
Precisielandbouw en Gewasbescherming

Definities en de relatie tussen precisietoepassingen en de toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen

K. (Koen) van Boheemen, J. (Jits) Riepma en J.F.M (Jan) Huijsmans

Wageningen Plant Research



Dit onderzoek is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR) in het kader van beleidsondersteunend onderzoek MMIP Gezonde, robuuste bodem en teeltsystemen / Beoordelingsmethodieken Toelating Gewasbeschermingsmiddelen, project Ontwikkeling van tools voor systeembenadering (BO-43-102.01.013).

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, Oktober 2021

Rapport WPR-1118

Boheemen, K. van, Riepma, J. & Huijsmans, J.F.M., 2021. *Precisielandbouw en gewasbescherming; Definities en de relatie tussen precisietoepassingen en de toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen*. Wageningen Research, Rapport WPR-1118, 33 (44) blz.; 10 fig.; 2 tab.; 6 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/557901>

Trefwoorden: Gewasbescherming, Precisielandbouw, Toelatingsbeoordeling
gewasbeschermingsmiddelen

© 2021 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit
Agrosystems Research, Postbus 16, 6700 AA Wageningen; T 0317 48 07 00; www.wur.nl/plant-research

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere
manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen
ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-1118

Foto omslag: K. van Boheemen (eigen foto)

Inhoud

Woord vooraf	i
Samenvatting	iii
English summary	v
1 Inleiding	1
2 Het begrip “Precisielandbouw”	3
2.1 On-the-go precisietoepassing	3
2.2 Geschakelde precisietoepassing	3
3 Onderverdeling precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen	5
3.1 Variabele toepassing	6
3.2 Pleksgewijze toepassing	7
3.3 Hybride toepassing	7
4 Voorbeelden precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen	9
4.1 Variabele toepassingen	9
4.1.1 Variabel doseren bodemherbiciden	9
4.1.2 Variabel doseren loofdoodingsmiddelen	11
4.2 Pleksgewijze toepassingen	13
4.2.1 Pleksgewijs onkruiden bestrijden via onkruiddetectie	13
4.3 Hybride toepassingen	14
4.3.1 Precisiespuiten in fruitteelt	14
5 Overzicht precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen	17
6 Toediening gewasbeschermingsmiddelen optimaliseren	19
6.1 Automatische sectie- of dopafsluiting – Akkerbouw	19
6.2 Rijen- en strokenspuiten – akkerbouw	20
6.3 Tunnelspuit – fruitteelt	21
7 Precisielandbouw en toelating gewasbeschermingsmiddelen	23
7.1 Huidige praktijk	23
7.2 Koppeling met toelating gewasbeschermingsmiddelen	23
7.2.1 Variabele toepassingen	24
7.2.2 Pleksgewijze toepassingen	24
7.2.3 Hybride toepassingen	24
7.3 Operationalisering: elke kaart toetsen	25
7.4 Terugkoppeling impact	25
7.5 Controle	25
8 Discussie	27
9 Conclusie	29
10 Vervolgstap	31
Literatuur	33

Woord vooraf

De inzet van gewasbeschermingsmiddelen is een onderdeel van het primaire productieproces in de agrarische sector. De sector heeft zich als doel gesteld om de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen zo beperkt mogelijk te houden. Bij de inzet van gewasbeschermingsmiddelen kan een precisietoepassing leiden tot middelbesparing en verlaagde blootstelling van beschermdoelen. Zodoende kan precisietoepassing een rol spelen bij de beoordeling voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen. De term precisielandbouw wordt op verschillende manieren toegepast en duidelijke terminologie ontbreekt. In deze rapportage wordt de terminologie uitgewerkt, gericht op de case "gewasbescherming in relatie tot de toelating van gewasbeschermingsmiddelen". Dit onderzoek is in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR) in het kader van beleidsondersteunend onderzoek MMIP Gezonde, robuuste bodem en teeltsystemen / Beoordelingsmethodieken Toelating Gewasbeschermingsmiddelen, project Ontwikkeling van tools voor systeembenadering (BO-43-102.01.013).

Samenvatting

Precisielandbouw begint een plek te krijgen in een groeiend aantal agrarische bedrijven in Nederland, waarbij precisietoepassingen betreffende bemesting en gewasbescherming voor veel telers een hoge prioriteit hebben. Bij de inzet van gewasbeschermingsmiddelen kan een precisietoepassing leiden tot middelbesparing en verlaagde blootstelling van beschermdoelen. Zodoende kan precisietoepassing een rol spelen bij de beoordeling voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen. De term precisielandbouw wordt op verschillende manieren toegepast en omdat duidelijke terminologie ontbreekt wordt precisielandbouw steeds meer een kaderbegrip. In deze rapportage wordt een stap gezet om de terminologie duidelijk te definiëren, gericht op de case *gewasbescherming door de inzet van gewasbeschermingsmiddelen*. Precisielandbouw wordt gedefinieerd als “Precies datgene doen wat een plant of dier nodig heeft binnen de grenzen van tijd en ruimte en naar gelang de economische en sociale grenzen met in acht neming van milieuaspecten”. Er is alleen sprake van een precisietoepassing als er plaats-specifiek gemeten én beslist én uitgevoerd wordt. Er binnen precisietoepassingen worden twee werkvormen onderscheiden, te weten een *on-the-go* precisietoepassing waarbij meten, beslissen en uitvoeren real-time gebeuren en een geschakelde precisietoepassing waarbij meten, beslissen en uitvoeren los van elkaar gebeuren. Bij de inzet van gewasbeschermingsmiddelen zijn drie types toepassing te benoemen. De eerste is een variabele toepassing, waarbij het hele perceel behandeld wordt maar waarbij de dosering per locatie aangepast wordt aan de situatie ter plekke. De tweede is een pleksgewijze toepassing, waarbij per locatie bepaald wordt of toediening nodig is alvorens dan wel of niet toe te dienen. De derde is een hybride, waarbij variabel en pleksgewijs gecombineerd worden: per locatie wordt eerst bepaald of toediening nodig is en als toediening nodig is wordt bepaald met welke dosering. Omdat het begrip *dosering* veelvuldig gebruikt wordt is dit begrip opgesplitst naar:

- Adviesdosering: de dosering aangeraden door de producent van het gewasbeschermingsmiddel
- Eigen dosering: de dosering die een teler bepaalt op basis van kennis en ervaring
- Minimaal effectieve dosering: de dosering die in theorie precies hoog genoeg is om het gewasbeschermingsmiddel effectief te laten werken gegeven de geldende omstandigheden op een locatie op het moment van toedienen
- Toedieningsdosering: de dosering zoals deze naar de veldspuit wordt gestuurd voor toediening
- Toegediende dosering: de dosering zoals de veldspuit daadwerkelijk heeft toegediend

Verschillende precisietoepassingen voor gewasbescherming zijn geïllustreerd aan de hand van praktijkvoorbeelden. Met behulp van deze praktijkvoorbeelden wordt aangegeven hoe plaats-specifiek gemeten, beslist en uitgevoerd wordt. Ook wordt kort ingegaan op technieken die tijdens het uitvoeren van gewasbeschermingstoepassingen kunnen zorgen voor een hogere efficiëntie.

Precisielandbouw en de beoordelingsmethodieken voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen worden samen belicht. Variabele toepassingen hebben voornamelijk invloed op de toegediende hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel per locatie; pleksgewijze toepassingen beïnvloeden voornamelijk de locaties waar toegediend wordt; hybride toepassingen beïnvloeden deze aspecten allebei. De beschreven definities en uitgewerkte praktijktoepassingen geven aanknopingspunten voor de beoordeling van de toelating van gewasbeschermingsmiddelen. Verschillende kansen en uitdagingen binnen dit proces, zoals restvloeistof, invloed van variabiliteit binnen percelen en data-uitwisseling, worden in de discussie benoemd. Geconcludeerd wordt dat er kansen liggen om stappen te maken in het opnemen van precisietechnieken in de beoordelingsmethodieken voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen.

