebbenden geëngageerd worden om na te denken en mee te beslissen over de invoering en doorontwikkeling van technologieën, essentieel zijn (Jakku et al., 2019). De openheid van het onderzoek en (idealiter) transparantie vergroot het vertrouwen in de ontwikkelaars en de technologie.

Hierbij is het nuttig om netwerken/instanties te hebben waar belanghebbenden op kunnen vertrouwen en informatie kunnen vinden over de innovaties. Dit soort netwerken kan twijfels en waargenomen risico’s van de innovaties bufferen en voordelen communiceren.

4.2 Uitdagingen

Het gebruik van spuitdrones is niet alleen afhankelijk van wat er mogelijk is, maar ook van de nadelen. Dit hoofdstuk kijkt naar factoren die een uitdaging zijn voor het uitgebreid gebruik van spuitdrones. Technische uitdagingen die droneontwikkelaars tegenkomen (bijv. drone stabilisatie, autonome navigatie, batterijduur) zijn niet meegenomen in dit hoofdstuk – wel mogelijk gevolgen daarvan op spuittoepassingen.

4.2.1 Wetgeving

In hoofdstuk 3 zijn de relevante regelgevingsaspecten voor het toepassen van spuitdrones besproken. Onder de huidige regelgeving is het spuiten met drones bij wet verboden. Dit blijft ook onder de voorgestelde verordening, de *Sustainable Use Regulation*, van de Europese Commissie. Wel biedt deze verordening de mogelijkheid om drie jaar na inwerkingtreding een ontheffing op vliegspuiten voor drones te implementeren door de lidstaten. In deze periode is er dus veel werk te verzetten om de veilige werking van drones en de daarvoor benodigde regelgevingsaspecten te realiseren. Ook moeten de risico's van spuitdrones in kaart zijn gebracht. Deze periode is ook nodig om uit te zoeken hoe er met de luchtvaartregels omgegaan moet worden.

De verwachting is dat met de geldende en aankomende regelgeving er een piloot bij de spuitdrone aanwezig moet zijn die van de nodige certificaten voorzien is, onder andere vliegbrevetten en een spuitlicentie.

4.2.2 Digitale infrastructuur

Zoals ook uit wet- en regelgeving blijkt, maar ook onderdeel is van IPM, kunnen spuitdrones vooral dienstbaar zijn in het sterk verminderen van middelengebruik door alleen daar te spuiten waar het ertoe doet. Het detecteren, karteren en digitaal beschikbaar stellen van deze locaties vergt een digitale infrastructuur op en rond het boerenland. Het maken van de digitale instructies voor de drone, de zogenaamde taakkaart, is momenteel het werk van specialistische bedrijven, adviseurs, start-ups en wetenschappelijke tools als modellen en algoritmen. Het is zeker dat hieraan ook door controlerende instanties eisen zullen worden gesteld. En het gebruik van deze digitale infrastructuur zal ook niet zonder extra kosten voor de boer zijn.

In de digitaliseringsvisie van het Ministerie van LNV wordt ook gerefereerd aan uitdagingen voor datagebruik en -uitwisseling. Hierbij is de betrouwbaarheid en vertrouwelijkheid van gegevens (uitwisselen) een belangrijk thema. Momenteel wordt er nagedacht over de *governance* van data, onder andere in de PPS 'PL4.0'³ en in een ad-hocwerkgroep digitalisering van BO-Akkerbouw, RVO, LNV en WUR.

4.2.3 Effecten van de vertraging in marktontwikkelingen

In Europa behoren spuitdronetoepassingen nog tot een beginnende en niet ver ontwikkelde markt. In praktische zin zijn er in Nederland en de meeste Europese landen nog nauwelijks gebruikers en kan de markt ook nog niet verder in aanraking komen met een breder publiek aan gebruikers door de strenge regelgeving. Naast wat gelimiteerde proeven en wetenschappelijk onderzoek, kunnen boeren er nog geen ervaring mee opdoen en zijn zij niet of nauwelijks betrokken bij de ontwikkeling. Dit leidt logischerwijs tot een vertraging in de adoptie van spuitdrones.

Deze vertraging is niet alleen nadelig omdat alle voordelen van spuitdrones pas later van pas komen, maar ook omdat innovatie en ontwikkeling zullen plaatsvinden waar de technieken bruikbaar zijn (bijv. Aziatische en Afrikaanse landen; Dawodu, 2020). Dit leidt tot een nadelig speelveld en een technische achterstand bij Nederlandse (en ook Europese) bedrijven. Als er geen markt is, zullen de innovaties ook nauwelijks plaatsvinden.

4.2.4 Investeringskosten

Als wetgeving meer toelaat en het daadwerkelijk mogelijk wordt voor consumenten om spuitdrones te gebruiken, zijn kosten een belangrijke factor die adoptie zullen bepalen. Wij differentiëren tussen twee soorten kosten: mentale en economische.

Mentale kosten, dat wil zeggen de tijd en moeite die een gebruiker moet spenderen om een oplossing te leren kennen, zullen hoog zijn omdat Europese boeren nog zo weinig kennismaking hebben gehad met de technologie. Wellicht zal het al relatief wijdverspreide gebruik van spuitdrones in andere landen het

³ <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksprojecten-LNV/Expertisegebieden/kennisonline/Precisielandbouw-4.0.htm>.

adoptieproces versnellen door de vele voorbeelden. Toch zullen Europese boeren verder betrokken moeten worden in de ontwikkelingsfase voor specifieke Europese toepassingen.