English summary

Precision agriculture is earning its place in the Dutch agricultural sector, with crop protection as one of the main points of attention for many farmers. Precision-application of plant protection products (PPPs) can, besides reduction in the amount applied, result in a lower exposure of different protection-targets to PPPs. Taking these effects into consideration, precision-applications for crop protection could play a role in the exposure assessment of PPPs in the authorisation procedures. The term *precision agriculture* is used in multiple, different ways and clear definitions lack. This report aims to clearly define the terminology regarding crop protection through precision application of PPPs. Precision agriculture is defined as “Exactly meeting the needs of plants or animals within space and time while respecting economic and social boundaries and taking into account environmental aspects”. In the proposed terminology, an application is only a precision-application if site-specific measurements are done and a site-specific decision is made and this decision is subsequently carried out site-specifically. For precision-applications, two methods of operation are defined. In *on-the-go* precision-applications, measuring, decision-making and application are all done in real-time. In *chained* precision-applications, measurement, decision-making and application need not happen at the same time. Specifically for crop protection, three types of precision-application can be identified. In a *variable rate* application, the whole field is treated while the dose is varied to meet the conditions in each location. In a *spot-spraying* application, for each location the decision is made whether application is required before doing so. Finally, a *hybrid* form exists where *variable rate* and *spot-spraying* are combined: For each location the decision is made whether application is required and only if application is required, subsequently the appropriate dose is determined. As the term *dose* plays an important role, it is split into:

- Advised dose, depicting the dosage advised by the producer of the PPP.
- Own dose, depicting the dosage chosen by the farmer based on knowledge and experience.
- Minimal effective dose, depicting the dosage which (in theory) is just high enough to reach the desired goal of the application, taking into account the local conditions at the moment of and on the position of application.
- Application dose, depicting the dosage sent to the sprayer as required application-rate
- Applied dose, depicting the dosage as actually applied by the sprayer

Multiple precision-applications for crop protection have been illustrated using examples from practice. For every example, the methods used to site-specifically measure, decide and apply are described in detail. Additionally, a short discussion on how different application-technologies can contribute to a higher efficiency during application is included.

Precision agriculture and the Dutch assessment methodologies for the authorisation of PPPs are then discussed together. Variable rate applications mainly influence the applied dose per location; spot-spraying applications mainly influence the locations where application takes place; hybrid applications influence both these aspects. The proposed definitions and presented examples from current agricultural practice offer a starting point for the exposure assessment methodologies of PPPs in the authorisation procedure. Multiple challenges and opportunities within this procedure, such as left-over spraying fluid, influence of variability within a field and data-exchange, are discussed in the discussion-chapter. It is concluded that multiple opportunities exist to make steps towards inclusion of precision-techniques into the assessment methodologies for the authorisation of PPPs.

1 Inleiding

Precisielandbouw begint steeds meer ingebed te raken in de Nederlandse landbouw. Bij een enquête in de eerste helft van 2020, afgenomen bij 203 akkerbouwbedrijven in Nederland (Kempenaar *et al.*, 2020), gaf 85% aan GPS te gebruiken bij hun werkzaamheden. De grootste toepassing van GPS ligt op het gebied van (handsfree) rechtrijden bij de diverse bewerkingen op het veld. De adoptie van precisietoepassingen op het gebied van gewasbescherming en bemesting ligt lager; ~20% geeft aan deze technieken te gebruiken. Met een toename van het aantal gebruikers groeit ook de discussie over wat wel precisielandbouw genoemd mag worden en wat niet, met als resultaat dat precisielandbouw op dit moment een kaderbegrip is. Voor een goede discussie is eenduidige terminologie nodig. Dit document is bedoeld om een deel van de terminologie van precisielandbouw op te helderen, waarbij de casus zich richt op gewasbescherming met betrekking tot de inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Bij de inzet van gewasbeschermingsmiddelen is deze vraag actueel bij de toelatingsbeoordeling voor gewasbeschermingsmiddelen. Hierbij is het, naast resultaten van precisietoepassingen en borging, essentieel dat de gebruikte terminologie helder is. Deze rapportage zal de terminologie ophelderen met behulp van een indeling voor precisietoepassingen bij de inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Om de gebruikte methodiek te verduidelijken zijn verschillende gewasbeschermingsbewerkingen uit de praktijk opgenomen in dit document, waarbij de werkwijze uitgelegd wordt. Tegelijk worden per toepassing de resultaten uit de Nationale Proeftuin Precisielandbouw tot en met 2020 meegenomen.

De focus ligt op de verschillende aspecten van precisietoepassing in relatie tot de blootstelling van beschermdoelen zoals deze meegenomen worden in de beoordelingsmethodieken voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen. Verkennend wordt gekeken naar deze aspecten en hoe deze meegenomen kunnen worden in de beoordelingsmethodieken.

2 Het begrip “Precisielandbouw”

In dit document wordt precisielandbouw gezien als kaderbegrip. Precisielandbouw wordt gedefinieerd als “Precies datgene doen wat een plant of dier nodig heeft binnen grenzen van tijd en ruimte en naar gelang de economische en sociale grenzen en milieuaspecten”. Omdat precisielandbouw gezien wordt als één van de manieren om de landbouw duurzamer (in de brede zin van het woord) te maken wordt het te pas en te onpas gebruikt. Allereerst is het dus nodig het begrip precisielandbouw in de goede context te plaatsen. Gesteld kan worden dat er sprake is van een precisietoepassing als deze toepassing ten minste de volgende 3 stappen omvat:

1. Plaats-specifiek **meten**
2. Plaats-specifiek voor elke locatie een optimale behandeling **kiezen (beslissen)**
3. Plaats-specifiek deze optimale behandeling **uitvoeren**

Onder **meten** wordt verstaan het inspecteren van het gewas, waarbij met behulp van sensoren gekeken wordt hoe het gewas er bij staat, waaraan het het gewas eventueel ontbreekt en waardoor het gewas misschien geplaagd wordt. Onder **beslissen** wordt verstaan het interpreteren van de meetgegevens, daarbij eventuele andere (meet)gegevens in acht nemend, om zo te bepalen welk en hoeveel gewasbeschermingsmiddel nodig is om de optimale situatie te bereiken. Onder **uitvoeren** wordt verstaan het toedienen van het gewasbeschermingsmiddel in de hoeveelheid zoals bepaald in de **beslis**-stap.

Alleen de combinatie van deze 3 stappen zorgt er, in deze terminologie, voor dat een toepassing een precisietoepassing genoemd mag worden. Volgens deze definitie vallen dus technieken die, bijvoorbeeld door mechanische aanpassingen aan de veldspuit, alleen op het bed of op de rij spuiten niet onder precisie, tenzij er plaats-specifiek gemeten, beslist én uitgevoerd wordt. Deze mechanische aanpassingen hebben, net zoals precisietoepassingen, wel degelijk een effect op het gewasbeschermingsmiddelgebruik en kunnen dus een rol spelen in de beoordeling van de toelating (zie ook hoofdstuk 6). Bij het doorlopen van bovengenoemde drie stappen (meten, beslissen, uitvoeren) wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende werkvormen van precisielandbouw: *on-the-go* precisielandbouw en geschakelde precisielandbouw.

2.1 On-the-go precisietoepassing

Bij *on-the-go* toepassing worden de 3 stappen van meten, beslissen en uitvoeren in één keer uitgevoerd. Een sensor, beslisregel en toedieningsmethode worden samen op een machine of trekker gemonteerd/geïnstalleerd en tijdens het uitvoeren wordt per locatie gemeten, (automatisch) een beslissing genomen over het toedienen (wel/niet en/of met welke dosering) en deze beslissing wordt meteen uitgevoerd. Een belangrijke kanttekening bij een *on-the-go* toepassing is dat van tevoren niet precies bekend is hoeveel gewasbeschermingsmiddel er gebruikt zal gaan worden om het gehele perceel te behandelen.

2.2 Geschakelde precisietoepassing

Bij de geschakelde toepassing kunnen het meten, beslissen en uitvoeren door losse systemen en/of op losse tijdstippen gedaan worden. Dit betekent dat het meten gedaan kan worden door een systeem dat het best geschikt is om deze meting uit te voeren en/of op een moment dat de omstandigheden optimaal zijn om de meting uit te voeren. De meetdata kan daarna geïnterpreteerd worden door een systeem (bijvoorbeeld een beslissingsondersteunend managementsysteem) dat ook andere informatie zoals weerdata, historische data of vergelijkbare data, tot zijn beschikking heeft. Doordat de meetdata van het hele perceel beschikbaar is kan de toepassing ingeregeld of berekend worden op een manier die het best past bij alle situaties die in het perceel voorkomen. Ook kan indien nodig rekening worden gehouden met een beperkte beschikbaarheid van een gewasbeschermingsmiddel, welke optimaal over

het perceel verdeeld dient te worden. Het uitvoeren kan daarna plaatsvinden op een moment met optimale omstandigheden voor de toediening.

3 Onderverdeling precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen

Na het opdelen van precisielandbouw in de twee werkvormen, on-the-go en geschakeld, is ook de aard van de toepassing op te delen in drie categorieën:

1. Variabele toepassing
2. Pleksgewijze toepassing
3. Hybride toepassing waar variabel én pleksgewijs toegediend wordt

Het is belangrijk op te merken dat bovengenoemde indeling betrekking heeft op de 2^e en 3^e stap van precisielandbouw, namelijk het beslissen en uitvoeren van de genomen beslissing per locatie. De variabele en pleksgewijze toepassingen sluiten elkaar niet uit: ook een hybride-vorm is mogelijk, waarbij pleksgewijs toegepast wordt met een variabele dosering. De drie toepassingsvormen zijn samengevat in Tabel 1 en voorbeelden hiervan zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4.

Tabel 1 Verschillende vormen van precisiebespuiting

	Variabele toepassing	Pleksgewijze toepassing	Hybride toepassing
Doel van toepassing	Dosering aanpassen aan situatie per locatie	Alleen toedienen op locaties waar nodig	Alleen toedienen op locaties waar nodig en dosering aanpassen aan situatie per locatie
Methode	Toedieningsdosering aanpassen	Machine aan- of uitschakelen	Machine aan- of uitschakelen, toedieningsdosering aanpassen
Wordt het gehele perceel behandeld?	Ja	Uitgangspunt is van niet, maar kan wel nodig (blijken te) zijn	Uitgangspunt is van niet, maar kan wel nodig (blijken te) zijn

In dit hoofdstuk en in de rest van dit document zal het woord *dosering*, ofwel de hoeveelheid toegediend gewasbeschermingsmiddel per oppervlak (vaak liters per hectare of kilogram per hectare), veelvuldig gebruikt worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

- *Adviesdosering*
Met *adviesdosering* wordt de dosering bedoeld zoals aangeraden door de fabrikant van het gewasbeschermingsmiddel. Deze dosering wordt overgenomen in de berekeningen die nodig zijn om tot toelating te komen, en worden in het wettelijk gebruiksvoorschrift, vastgesteld door het Ctgb bij de toelating, genoemd. Toedienen van een hogere dosering dan de adviesdosering is niet toegestaan.
- *Eigen dosering*
Met *eigen dosering* wordt de dosering bedoeld die telers zelf, eventueel in overleg met een gewasbeschermingsadviseur, bepalen als beste dosering om het gewenste effect te bereiken met een toediening. Vaak ligt deze eigen dosering lager dan de adviesdosering.
- *Minimaal effectieve dosering*
Met *minimaal effectieve dosering* wordt de dosering bedoeld die in theorie precies hoog genoeg is om het gewasbeschermingsmiddel effectief te laten werken onder bepaalde omstandigheden. Deze minimaal effectieve dosering is afhankelijk van meerdere factoren en kan met behulp van beslismodellen berekend (benaderd) worden als deze modellen beschikbaar zijn voor het betreffende gewasbeschermingsmiddel.
- *Toedieningsdosering*
Met *toedieningsdosering* wordt de dosering bedoeld zoals deze naar de veldspuit gestuurd

wordt. De systemen op de veldspuit zullen proberen deze dosering toe te dienen door de afgifte aan te passen. De toedieningsdosering hoeft niet altijd gelijk te zijn aan de minimaal effectieve dosering, zoals uitgelegd zal worden in paragraaf 3.1 en figuur 1.

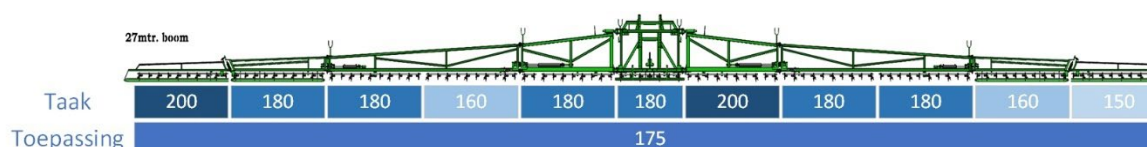
- *Toegediende dosering*

De *toegediende dosering* staat voor de dosering zoals deze daadwerkelijk is toegediend door de veldspuit. De toegediende dosering hoeft niet altijd gelijk te zijn aan de toedieningsdosering als gevolg van (technische) limitaties van de veldspuit. Als de situatie in het veld vraagt om grote veranderingen in toedieningsdosering in naast elkaar gelegen gebieden dan kan het zijn dat de veldspuit tijd nodig heeft om de afgifte aan te passen, wat kan lijden tot afwijkingen tussen toedieningsdosering en toegediende dosering.

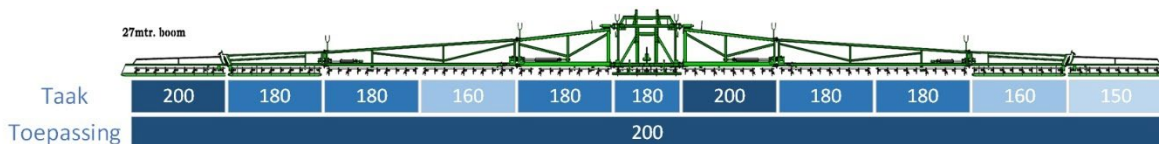
3.1 Variabele toepassing

Bij een variabele toepassing wordt de dosering aangepast aan de hoeveelheid die op elke locatie nodig is. Uitgangspunt is dat toedienen overal in het perceel nodig is. Per locatie in het perceel wordt aan de hand van meetwaarden de minimaal effectieve dosering bepaald om zo met minimale input van gewasbeschermingsmiddel het gewas optimaal te verzorgen. Overal wordt dus toegediend, echter de dosering varieert.

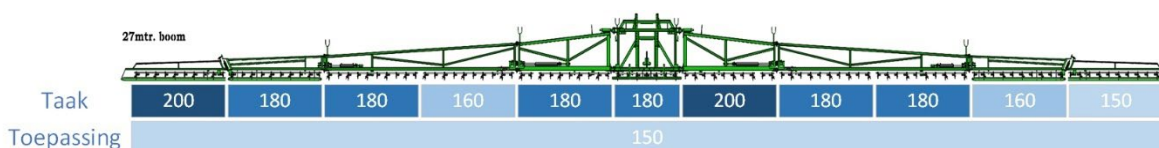
Vooralsnog zijn de meeste machines die een variabele toepassing doen in staat om over de gehele werkbreedte één dosering toe te dienen, die 1 á 2 keer per afgelegde meter bijgesteld wordt. Als er meerdere meetdata-punten binnen één werkbreedte vallen is een rekenstap nodig om tot één dosering te komen, de toedieningsdosering. De praktijk hierbij is dat tijdens het beslisproces doorgerekend wordt op het detailniveau van de metingen, en dat pas op het laatst in het beslisproces de stap gemaakt wordt naar de werkbreedte van de machine. Figuur 1A illustreert dit: Er liggen 11 meetpunten onder de spuitboom en dus worden er ook 11 minimaal effectieve doseringen uitgerekend. Pas als laatste stap worden deze omgezet naar één toedieningsdosering. Afhankelijk van de toepassing en het gebruikte gewasbeschermingsmiddel kan het gewenst zijn om de machine de hoogste of de laagste gewenste dosering binnen de werkbreedte te laten toedienen, zoals geïllustreerd in figuren 1B en 1C. De nieuwste generatie veldspuiten kan worden uitgerust met een systeem waar per spuitdop (vaak geplaatst met 0,5 m of 0,25 m tussenafstand) de dosering tot ~25 keer per seconde kan worden veranderd.