Economische kosten, dat wil zeggen hoeveel geld het gebruik van spuitdrones in zijn totaliteit kost, moeten zo laag mogelijk zijn om adoptie te versnellen – deze kosten zijn inclusief de drone, sensoren, andere hardware en software, of de kosten om een *drone as a service* te huren. Lage kosten verlagen de drempel om uit te proberen en hebben een grotere gebruikersbasis als gevolg, wat tot meer feedback en verbeteringen van de techniek zorgt. Hierin kan de Europese markt gebruikmaken van de snellere ontwikkelingen in andere landen – kosten zijn al relatief laag voor spuitdrones en zullen naar verwachting lager worden naarmate de techniek ontwikkelt (Iost Filho et al., 2019). Wanneer de wetgeving meer toe laat, zullen onder andere Aziatische bedrijven ook in Europa een verbreding van hun afzetmarkt vinden. Europese bedrijven maken meer kans als de wetgeving sneller soepeler wordt.

4.2.5 Specificiteit in gebruik

Spuitdrones zijn niet overal even nuttig toepasbaar. Het gebruik, in vergelijking met al gebruikte methoden, is afhankelijk van de toegevoegde waarde van spuitdrones – wat onder andere afhankelijk is van de ligging en vorm van het veld, gewastype en beschikbare kennis en machines. Door het vlakke Nederlandse landschap zijn spuitdrones minder relevant als het gaat om hun kracht om in moeilijk terrein te opereren. Ook is er in Nederland een hoge mate aan relatief nauwkeurige mechanische bestrijdingsmiddelentoeëpassing bij grote velden. Deze machines zijn ontwikkeld om een zo groot mogelijk gebied te sproeien, terwijl ze maar op een beperkte oppervlakte bodemdruk uitoefenen.

Alsnog zijn spuitdrones relevant voor de Nederlandse landbouw. Voor de fruit- en boomteelt is het relevant doordat bestrijdingsmiddelen tot diep in de plant komen met spuitdrones. Daarnaast is het voor akkerlandbouw waarbij grote machines niet beschikbaar zijn, ook van toëpassing. Vooral als boeren op basis van prestatiekaarten heel gericht middelen willen toëpassen zonder dat er grote machines hoeven te worden gebruikt. Verder wordt het verkeer op het perceel helemaal vermeden, waardoor er meer oppervlakte (m.n. de rijsporen, soms wel 10-20%) benut kan worden.

Het is overigens van groot belang dat het gebruik van drones ook verzekerd kan worden, onder andere met een zgn. *Chemical Liability Insurance*, die onbedoelde schade en neveneffecten aan derden dekt. Dit kan veroorzaakt worden door drift, ongelukken bij transport of andere schade bij toediening.

4.2.6 Druppelgrootte en bestrijdingsmiddel effectiviteit

Door de gelimiteerde draagcapaciteit van drones kan ervoor gekozen worden om de concentratie van het bestrijdingsmiddel te verhogen en in kleinere druppels toe te dienen. Kleinere druppels hebben een uniformere verspreiding over een plant (Liu et al., 2021), maar kunnen ook makkelijker wegdrijven naar ongewenste locaties en verdampen ook sneller (Li et al., 2020). Het is hierbij belangrijk dat de dosis aangegeven door de leverancier gevolgd wordt, omdat de relatie tussen dosis concentratie en effectiviteit van pesticiden niet voor alle middelen duidelijk is (Barzman et al., 2015). Meer onderzoek moet gedaan worden om de evolutie van resistente organismen te vermijden – wat in lijn is met het zevende IPM-principe betreffende antiresistentie-strategieën.

4.2.7 Data en compatibiliteit met al gebruikte systemen

Met de verdere digitalisering van de landbouw is het essentieel dat nieuwe systemen soepel met oude systemen kunnen werken (Higgins et al., 2017). Vanuit de inputdata-kant moeten spuitdrones bijvoorbeeld taakkaarten kunnen inlezen in een werkwijze die makkelijk en aanpasbaar is. Ook de outputdata die uit een spuitdrone komen, zoals scoutingbeelden, moeten makkelijk te gebruiken zijn in andere systemen. Deze compatibiliteit staat in lijn met een algemenere noodzaak om data binnen de landbouw te standaardiseren.

Het proces van data-acquisitie tot de vorming van gebruiksklare informatie uit de data is een belangrijke uitdaging (Iost Filho et al., 2019). Bij het monitoren met geavanceerde sensoren kunnen meerdere terabytes aan data ontstaan. Deze data moeten goed opgeslagen, verwerkt, geanalyseerd en gevisualiseerd worden.

Elke fase heeft kosten en neemt tijd in beslag. Idealiter krijgt de boer informatie zo snel mogelijk, maar bij grotere hoeveelheden data neemt verwerking meer tijd in beslag. Ook zijn nauwkeurige automatische data-analysmethoden belangrijk om het gebruik van drones wijdverspreid te maken.

4.2.8 Impact op milieu

De potentiële voordelen van spuitdrones in de landbouw zijn duidelijk: het kan voor meer productiviteit zorgen met lagere kosten. Eventuele nadelen ervan op het milieu zijn echter nog niet goed onderzocht. Historisch gezien hebben nieuwe technologieën altijd onverwachte consequenties gehad op milieu en maatschappelijk niveau. Om de duurzaamheid van spuitdrones te garanderen, is onderzoek en evaluatie van de werking ervan nuttig (Dawodu, 2020).

4.3 Dienstenmodellen

In de gangbare praktijk heeft een behoorlijke optimalisatie van de teeltmaatregelen plaatsgevonden, waarin bedrijven deels maatregelen zelf uitvoeren en deels uitbesteden aan loonwerkbedrijven. Haast elk bedrijf heeft daar zo zijn eigen mix in, die ook afhangt van beschikbaarheid van arbeid en materiaal zoals gespecialiseerde machines. De eisen die aan drones en dronetoeepassingen gesteld worden vanuit de luchtvaart, maken het niet waarschijnlijk dat spuitdrones snel in het gangbare bedrijf ingevoerd gaan worden. Los van een totaal ander technologisch concept, zijn er ook eisen aan piloten die speciale licenties (brevetten) vereisen. Het ligt derhalve in de lijn der verwachting dat spuitdrones eerder door loonwerkers of gespecialiseerde bedrijven zullen worden opgepakt.

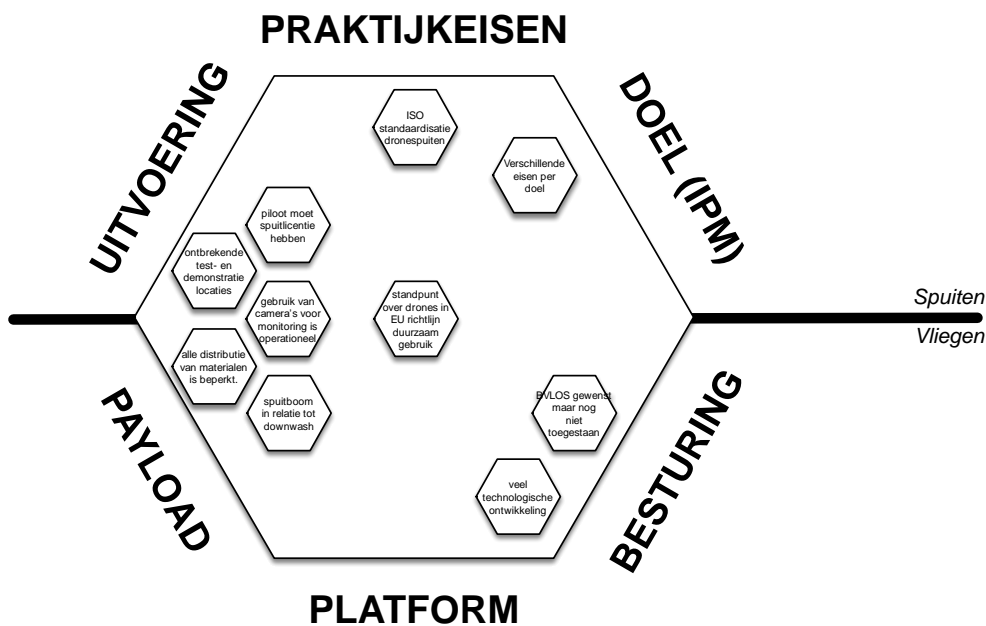
De verwachte besparingen met spuitdrones, zowel in economische als ecologische zin dan wel de mogelijkheid om met spuitdrones eenvoudiger aan regelgeving of industriestandaarden te voldoen, zijn nog onvoldoende duidelijk. De toepassingen zullen naar alle waarschijnlijkheid in eerste instantie duurder zijn dan gangbare gewasbescherming, waardoor het voor de boer nog geen economische drijfveer is om over te stappen.

Voor een spuitdroneoperatie, met name *spot spraying* of *Variable Rate Application* (VRA), plaatsvindt, zullen de locatie en de intensiteit van de behandeling moeten worden vastgesteld. Dit gebeurt momenteel veelal met Remote Sensing-data (uit satellieten of ook uit drones) in combinatie met modellen. Een effectief dienstenmodel omvat dus ook de organisatie van deze data op en rondom de percelen en de gewassen. En omdat de toepassing van middelen aan steeds meer eisen moet voldoen, is het ook van belang om meer en beter informatie uit te wisselen met de fabrikanten van de gewasbeschermingsmiddelen. Met name ook het kunnen aantonen dat toepassingen voldoen aan het voorschrift van de fabrikant (zgn. *Label Compliance*) vereist een betere digitale afhandeling.

5 Discussie

In deze studie zijn de mogelijkheden voor spuitdrones verkend aan de hand van een conceptueel kader, waarin 'spuiten' en 'vliegen' centraal staan. Voor de toepassing van spuitdrones zijn deze twee domeinen immers cruciaal en het raakvlak tussen beide is waar de spanning ontstaat, omdat het twee werelden wil combineren. In deze discussie gebruiken we het conceptuele kader om hier verder invulling aan te geven. De behandelde onderwerpen uit deze studie staan in onderstaande figuur samengevat. In de annex staat het hele raamwerk weergegeven, waarin ook de termen die bij de zes hoofdonderwerpen horen, nader zijn uitgesplitst. In het conceptuele kader zijn er drie assen benoemd, waarlangs de innovatie van spuitdrones vorm krijgt:

- Praktijkeisen ↔ Platform: de eisen die er vanuit de toepassing, het spuiten, gesteld worden, bepalen in hoge mate welk platform er ingezet kan worden;
- Doel ↔ Payload: afhankelijk van het 'spuit' doel kunnen er verschillende payloads aan een platform hangen, inclusief camera's voor scouting of evaluatie, dispensers of spuiten;
- Uitvoering ↔ Besturing: op deze as zijn de elementen verbonden die van belang zijn in de spuitoperatie en daarmee randvoorwaarden geven aan de besturing.



Figuur 7 Overzicht van onderwerpen geplaatst in het conceptuele kader.

5.1 Praktijkeisen aan spuiten en platform

5.1.1 Luchtvaartregelgeving

De huidige regelgeving voor drones is een risico-gebaseerde regelgeving. Spuitdrones zouden qua gewicht en het vervoer van chemische stoffen al gauw in een hoog risico komen. Daarom gelden er zware eisen aan piloot, drone zelf en het gebruik. Hierdoor is het voor loonwerkers, laat staan boeren zelf, lastig ermee te experimenteren of te operationaliseren.