Figuur 1A Gemiddelde toediening op basis van gedetailleerde taakkaart



Figuur 1B Maximale toediening op basis van gedetailleerde taakkaart



Figuur 1C Minimale toediening op basis van gedetailleerde taakkaart

3.2 Pleksgewijze toepassing

Bij een pleksgewijze toepassing is het uitgangspunt dat het gewasbeschermingsmiddel alleen toegediend wordt op plekken waar dit nodig is. Verschillende indicatoren kunnen gebruikt worden om te bepalen of toedienen op een bepaalde plek nodig is, zoals in de voorbeelden uitgewerkt (hoofdstuk 4). Veel veldspuiten kunnen per 3 of 6 m werkbreedte aan- of uitgeschakeld worden om pleksgewijze toediening mogelijk te maken. De nieuwste generatie veldspuiten kan worden uitgerust met een systeem waar per spuitdop (vaak geplaatst met 0,5 m of 0,25 m tussenafstand) ~25 keer per seconde gecontroleerd wordt of de spuitdop aan- of uitgestuurd moet worden op basis van de locatie van deze spuitdop in het veld.

3.3 Hybride toepassing

Bij een hybride toepassing wordt allereerst vanuit het oogpunt van een pleksgewijze toepassing bepaald of op een bepaalde plek toediening nodig is. Alleen voor de locaties in het perceel waar toediening van een gewasbeschermingsmiddel gewenst is, wordt daarna de hoeveelheid van dit gewasbeschermingsmiddel bepaald zoals in een variabele toepassing. De hybride toepassingen die nu in de praktijk gebruikt worden zijn veelal gebaseerd op wetenschappelijke beslismodellen met aan de basis modellen van gewasgroei, bodem en/of weer.

4 Voorbeelden precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen

In dit hoofdstuk zullen de verschillende toepassingsvormen aan de hand van voorbeelden verder worden uitgewerkt. Doel van deze voorbeelden is om een beter beeld te krijgen van de verschillen tussen de toepassingsvormen en om een overzicht te geven van de verschillende precisietoepassingen. Om een beeld te geven van de potentie van de verschillende toepassingen worden bij elk voorbeeld ook relevante cijfers gepresenteerd. Daarnaast worden er ervaringen gedeeld vanuit het project *Nationale Proeftuin Precisielandbouw (NPPL)*. In de NPPL wordt samengewerkt met agrariërs om precisietoepassingen op hun bedrijf in te passen en de voordelen, nadelen en te nemen drempels in kaart te brengen. Gewasbescherming krijgt in dit project veel aandacht, voor een groot deel gestuurd door de wens van de deelnemers om te werken aan een verduurzaming van hun teelten. Dit levert praktijkervaringen en data over de impact van de verschillende precisietechnieken.

4.1 Variabele toepassingen

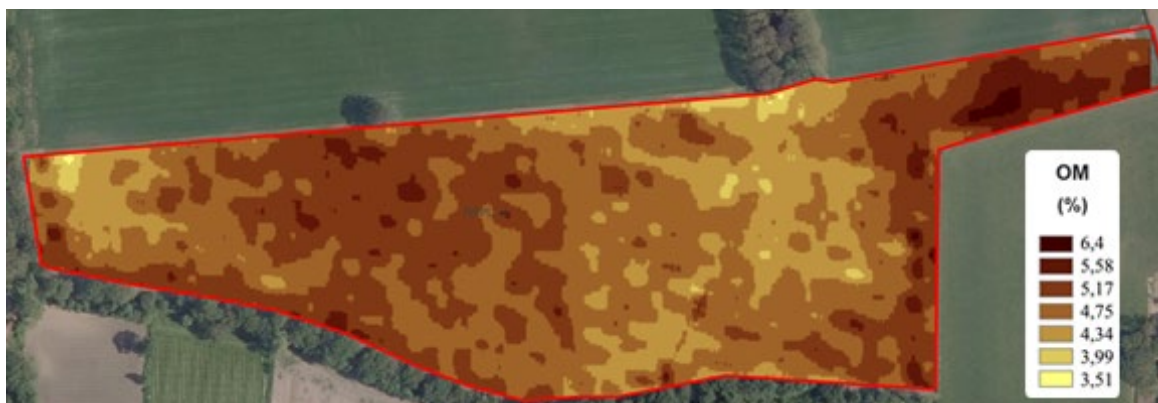
Een tweetal variabele toepassingen uit de praktijk worden uitgewerkt als concrete voorbeelden van deze toepassingscategorie. Dit betreft de toepassingen *variabel doseren bodemherbiciden* en *variabel doseren loofdoingsmiddelen*.

4.1.1 Variabel doseren bodemherbiciden

Variabel doseren van bodemherbiciden is één van de precisietoepassingen die in de praktijk toegepast wordt. Deze geschakelde toepassing begint met het **meten** van bodemeigenschappen, waarbij lutum- en organische stofgehaltes in kaart gebracht worden. Dit kan gedaan worden met bodemscanners, maar de kaarten worden ook aangeboden op basis van drone- of satellietbeelden. Om per locatie in het perceel te **beslissen** over de minimaal effectieve dosering kan gebruik worden gemaakt van een eigen dosering die daarna per locatie op basis van de bodemeigenschappen en werking van het gewasbeschermingsmiddel bijgesteld wordt. Daarnaast bestaan verschillende beslismodellen om de minimaal effectieve dosering per locatie te bepalen voor een aantal bodemherbiciden. Een voorbeeld is het model in Akkerweb (opgevolgd door FarmMaps) (Kempenaar *et al.*, 2013). Dit model gebruikt op lichte gronden (lutumpercentage < 10%) het organische stofgehalte om de minimaal effectieve dosering te bepalen. Is het lutumpercentage > 10% dan wordt de minimaal effectieve dosering bepaald op basis van het lutumpercentage. Voor de **uitvoering** wordt een veldspuit gebruikt die met variabele dosering kan toedienen. In de tank van de veldspuit wordt spuitvloeistof aangemaakt met één vaste concentratie actieve stof. Veelal kan slechts één dosering over de gehele werkbreedte toegediend worden. Bij het maken van de taakkaart met toedieningsdoseringen worden de minimaal effectieve doseringen dan ook omgerekend naar één dosering over de gehele breedte van de spuitboom (zie 3.1 en Figuur 1).

Deze toepassing wordt geïllustreerd aan de hand van een perceel zaaiuien van 8,33 ha geteeld in 2019 op zandgrond (lutum < 10%). Figuur 2A geeft de organische stof kaart weer die gemaakt is op basis van een **meting** met een Veris MSP-3 bodemscanner. Door de teler is besloten om het gewasbeschermingsmiddel *Wing-P* te gebruiken als bodemherbicide na opkomst van het gewas. De toelating voor *Wing-P* (14881-W1) geeft aan dat in uien de adviesdosering na opkomst 4,0 l/ha is. Met behulp van het **beslis**model voor de variabele toediening van bodemherbiciden in Akkerweb (FarmMaps) (Kempenaar *et al.*, 2013) wordt op basis van het voorkomende organische stofgehalte in het perceel berekend dat de gemiddelde minimaal effectieve dosering 1,32 l/ha betreft met een hoogste dosering van 1,54 en een laagste dosering van 1,13 l/ha. De kaart met minimaal effectieve doseringen is weergegeven in Figuur 2B. Ten opzichte van de adviesdosering wordt met behulp van deze variabele toepassing een reductie in toegediend gewasbeschermingsmiddel van 67%

gerealiseerd. Om de bespuiting te kunnen **uitvoeren** met de beschikbare veldspuit met een werkbreedte van 24 meter, is de kaart verder verwerkt tot Figuur 2C. Hierin zijn vlakken van 10 x 24 m gemaakt op basis van gemiddelde dosering onder ieder vlak (zie Figuur 1) en wordt de uit te brengen hoeveelheid spuitvloeistof als spuitvolume (l/ha) in plaats van de dosering van het gewasbeschermingsmiddel weergegeven. De vlakken liggen zodanig dat de veldspuit (werkbreedte 24 m) telkens precies over één vlak rijdt. Elke 10m wordt (mogelijk) de dosering aangepast. Deze afstand is gekozen om het totaal aantal vlakken binnen het perceel beperkt te houden, een eis van de terminal die gebruikt werd om de veldspuit aan te sturen.