Een van de beperkingen in de luchtvaartregelgeving is de zogenaamde *Visual Line Of Sight* (VLOS) eis, die stelt dat de piloot altijd zicht op de drone moet hebben om in te kunnen grijpen. Praktisch gezien is dit gedefinieerd als 500 m vanaf de piloot en met daglicht. Het zou voor spuitdrones juist heel praktisch zijn om ze 's nachts in te zetten, vanwege de doorgaans lagere windsnelheden 's avonds en 's nachts. Overigens maken drones ook nog wel wat lawaai. Om bezwaren van omwonenden te voorkomen, zou bijvoorbeeld alleen 's avonds, tot een paar uur na zonsondergang al een hele winst kunnen zijn. In deze regelgeving heet dat *Beyond Visual Line of Sight* (met piloot, maar niet ter plaatse) of Autonoom (zonder piloot). In de praktijk overigens zijn er nauwelijks problemen met drones wat betreft aanvaringen, fly-aways of ongecontroleerde landingen, het is vooral een punt van zorg. Professionele drones hebben bovendien tegenwoordig een twee- of driedubbel redundant besturingssysteem. Andere veiligheidsfuncties in drones, zoals 'Return to base', 'safe landing', 'geo-fencing', 'Sense and avoid' (object signalering en vermijding), zijn vaak allemaal ingebouwd. Drones hebben steeds meer sensoren. Toch verwachten ook experts niet dat 100% autonoom – waarbij de drone zelf beslist wanneer het gaat vliegen en wat het gaat doen – er snel van komt. Maar een verdergaande vorm van automatisering, waarbij er wel een waarnemer (op afstand) meekijkt, is denkbaar. Ook is er een ontwikkeling richting 'virtuele luchtverkeersleiding' waarbij zo'n systeem continu alle vliegende drones in de gaten houdt. Alle geregistreerde drones hebben een tag met positie.

Naast regelgeving zouden – voor een bredere maatschappelijke acceptatie van spuitdrones – fabrikanten moeten streven naar een branche-eigen 'safety by design'-keurmerk, zeker voor autonome systemen. En voor dergelijke systemen is het ook beter om de 'human in the loop' te beperken tot ingrijpen. In veel gevallen is het systeem veiliger dan de mens.

Een ander veelgehoord probleem is dat voor spuitacties wel 200-300 liter/ha nodig is. Om dat in een keer mee te nemen, worden de drones groter, waarmee ook de risico's en de impact groter worden. Kleinere drones maken meer kans van slagen voor toelating. Overigens is het loslaten van iets vanuit een drone an sich ook al een beperking in de regelgeving; hiermee zou zelfs ook het spuiten met water al een probleem zijn, maar ook het verspreiden van bijv. biologische bestrijders.

Het lijkt erop dat voor spuitdrones een aparte Specific Operation Risk Assessment (SORA) moet worden opgesteld. Met zo'n SORA kunnen spuitdrones onder voorwaarden worden toegelaten. Met zo'n SORA kan een scenario ontwikkeld worden, waarbij eisen gesteld kunnen worden aan de drone, de operator en aan het type missie. Met de ontwikkeling van een SORA en een standaardscenario zou het dronespuiten, althans vanuit de luchtverkeerswetgeving, kunnen worden gerealiseerd.

5.1.2 Spuitregelgeving

De *Sustainable Use of Pesticides Directive* (SUD) wordt herzien en de Europese Commissie heeft in juni 2022 de voorgestelde tekst voor de herziening naar buiten gebracht. Het is duidelijk dat het nu een verordening is, met directe werkingskracht bij invoering. Deze nieuwe *Sustainable Use Regulation* heeft onder andere drones opgenomen als mogelijke innovatie, zoals ook door veel partijen werd aangedragen.⁴ Onder de huidige SUD is het vliegtuigspuiten (incl. drones) verboden, tenzij een ontheffing gegeven wordt voor bijzondere omstandigheden. In Zwitserland en Duitsland is al van zo'n optie gebruikgemaakt om onderzoek naar drones voor het bespuiten van gewassen mogelijk te maken.

⁴ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/events/presentations/event_sante_pesticides_sud_20211005_pres_ramboll.pdf.

Zoals beschreven in dit rapport, is de spuitboom van een spuitdrone onderhevig aan dezelfde regels ten aanzien van druppelverspreiding en drift. De extra wind van de wieken (downwash) geeft wel een ander profiel, wat getest en gecertificeerd moet worden. Een ISO-werkgroep houdt zich bezig met het definiëren van standaarden voor spuitdrones en ook hoe deze gemeten kunnen worden.

Een belangrijk punt bij drift is het wegwaaien van bestrijdingsmiddel naar akkerranden, sloten en belendende percelen. Wanneer we kijken naar plaats-specifieke toediening, zijn de problemen met onkruid en plaaginsecten juist bij de randen het grootst.

5.2 Spuitdoel en payload

Een ander aspect van spuiten, is de aard van de middelen. Er worden steeds meer biologische middelen gebruikt, die een heel ander risicoprofiel hebben. Het zou een vraag kunnen zijn of voor deze middelen de regels aangepast kunnen worden, zodat het dronespuiten hiermee zou kunnen beginnen. Ook voor roofinsecten zou een apart risicoprofiel kunnen gelden.

Ook de drone-installatie kan aangepast worden om aan de eisen te voldoen. Een aparte spuitboom, verder van de propellers van de drone, zou een beter spuitbeeld moeten kunnen geven. Momenteel is het uitgangspunt dat de druppelverdeling van spuitdrones gelijk moet zijn aan die van rijdende spuiten. Ook ten aanzien van driftreductie moet aan vergelijkbare eisen worden voldaan. Dit stelt strenge eisen, ook aan spuitdrones.

Een andere interessante optie is om arbeidsintensieve taken te vervangen of reduceren. Zo is er in de biologische bestrijding soms veel arbeid nodig om insectenvallen te analyseren, door het tellen van het aantal insecten. Een drone die een foto maakt van zo'n val, met AI om te tellen, kan dan veel besparing opleveren. Maar ook dit soort niches moeten verder uitgewerkt worden, met name de impact van de downwash van de propellers in relatie tot de taak.