Figuur 2A Organische stof kaart gemaakt door Veris MSP-3 bodemscanner



Figuur 2B Minimaal effectieve dosering Wing-P, in liters gewasbeschermingsmiddel per hectare



Figuur 2C Taakkaart spuitvolume aangepast aan werkbreedte veldspuit, in liters spuitvloeistof per hectare

Ervaringen met variabel doseren bodemherbicide uit de Nationale Proeftuin Precisielandbouw

Bij verschillende deelnemers aan de Nationale Proeftuin Precisielandbouw werd deze precisietoepassing meerdere jaren uitgevoerd. Aangetoond werd dat gemiddeld 13% aan gewasbeschermingsmiddel bespaard kan worden ten opzichte van de eigen dosering die de telers eerder aanhielden. Belangrijk hierbij is te vermelden dat de telers zelden de adviesdosering toepasten; vaak werd op basis van praktijkervaring door de teler een lagere dosering (eigen dosering) bepaald. De besparing is zeer afhankelijk van de variatie in de bodem. Door hoge variatie in het organische stofgehalte binnen percelen kon één teler een gewasbeschermingsmiddelreductie van 27% realiseren met een precisietoepassing, vergeleken met een niet-precisietoepassing op basis van eigen dosering. Bij een andere teler, waar de bodem relatief egaal is, werd met deze precisietoepassing 8% reductie behaald ten opzichte van een niet-precisietoepassing op basis van eigen dosering. Dit illustreert de invloed van de variatie binnen een perceel op de (potentiële) besparing in toegediend gewasbeschermingsmiddel met behulp van deze precisietoepassing.

4.1.2 Variabel doseren loofdoodingsmiddelen

Bij het variabel doseren van loofdoodingsmiddelen wordt de minimaal effectieve dosering van loofdoodingsmiddelen gebaseerd op de hoeveelheid vitaal aardappelloof. Door rekening te houden met de verschillen in bovengrondse biomassa op een perceel kan er minder gewasbeschermingsmiddel gebruikt worden om het loof dood te krijgen. Deze toepassing kan *geschakeld* en *on-the-go* worden uitgevoerd.

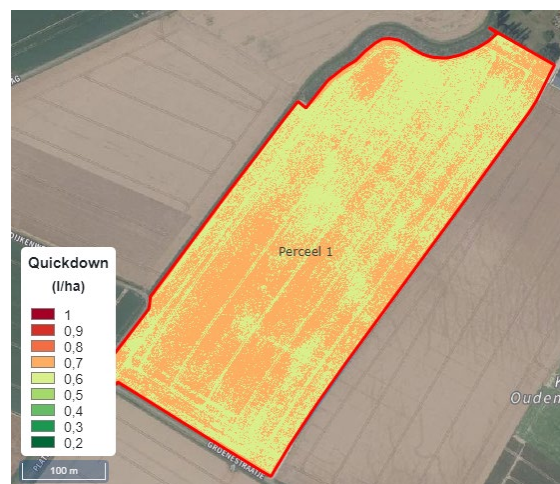
In de praktijk wordt de geschakelde toepassing het meest gebruikt. De biomassa van een aardappelperceel wordt **gemeten** met behulp van drones, aan de hand van satellietbeelden of sensoren op machines. Op deze manier wordt een biomassakaart van het perceel gemaakt. Aan de hand van de biomassakaart wordt de **beslissing** genomen voor de minimaal effectieve dosering per locatie in het veld. Hierbij wordt een beslismodel gebruikt dat automatisch, op basis van beslismodels (Kempenaar *et al.*, 2014), de minimaal effectieve dosering voor het doden van het loof bepaalt. Voor het **uitvoeren** van de toepassing wordt een veldspuit gebruikt die variabele dosering kan toepassen. Vaak kunnen deze machines over de gehele werkbreedte slechts één dosering toedienen. Bij het maken van de taakkaart wordt de minimaal effectieve dosering dan ook omgerekend naar één toedieningsdosering over de gehele werkbreedte van de veldspuit (zie ook figuur 1). In de rijrichting wordt de toedieningsdosering vaak eens per 5 of 10 meter aangepast om de veldspuit tijd te geven de afgifte goed in te stellen en om het aantal vlakken in de taakkaart beperkt te houden zodat de aansturingsterminal bij de machine de kaart goed kan verwerken.

De *on-the-go* toepassing verschilt van de geschakelde toepassing in het feit dat het meten, beslissen en uitvoeren allemaal tegelijk gedaan worden tijdens het uitvoeren. Hiervoor zijn sensoren op de trekker of spuitboom nodig die de biomassa van het gewas voor de spuitboom **meten**. Op basis van het beslismodel wordt real-time de minimaal effectieve dosering **bepaald**. Deze wordt gemiddeld over de gehele breedte van de spuitboom (zie figuur 1) en deze wordt daarna meteen **toegepast**.

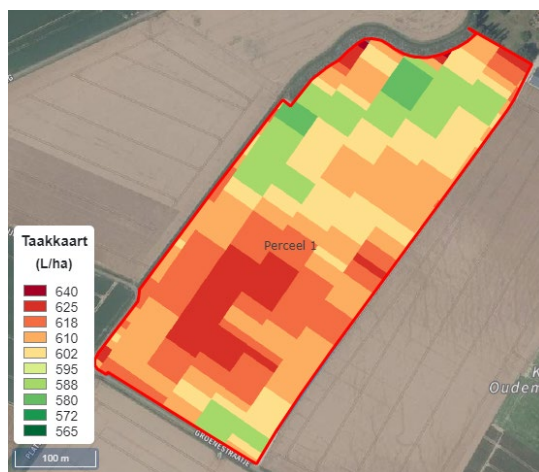
De geschakelde toepassing wordt geïllustreerd aan de hand van een 12,7 ha groot perceel consumptieaardappelen. Door wisselende vochtbeschikbaarheid in het perceel is de natuurlijke afsterving binnen dit perceel niet gelijk. Figuur 3A geeft een NDVI-biomassakaart weer, gemaakt op basis van **metingen** met een drone. Er is besloten de loofdoding in dit perceel te doen met behulp van het gewasbeschermingsmiddel Quickdown. De toelating voor Quickdown (13246N W.5) hanteert voor het loofdoden in consumptieaardappelen tweemaal een volleldsbehandeling met een adviesdosering van 0,8 l/ha. Het beslismodel in Akkerweb (FarmMaps) **bepaalt** op basis van de gemeten biomassa dat een gemiddelde dosering van 0,65 l/ha voldoende is voor een effectieve behandeling. Deze door het beslismodel berekende minimaal effectieve dosering varieert tussen een maximum van 0,7 l/ha en een minimum van 0,55 l/ha. De gegenereerde kaart met minimaal effectieve doseringen is weergegeven in figuur 3B. Om deze bespuiting daadwerkelijk **uit te voeren** met de veldspuit met een werkbreedte van 45 m wordt de kaart uit figuur 3B omgezet naar een taakkaart (figuur 3C). Hierin zijn vlakken gemaakt van 10x45 m waarin de toedieningsdosering in spuitvloeistof wordt weergegeven. Ten opzichte van een niet-precisietoepassing, waarbij de adviesdosering van 0,8 l/ha vollelds wordt toegepast, wordt met behulp van de variabele precisietoepassing een reductie van 19% aan toegediend gewasbeschermingsmiddel gerealiseerd. Zou het gehele perceel behandeld worden met de hoogste minimaal effectieve dosering (0,7 l/ha) dan zou de reductie 12,5% zijn ten opzichte van de adviesdosering.