5.3 Uitvoering en besturing: Spuiten met drones

Een van de voordelen van het spuiten met drones is dat het in natte omstandigheden geen schade aan de bodem toebrengt, zoals soms met zware veldspuiten nogal eens het geval is. Ook kunnen tractoren en spuiten soms niet eens het veld in door de drassige bodem. Echter het is maar de vraag of boeren of loonwerkers een spuitdrone aanschaffen alleen voor calamiteiten. Voor het spuiten met drones zijn op kortere termijn vooral twee varianten denkbaar:

- het breder gebruik van spuitdrones, niet alleen voor bestrijdingsmiddelen, maar ook voor nutriënten, biostimulanten, biologische bestrijders e.a. waardoor de ontwikkeling aan drones en alle zaken daaromheen versneld kunnen worden. Ook is er de mogelijkheid om te beginnen met laagrisico;
- het inzetten van drones voor spot-spraying, curatieve behandeling van plaats-specifieke uitbraken van onkruid, ziektes of aantastingen. Hierin schuilt een belangrijke kracht van het dronespuiten, met kortere routes naar de spot en een snelle reactietijd.

In beide gevallen geldt echter dat regelgeving het momenteel verhindert. In Duitsland en Zwitserland is onderzoeksontheffing verleend voor dronespuiten. Daarmee zijn ook veldexperimenten mogelijk geworden.

Een ander issue is dat spotspraying vooral een curatieve behandeling is, terwijl voor veel gewassen geldt dat preventieve behandelingen de boventoon voeren. De huidige tendensen om minder middelen te gebruiken en bij het gebruik ook emissies te reduceren en middelen efficiënter in te zetten, geven zonder meer aanleiding om het gebruik van drones nader te onderzoeken en te operationaliseren. Er liggen kansen voor pleksgewijze bestrijding. Ook het 's nachts vliegen is een wens vanuit de sector om de drift te beperken door lagere windsnelheden.

Drones voor spuiten zijn nu nog relatief zwaar, met name door de payload. Om toch nog een redelijke vliegduur te houden, vergt dit een andere aandrijving dan de populaire elektrische motoren, waardoor de drone meer geluid maakt. Een toenemend vermogen voor electromotoren zal zeker bijdragen aan de ontwikkeling van zwaardere drones. Bovendien is het afwerken van alle checklists ook al een tijdrovende klus van minstens 20 minuten per vlucht. Ook hierin is regelgeving een sturende factor.

Daarentegen kan het ook interessant zijn om te kijken naar veel kleinere drones, die bijvoorbeeld een kever opsporen en bestrijden. Echter, kleinere drones, met kleinere payloads, hebben ook minder capaciteit. Dit is een tegenstelling die waarschijnlijk in verschillende use-cases anders uitpakt.

Voor IPM kunnen drones ook ingezet worden voor detectie en monitoring. Dit zijn inmiddels bewezen toepassingen, alhoewel de kosten ook daarvan hoog zijn vanwege de verplichte aanwezigheid van de piloot of waarnemer. De combinatie van monitoring en behandeling lijkt een aantrekkelijke dienst-combinatie, omdat de operator (de piloot) opgeleid wordt voor het vliegen en beide toepassingen daarmee kan uitvoeren. Met een drone wordt een perceel opgenomen en kan een taakkaart worden gemaakt, uit te voeren door een drone of ook door een gangbare veldspuit. Onderzoek in de precisielandbouw laat zien dat dergelijke taakkaarten een aanzienlijke besparing van spuitmiddelen oplevert, waardoor ook de rijdende machines minder zwaar worden en minder bodemdruk veroorzaken.

5.4 Roadmap

Op basis van de inputs van experts en de verzamelde opmerkingen van de workshop is een roadmap opgesteld. Het is een lijst met onderwerpen waar wetenschap, overheid en industrie gezamenlijk aan zouden kunnen (moeten) werken om de invoering van spuitdrones mogelijk te maken. De onderwerpen zijn nog niet in de tijd gepositioneerd, alhoewel een logische volgorde en prioritering wel zijn aangebracht. Een aantal onderwerpen kan ook parallel aan elkaar verder ontwikkeld worden.

5.4.1 Herzieningsproces

Vanuit de voortschrijdende techniek zou een herziening moeten plaatsvinden van regelgeving, met name ten aanzien van het vliegen. Er zou een aparte SORA, of beter een standaardscenario of andere uitzonderingspositie kunnen komen voor landbouwtoepassingen waarbij met een bepaald minimum aan beveiliging (bijv. incl. geo-fencing) meer mogelijk zou moeten zijn om praktijkervaring op te doen en toepassingen verder te ontwikkelen. Hierbij kan speciale aandacht besteed worden aan het eerst toelaten van de toediening van niet-giftige stoffen, zoals biostimulanten, water en semi-chemische (bijv. minerale oliën) of biologische bestrijding.

5.4.2 Testen

Op aangewezen locaties en onder voorwaarden zouden op meerdere plaatsen testlocaties moeten komen om ervaring op te doen met spuitdrones. Vanuit de tests zouden ook demo's voor de praktijk moeten worden gehouden. Het uitvoeren van tests en demonstraties is ook relevant voor de Europese schaal, omdat regelgeving voor zowel spuitmiddelen en drone-vliegen Europees georiënteerd is. Er is dus ook een terugkoppeling nodig tussen technische mogelijkheden en beleidsvorming. Als middelengebruik teruggebracht moet worden, worden efficiëntie en nieuwe precisietoepassingen veel belangrijker.

De discussie over autonomie zal net als bij andere transportmiddelen nog lang gevoerd worden. Vanuit de techniek kan iets heel veilig worden gemaakt, maar gevoel en sentiment zijn in sommige gevallen doorslaggevend. De sector zal met cijfers, tests en praktijkervaring aan moeten tonen dat het haalbaar is.

5.4.3 Demonstraties

Net als in Duitsland en Zwitserland zou in Nederland een ontheffing voor een specifieke locatie of toepassing kunnen komen om verschillende varianten te kunnen demonstreren en verder te ontwikkelen. Een specifieke 'drone-zone' voor spuitdrones zou ontwikkelaars en beleidsmakers de gelegenheid geven betere en meer informatie te verzamelen over hoe met spuitdrones om te kunnen gaan.