Figuur 3A NDVI biomassakaart gemaakt met een drone



Figuur 3B Minimaal effectieve dosering Quickdown (l/ha) volgens het beslismodel in Akkerweb (FarmMaps)



Figuur 3C Advieskaart aangepast aan de afmetingen van de veldspuit en omgezet naar spuitvolume in liter per ha

Ervaringen variabel doseren loofdoodingsmiddelen uit de Nationale Proeftuin Precisielandbouw

In de Nationale Proeftuin Precisielandbouw is ervaring opgedaan met het variabel loofdoden van aardappelen. De meeste telers gebruikten een veldspuit die enkel over de gehele werkbreedte kon variëren. Veelal werd gekozen om de hoogste minimaal effectieve dosering over de gehele breedte van de spuitboom toe te passen (figuur 1B). Dit was nodig om zeker te zijn dat vitaal loof, dat zich onder de spuitboom bevond, toch effectief bespoten werd. Ook bij deze toepassing geldt dat de besparing ten opzichte van de eigen dosering afhankelijk is van de variatie binnen het perceel. Vergelijking van de eigen dosering met de minimaal effectieve dosering gaf een besparing tussen de 17% en 27%.

4.2 Pleksgewijze toepassingen

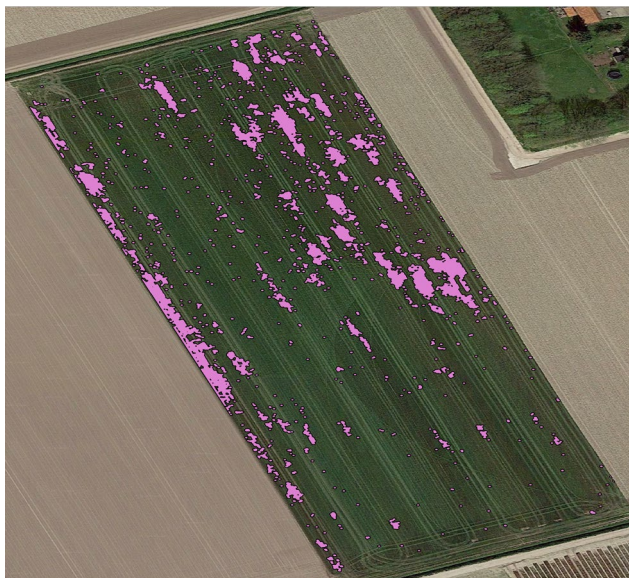
Een pleksgewijze toepassing uit de praktijk zal worden uitgewerkt om zo een concreet voorbeeld te geven van deze toepassingscategorie. Dit betreft de toepassing *pleksgewijs onkruiden bestrijden via onkruiddetectie*.

4.2.1 Pleksgewijs onkruiden bestrijden via onkruiddetectie

Doel van de toepassing pleksgewijs onkruiden bestrijden via onkruiddetectie is een onkruidbestrijding met zo min mogelijk gewasbeschermingsmiddel. Deze toepassing kan zowel *on-the-go* als *geschakeld* worden uitgevoerd.

In de geschakelde variant worden kleurenfoto's van het gehele perceel gemaakt met behulp van een drone. Deze foto's worden na de dronevlucht verwerkt tot één grote foto van het perceel met daaraan gekoppeld de coördinaten van het perceel, resulterend in de **meting** van het perceel. Een herkenningsalgoritme zoekt daarna op de foto naar onkruiden, waarbij de locatie van herkende onkruiden (GPS-coördinaten) wordt opgeslagen. Alternatief kan de teler zelf de locaties van de onkruiden intekenen op de foto achter de computer. Op deze locaties moet worden toegediend (**beslissing**). De huidige herkenningsalgoritmes geven geen advies wat betreft de minimaal effectieve dosering om de herkende onkruiden te bestrijden. Om zeker te zijn dat het onkruid en eventuele kleine zaailingen van het onkruid effectief bestreden worden, wordt vaak een toedieningszone in de vorm van een cirkel of vierkant om het gedetecteerde (gemeten) onkruid getrokken vanuit het middelpunt van het onkruid. Afhankelijk van het type veldspuit (technische mogelijkheden) en het type onkruid kan gewerkt worden met toedieningszones tussen de 25 cm en de 6 m diameter. De posities van de toedieningszones worden naar de veldspuit gestuurd in de vorm van een taakkaart. De veldspuit zal, bij het **uitvoeren** van deze taakkaart, alleen toedienen binnen de toedieningszones. De rest van het perceel blijft onbespoten.

Deze toepassing wordt geïllustreerd aan de hand van een perceel winterpeen van 5 ha. Begin juni is het perceel **gemeten** met behulp van een drone. De foto's van de drone zijn daarna samengevoegd tot één grote foto die het gehele perceel beslaat. Met behulp van een detectiealgoritme zijn de onkruidplanten, in dit geval vooral akkerdistels, geïdentificeerd en is hun locatie in het perceel **bepaald**. Vervolgens is vanuit het centrum van elke onkruidplant een circulaire toedieningszone van 50 cm diameter berekend (welke worden samengevoegd als meerdere onkruidplanten bij elkaar staan). Dit resulteert in de taakkaart weergegeven in figuur 4 waarbij tijdens het **uitvoeren** slechts op 12% van het perceel een dosering van 2,5 l/ha Boxer (10701 N W.11) is toegediend. Bij een niet-precisietoepassing zou het gehele perceel bespoten worden met 2,5 l/ha Boxer (eigen dosering). Deze precisie-toepassing resulteert in een besparing van 88% toegepaste werkzame stof ten opzichte van een volleveldstoediening met de eigen dosering.



Figuur 4 Taakkaart voor pleksgewijs bestrijden van distels

Ervaringen pleksgewijs onkruiden bestrijden uit de Nationale Proeftuin Precisielandbouw

Het pleksgewijs bestrijden van onkruiden is door 3 telers toegepast in 5 verschillende situaties. Hierbij is in elke situatie een ander onkruid bestreden met behulp van een gewasbeschermingsmiddel toegelaten in het geteelde gewas. De onkruiden zijn gedetecteerd met een detectiealgoritme op basis van dronebeelden (geschakelde variant). Deze toepassing is breed in te zetten. Deze manier is gebruikt om melkdistels in peen te bestrijden, kweek in tulpenbollen, ridderzuring in grasland, aardappelopslag op braakliggend land en akkerdistels in spinazie. Hierdoor is een gemiddelde besparing gerealiseerd van 45% ten opzichte van volleveldse bespuitingen. De middelreductie t.o.v. een standaard volleveldse bespuiting is sterk afhankelijk van de onkruiddruk. In percelen met veel onkruid zal minder reductie door de pleksgewijze bestrijding gerealiseerd worden dan bij een lage onkruiddruk. De besparingen varieerden van 41% tot 88%. Vanuit de praktijk wordt aangegeven deze toepassing graag in hybride vorm te willen uitvoeren, waarbij na detectie van een plant of cluster van planten ook de dosering aangepast wordt aan bijvoorbeeld de grootte of het groeistadium van de plant.