5.4.4 Beoordelingskader

Voor de toelating van spuitdrones in het Nederlandse luchtruim en voor het voldoen aan de eisen vanuit gewasbescherming en pesticidegebruik, is het van belang om een beoordelingskader te hebben. Hierdoor weten ontwikkelaars waar zij rekening mee moeten houden en daarmee kunnen ook businesscases worden uitgewerkt. Dit beoordelingskader volgt met name uit de herziening van de regelgeving, m.n. de gewasbescherming. Via een Specific Operation Risk Assessment (SORA) kunnen de luchtvaartregels toegepast worden en een gecertificeerde procedure opleveren voor het bijzondere geval van toepassen van spuiten met drones. Met het principe van de SORA kunnen spuitdrones in principe in de luchtvaartregelgeving ingepast worden.

5.4.5 Niche

Uit allerlei andere technische innovaties is gebleken dat een toepassing vaak eerst in een specifieke niche succesvol moet zijn voordat het breder wordt uitgerold. In het geval van spuitdrones kan de niche zitten in specifieke bestrijding (spot spraying) dan wel in een specifiek gewas. Ook kan het zijn dat er een bepaalde afstand tot andere objecten of activiteiten moet worden gehandhaafd (bijv. ver weg van mensen, open water of natuurgebieden).

5.4.6 Autonomie

De arbeidskosten door de verplichte aanwezigheid van een piloot of waarnemer, zelfs in een *Beyond Visual Line of Sight* (BVLOS) situatie, maakt het gebruik van drones duur. In het geval van spuiten tenminste net zo duur als een bemande rijdende spuit. Autonomoos vliegen is daarom een veelgehoorde wens. De technologie schrijdt heel snel voort, met meer sensoren en systemen om veiligheid te borgen. De discussie over autonomie wordt echter niet alleen in de landbouw gevoerd, maar ook in bijvoorbeeld het wegverkeer. De landbouw heeft echter een ander risicoprofiel, waarmee het ook op dit onderwerp wellicht een voorloper kan zijn en als testbed voor wegverkeer of vliegverkeer kan gelden.

6 Conclusie

In deze studie naar het gebruik van drones voor gewasbescherming zijn vele stakeholders gehoord en daaruit is een gestructureerde analyse naar voren gekomen. De twee kanten van spuitdrones, namelijk het spuiten enerzijds en het vliegen anderzijds, zijn nader onderzocht. Uit de analyse van de regelgeving alsmede de commentaren van experts, blijkt dat de huidige droneregelgeving mogelijkheden biedt voor het toepassen van spuitdrones. Echter, dat wil nog niet zeggen dat het eenvoudig of haalbaar is. Om onder de huidige Luchtvaartwet het vliegen en spuiten met drones met chemicaliën mogelijk te maken, moeten er verschillende stappen gezet worden, maar voor Nederland, de agrarische sector en de droneontwikkeling, is het aan te bevelen om naar een standaardscenario te streven. Nederland zou zich als innovatie-koploper hiermee zeer sterk kunnen profileren.

De bezwaren vanuit de landbouwwetgeving, en dan met name het verbod op vliegtuigspuiten en bijbehorende eisen aan de spuitinstallatie en driftbeperking, lijken met de komst van de nieuwe *Sustainable Use Regulation* voor een groot deel ondervangen te worden. Het gebruik van spuitdrones wordt daarin juist aangemoedigd als instrument om de hoeveelheid middel en de risico's die daarmee gepaard gaan, drastisch te kunnen beperken. Echter, de verordening stelt ook dat het aan de Europese Commissie is voorbehouden om de criteria voor inzet van drones voor toediening van gewasbescherming vast te stellen. De Commissie gaat daarbij partijen raadplegen. Nederland kan daarin een grotere rol spelen door de expertise in Nederland over het gebruik van spuitdrones verder uit te bouwen.

Naast de wetenschappelijke en technische onderbouwing van de risico's en de veiligheid van de inzet van spuitdrones, is het ook van belang om de economische omstandigheden voor de benutting van drones te genereren. Het gaat hierbij om de inzet van drones voor gangbare toepassingen en of de aanschaf, certificaten en bijbehorende opleidingen zaken zijn die huidige boeren en loonwerkers of gespecialiseerde bedrijven zullen oppakken.

Ook ligt er nog een uitdaging bij de gewasbeschermingsmiddelfabrikanten, om goedkeuring van middelen aan te vragen voor specifieke toepassing met spuitdrones, met name voor spotspraying.

Parallel aan de ontwikkeling om met drones naar een betere en vriendelijkere manier van gewasbescherming over te stappen, biedt deze vorm van gewasbescherming ook meer mogelijkheden tot digitale borging, van zowel de conclusie waar, wanneer en hoeveel te spuiten (algoritmen voor taakkaarten) als van de daadwerkelijke spuitactie (zgn. *as-applied* kaarten) alsmede het digitaal borgen van de compliance met de op labels aangegeven voorschriften. De digitale infrastructuur, inclusief het borgen van de rechten van boeren en loonwerkers, is hiervoor nog in ontwikkeling. Volgend uit de digitaliseringsvisie en de verschillende overlegtrajecten op dit vlak is dit een zeer concrete case waar machine-industrie, middenindustrie, sector, overheidsinstanties en ketenpartijen een groot belang bij kunnen hebben.

Op basis van deze studie en de ontwikkelingen op Europees gebied wat betreft regelgeving, en op mondiaal gebied waar het gaat om de technologieontwikkeling, is de conclusie dat verder onderzoek naar de inzet van spuitdrones bij zal dragen aan een versnelde innovatie, zowel in de ontwikkeling van spuitdrones als in de adoptie in de sector. Dit onderzoek heeft een aantal handvatten voor verder onderzoek aangedragen, die als roadmap voor verder onderzoek kunnen dienen.

Het gebruik van spuitdrones is nog een jonge tak van sport, maar onderzoek en technische ontwikkeling kunnen bijdragen aan een versnelling voor de invoering hiervan. Wetenschap en marktpartijen kunnen ook stappen zetten in het voorbereiden van wet- en regelgeving om met spuitdrones in de praktijk te werken, onder andere door in het kader van de drone-luchtvaartregelgeving een standaardscenario voor spuiten te ontwikkelen.

Door samenwerking tussen overheid, wetenschap, markt en sector kan Nederland een innovatie-voorloper op dit gebied worden, ondanks dat andere landen eerder al een voorsprong namen in de droneontwikkeling (zoals Frankrijk, Zwitserland en België). De inzet van drones voor spuiten biedt bovendien grote kansen om de inzet van gewasbeschermingsmiddelen duurzamer te maken.

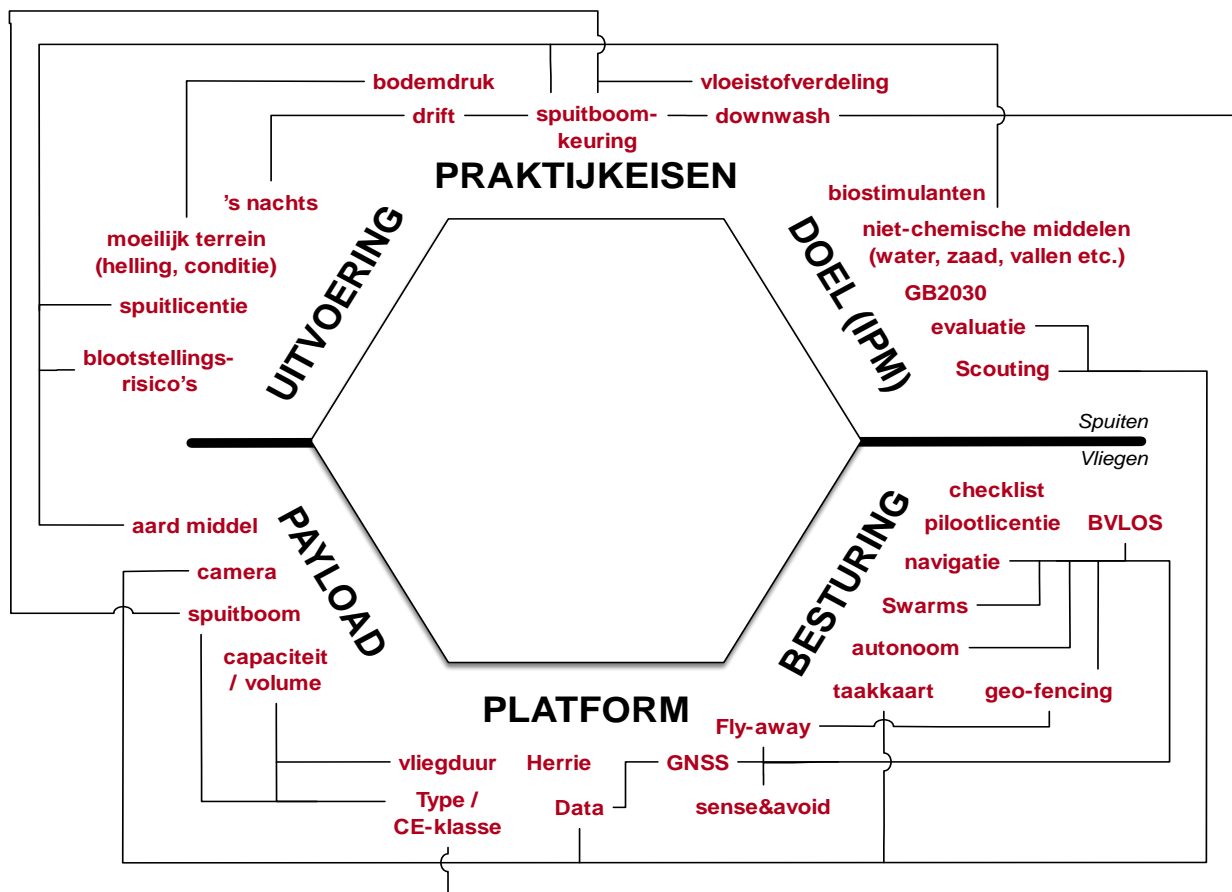
Literatuur

- Anger et al., 2020: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X20300206>.
- Barzman et al., 2015: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-015-0327-9>.
- C. Wang et al., 2020: https://www.researchgate.net/publication/342048497_Spray_drift_characteristics_test_of_unmanned_aerial_vehicle_spray_unit_under_wind_tunnel_conditions.
- Carvalho et al., 2020: https://www.researchgate.net/publication/340973562_Challenges_of_Aircraft_and_Drone_Spray_Applications.
- Dawodu, 2020: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3764787.
DOI: 10.25165/j.ijabe.20181102.3187.
DOI: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248.
DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201800504>.
- DuPont, 2018: Adding to the codling moth IPM tool box. WSU Tree Fruit. Available from <http://treefruit.wsu.edu/article/adding-to-the-codling-moth-ipm-tool-box/>.
- EC, 2022. "Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the sustainable use of plant protection products and amending Regulation (EU) 2021/2115", COM(2022) 305 Final. https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-06/pesticides_sud_eval_2022_reg_2022-305_en.pdf.
- EC, 2009. "Europese Richtlijn voor Duurzaam Gebruik van Gewasbeschermingsmiddelen" (2009/128/EG).
- G. Wang et al., 2020: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720333131>.
- Garreto et al., 2021: <https://www.mdpi.com/2313-576X/7/2/28/htm>.
- Gayathri Devi et al., 2020: https://www.researchgate.net/publication/341079569_REVIEW_ON_APPLICATION_OF_DRONES_FOR_CROP_HEALTH_MONITORING_AND_SPRAYING_PESTICIDES_AND_FERTILIZER.
- Giles, D.K. & R. Billing, 2014. Unmanned aerial platforms for spraying: deployment and performance. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 122, 2014: p.63-69.
- Giles, D.K., R. Billing & W. Singh, 2016. Performance results, economic viability and outlook for remotely piloted aircraft for agricultural spraying. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 132, 2016: p.15-21.
- Giles, D.K., R. Billing & W. Singh, 2018. Remotely piloted aircraft for agricultural spraying: Conclusions from multiple season operations. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 137, 2018: p.1-8.
- Guo et al., 2019: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0220024>.
- He, X, J. Bonds, A. Herbst & J. Langenakens, 2017. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *Int J Agric & Biol Eng*, 10(2017)3:18-30.
- He, X., X. Wang, J. Song, Z. Wang, C. Wang, S. Wang, Y. Liu & A. Zeng, 2018. Drift potential of UAV with adjuvants in aerial applications. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 137, 2018: p.9-18.
- He, X., Y. Liu, J. Song, A. Zeng & J. Zhang, 2014. Small unmanned aircraft application techniques and their impacts for chemical control in Asian rice field. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 122, 2014: p.33-45.
- Herbst, A., J.A.S. Bonds, Z. Wang, C. Wang, A. Zeng & X. He, 2020. The influence of Unmanned Agricultural Aircraft System design on spray drift. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 144, 2020: p.263-270.
- Higgins et al., 2017: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743016717303613?via%3Dihub>.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128&from=BG>.