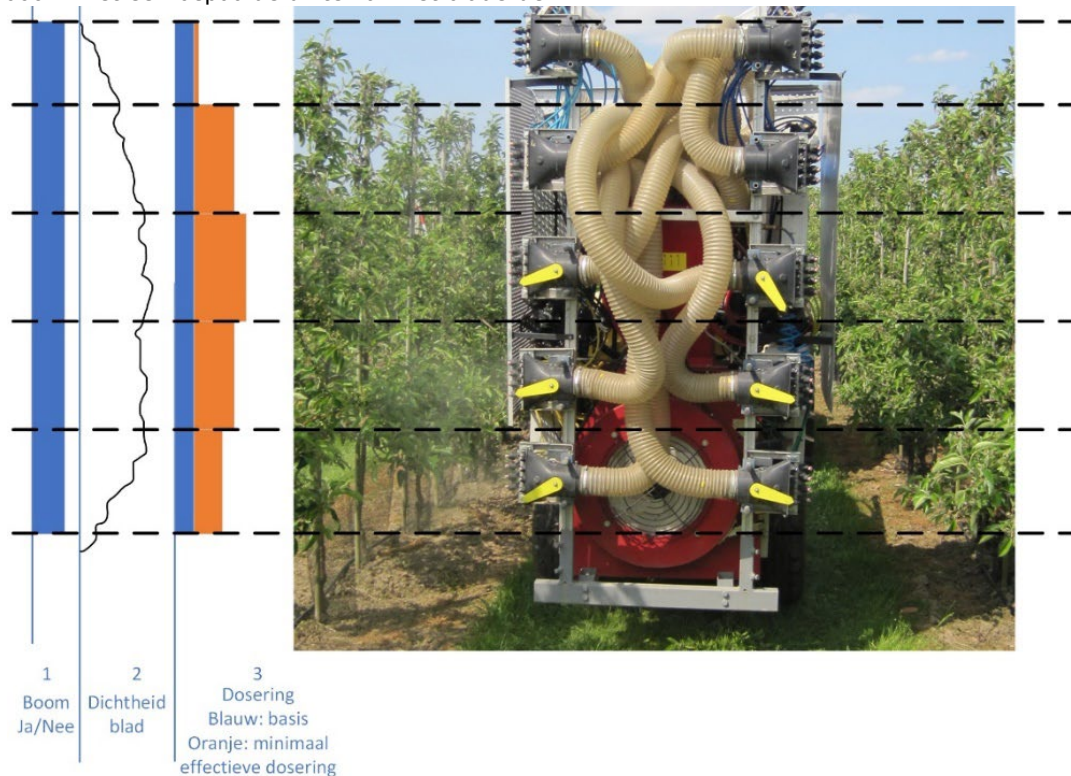
4.3 Hybride toepassingen

Een hybride toepassing uit de praktijk zal worden uitgewerkt om zo een concreet voorbeeld te geven van deze toepassingscategorie. Dit betreft de toepassing *precisiespuiten in fruitteelt*.

4.3.1 Precisiespuiten in fruitteelt

De toepassing *precisiespuiten in fruitteelt* laat alle eigenschappen van een hybride toepassing duidelijk zien. Sensoren op de boomgaardspuit spelen een doorslaggevende rol in zowel het pleksgewijze deel als het variabele deel. Allereerst wordt door sensoren bepaald of de spuitmonden zich naast een fruitboom bevinden en hoe hoog deze fruitboom is. Alleen als de spuitmonden zich naast begroeiing

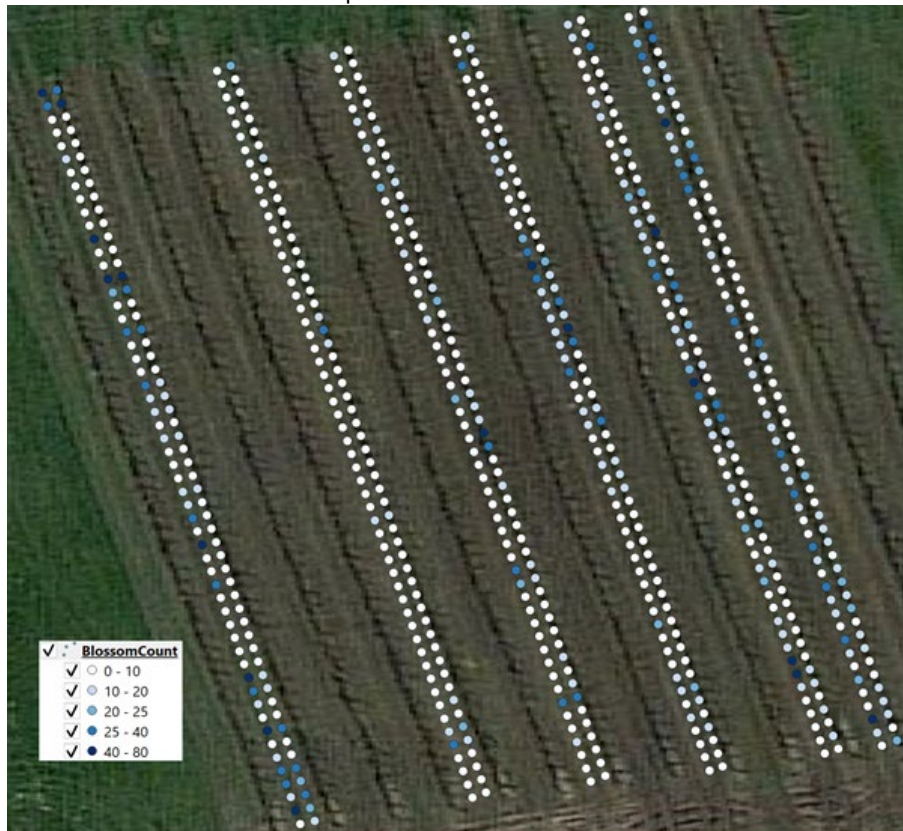
van een boom bevinden zal worden gespoten. Per spuitdop wordt constant bepaald of er een boom binnen bereik is en alleen als dit het geval is wordt de spuitdop geopend. Als de spuitdop zich niet naast een boom bevindt of als de spuitdop boven de boom uit steekt zal de spuitdop dus niet spuiten. Dit is gevisualiseerd in figuur 5 kolom 1. Bij een *on-the-go* toepassing wordt de toedieningsdosering aangepast op basis van de dikte van het bladerdek, gemeten met behulp van sensoren. Bij een *geschakelde* toepassing wordt variabel gespoten op basis van een taakkaart die eerder al gemaakt is. Figuur 5 kolom 2 visualiseert de *on-the-go* toepassing en geeft de meting van de dichtheid van het bladerdek weer. Uit de gemeten dichtheid van het bladerdek wordt de minimaal effectieve dosering berekend, gevisualiseerd in figuur 5 kolom 3. In figuur 5 kolom 3 geven de blauwe balkjes de basisdosering aan en de oranje balkjes de hoeveelheid die extra gespoten moet worden om de minimaal effectieve dosering te spuiten op de gemeten dikte van het bladerdek. De boomgaardspuit krijgt uiteindelijk instructie om de opgetelde dosering uit de blauwe en oranje balkjes te spuiten, hetgeen resulteert in een toedieningsdosering die gelijk is aan de minimaal effectieve dosering voor een boom met een bepaalde dikte van het bladerdek.



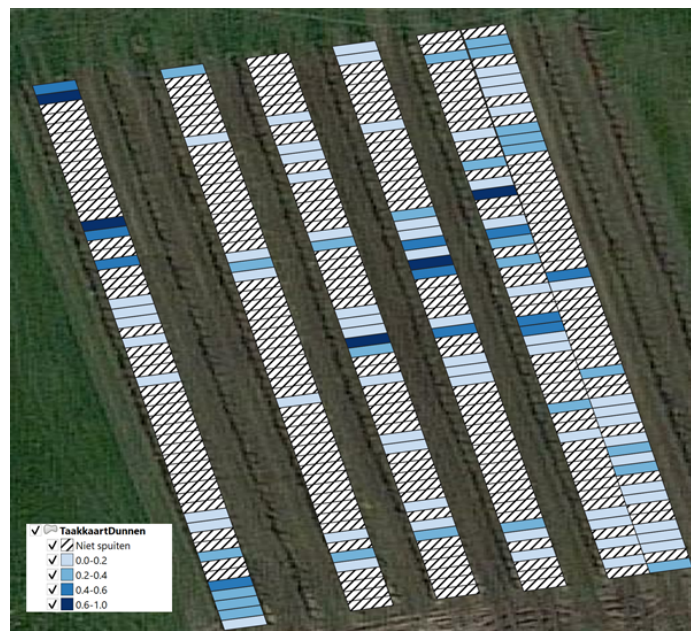
Figuur 5 Technische weergave precisiespuiten in fruitteelt