- Iost Filho et al., 2019: <https://academic.oup.com/jee/article/113/1/1/5666881>.
- Jakku et al. 2019: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1573521418301842>.
- Koppert, 2017: <https://www.koppert.com/mini-airbug/>.
- Li et al., 2020: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ps.6052>.

-
- Li, L., Y. Liu, X. He, J. Song, A. Zeng, W. Zhichong & L. Tian, 2018. Assessment of spray deposition and losses in the apple orchard from agricultural unmanned aerial vehicle in China. 2018 ASABE Annual International Meeting, Detroit, Michigan, July 29 - August 1, 2018. ASABE Paper 1800504. 10p.
- Li, Xuan, et al. "Evaluation of an unmanned aerial vehicle as a new method of pesticide application for almond crop protection." *Pest Management Science* 77.1 (2021): 527-537.
- Liu et al., 2021: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-84459-4>.
- Lohit and Bisht, 2021: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9418227>.
- Martin et al., 2019: Effect of Application Height and Ground Speed on Spray Pattern and Droplet Spectra from Remotely Piloted Aerial Application Systems.
- Miller, 2015: CALS researchers deploy insect 'birth control' to protect cranberries. University of Wisconsin-Madison. News Available from <https://news.wisc.edu/cals-researchers-deploy-insect-birth-control-to-protect-cranberries/>.
- Postali Parra, 2014: <https://www.scielo.br/j/sa/a/ttFtM3FLW6BQZhmFcvJ5Vbx/?lang=en>.
- Rathenau Instituut, 2019: <https://www.rathenau.nl/nl/digitale-samenleving/uitdagingen-voor-regulering-van-drones-en-killer-robots>.
- Rijksoverheid, 2020: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/drone/vraag-en-antwoord/regels-drone-laag-risico>.
- Roosjen et al., 2020: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ps.5845>.
- Soudani et al., 2020: https://www.researchgate.net/profile/Soudani-Nafissa/publication/341313515_PESTICIDE_USE_AND_RISK_PERCEPTIONS_FOR_HUMAN_HEALTH_AND_THE_ENVIRONMENT_A_CASE_STUDY_OF_ALGERIAN_FARMERS/links/5eba6ae6a6fdcc1f1dd2f582/PESTICIDE-USE-AND-RISK-PERCEPTIONS-FOR-HUMAN-HEALTH-AND-THE-ENVIRONMENT-A-CASE-STUDY-OF-ALGERIAN-FARMERS.pdf.
- Teske et al., 2019: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1537511019308311>.
- Udawat et al., 2020: https://www.researchgate.net/profile/Archana-Singh-6/publication/352019506_IGDTUW_AIST-2020/links/60b5f52aa6fdcc476bdab903/IGDTUW-AIST-2020.pdf#page=145.
- Wang C., X. He, X. Wang, Z. Wang, S. Wang, L. Li, J. Bonds, A. Herbst & Z. Wang, 2018. Testing method and distribution characteristics of spatial pesticide spraying deposition quality balance for unmanned aerial vehicle. *International Journal Agriculture & Biological Engineering*: 11(2018)2: 18-26.
- Wang et al., 2020: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720333131>.
- Wang, C., S. Wang, X. He, J. Song, Y. Liu, A. Zeng & W. Gao. 2020. Design and test of aerial bipolar contact electrostatic spray system for UAV chemical application in orchards. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 144, 2020: p.279-287.
- Wang, C., X. He, J. Song, Y. Liu, J. Song & A. Zeng. The small single- and multi-rotor unmanned aircraft vehicles chemical application techniques and control for rice fields in China. *International Advances in Pesticide Application, Aspects of Applied Biology* 132, 2016: p.73-81.
- Wet Gewasbeschermingsmiddelen en Biociden, art. 80 en 8.14: https://wetten.overheid.nl/BWBR0021670/2015-06-01#Hoofdstuk6_Paragraaf2_Artikel80.
- Worakuldumrongdej et al., 2019: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8971461>.
- Yoshio Inoue, 2020: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2020.1738899>.

Bijlage 1 Conceptueel raamwerk

In bijgaand conceptueel raamwerk, dat in de basis ook is gepresenteerd in de inleiding, zijn de relevante aspecten van spuiten en vliegen met elkaar in verband gebracht.




Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3197
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3197
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.200 medewerkers (6.400 fte) en 13.200 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