Deze toepassing zal worden uitgewerkt aan de hand van een voorbeeld uit het onderzoeksproject Fruit 4.0 (Ossevoort *et al.*, 2016), waarin met behulp van cameratechnieken selectief gedund werd in een deel van een appelboomgaard (Hoog *et al.*, 2019). Deze toepassing begon met het per appelboom maken van opnamen met een cameratechniek. Vervolgens werden opnames geanalyseerd door een systeem dat geprogrammeerd was om bloesems te herkennen (beeldanalysetechniek). Met de cameratechniek en de analysetechniek is zo in kaart gebracht hoeveel bloesems elke boom bevatte (**meten**). Figuur 6A geeft de resultaten van deze tellingen weer, waarbij elk rondje een boom betreft en de kleur het aantal bloesems aan de betreffende boom. Op basis van het gemeten aantal bloesems werd per boom allereerst bepaald of het nodig was om te dunnen. In deze situatie werd besloten dat een behandeling werd uitgevoerd als er meer dan 25 bloesems op één boom geteld werden (**beslissen**, plekgewijs). Voor de bomen waar dunnen nodig was werd de juiste dosering berekend op basis van het aantal bloesems aan de boom (**beslissen**, variabel). Bij chemisch dunnen komt het doseren heel nauwkeurig; het aantal bloesems per boom is van doorslaggevende invloed op de financiële opbrengst van de boom als gevolg van kwaliteit en kwantiteit. Als een te hoge dosering toegepast wordt zullen teveel bloesems afsterven, resulterend in een lage opbrengst. Figuur 6B geeft de taakkaart weer met daarin de relatieve toedieningsdoseringen. De boomgaardspuit kon ten tijde van het **uitvoeren** één dosering voor zowel links als rechts toedienen, waardoor de toedieningsdosering in ieder vlak in Figuur 6B telkens berekend werd uit het gemiddelde van de

minimaal effectieve dosering voor de boom aan de rechter kant en de minimaal effectieve dosering voor de boom aan de linker kant van het pad.



Figuur 6A Aantal bloesems geteld per boom op basis van camerabeelden en beeldherkenningstechniek. Elk bolletje betreft een boom; de kleur geeft het aantal bloesems aan de boom aan. Niet de gehele boomgaard is gemeten. (Hoog *et al.*, 2019, visualisatie bewerkt)



Figuur 6B Taakkaart (relatief) voor de toepassing van chemisch dunnen op basis van bloesemtelling. (Hoog *et al.*, 2019, visualisatie bewerkt)

5 Overzicht precisietoepassingen gewasbeschermingsmiddelen

Tabel 2 geeft een overzicht van de hedendaagse precisietoepassingen voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. De precisietoepassingen zijn gecategoriseerd op de toepassingsvorm. Ook wordt in de tabel aangegeven in hoeverre de toepassing al in de praktijk wordt ingezet.

Tabel 2 Overzicht precisietoepassingen

Toepassings vorm	Toepassing	Korte uitleg	Praktijkstatus
Variabele toepassing	Variabele dosering bodemherbicide	Op basis van een bodemkaart wordt de minimaal effectieve dosering bodemherbicide bepaald en toegepast	Praktijkrijp
	Variabele dosering Phytophthora bescherming	Op basis van het verschil tussen twee biomassametingen en een groeimodel wordt de minimaal effectieve dosering bepaald en toegepast voor bescherming van het gewas tegen Phytophthora Infestans	In gebruik bij voorlopers
	Variabele dosering loofdoden	Op basis van een biomassameting wordt de minimaal effectieve dosering loofdoodmiddel bepaald en toegepast	Praktijkrijp
Pleksgewijze toepassing	Pleksgewijs bestrijden van wortelonkruiden	Locatie van wortelonkruiden wordt in kaart gebracht en alleen op deze locaties wordt toegepast	In gebruik bij voorlopers
	Pleksgewijs bestrijden van kweek in tulpenbollen	Locatie van kweek wordt in kaart gebracht en alleen op deze locaties wordt toegepast	In gebruik bij voorlopers
	Pleksgewijs bestrijden van aardappelopslag	Een robot met camera('s) en een detectiealgoritme herkent de aardappelplanten. Een actuator op de robot bestrijdt daarna specifiek de aardappelplanten	Eerste robots bijna praktijkrijp
Hybride	Precisiespuiten in fruitteelt	Sensor bepaalt of spuit naast boom is. Sensor bepaalt hoogte boom en stuurt alleen de spuitdoppen op de juiste hoogtes aan. Dichtheid van bladerdek wordt bepaald en minimaal effectieve dosering wordt toegediend. Met behulp van taakkaart kunnen individuele bomen bespoten worden	In gebruik bij voorlopers

6 Toediening gewasbeschermingsmiddelen optimaliseren

Naast precisie-toepassingen zijn er verschillende andere manieren om het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen te optimaliseren. Vaak richten deze manieren zich op stap 3, het **uitvoeren**, door een betere depositie en/of een effectievere bespuiting met minder gewasbeschermingsmiddel. Deze geoptimaliseerde toedieningsvormen van gewasbeschermingsmiddelen kunnen onderdeel zijn van een precisietoepassing als de toedieningsvormen op een slimme manier worden ingezet. Er wordt dan eerst per locatie gemeten en bepaald wat er precies nodig is, waarna het gewasbeschermingsmiddel op een slimme manier toegediend wordt.

Omstandigheden tijdens toediening

Bij het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen zijn de weersomstandigheden van grote invloed op de effectiviteit van de toepassing, waarbij wind en verdamping doorslaggevende factoren zijn. Er zijn verschillende beslissingsondersteunende systemen beschikbaar die de relatieve effectiviteit van een bespuiting aangeven op basis van (voorspelde) weersomstandigheden. Echter is en blijft het kiezen van een geschikt moment om toe te dienen een compromis tussen (voorspelde) weersomstandigheden, situatie in het perceel en beschikbare tijd. Hoewel in de rekenmodellen voor een minimaal effectieve dosering niet gerekend wordt met perfecte omstandigheden tijdens het toedienen is het wel essentieel dat gezocht wordt naar een zo optimaal mogelijk moment voor het toedienen. Betere omstandigheden resulteren in een hogere depositie en/of hogere effectiviteit.

Hand in hand met de omstandigheden tijdens het toedienen gaat de afstelling van de spuitmachine. Uit de PPS Innovatieve Efficiënte Toedieningstechnieken bleek dat, bij toedienen van dezelfde dosering, door betere afstelling van de spuiten tot 60% meer depositie op het gewas gevonden werd, vergeleken met de depositie bij de gehanteerde afstelling in de praktijk (Zande & Wenneker, 2019). Deze toename van depositie kan aanleiding zijn de concentratie van het middel in de tank evenredig te verlagen en zo een middelbesparing te realiseren. Deze verhoogde spuitvloeistofdepositie kan leiden tot een verbetering van de effectiviteit en werkzaamheid van de middelen of aanleiding zijn de concentratie van het middel in de tank te verlagen en zo een middelbesparing te realiseren.

6.1 Automatische sectie- of dopafsluiting – Akkerbouw

Veldspuiten kunnen uitgerust zijn met automatische sectieafsluiting. Dit systeem kan in twee verschillende situaties ingezet worden om te voorkomen dat gespoten wordt op een locatie waar dat niet gewenst is. In de eerste situatie wordt door de computer tijdens het toepassen berekend waar toegepast wordt, terwijl gelijktijdig gecontroleerd wordt of de spuitboom zich boven een gebied bevindt dat reeds bespoten is. Mocht (een deel van) de spuitboom boven een gebied komen dat eerder al bespoten is, bijvoorbeeld in het geval van een geer of bij de kopakker, dan worden de secties spuitdoppen boven dat deel automatisch afgesloten zodat niet dubbel bespoten wordt. In de tweede situatie wordt naast het voorkomen van dubbel toedienen ook constant gecontroleerd of de spuitboom zich binnen de perceelsgrens of de beteelde zone bevindt. Secties spuitdoppen die buiten de perceelsgrens of beteelde zone zijn of dreigen te komen worden direct uitgeschakeld. Het constant berekenen van de positie van de verschillende secties is rekenproces dat constant op de terminal moet worden uitgevoerd. De mogelijkheid bestaat om deze berekening niet langer per sectie maar per spuitdop te doen; dit vraagt dan meer rekencapaciteit. Systemen kunnen aangeboden worden waarbij elke spuitdop individueel aangestuurd wordt, waardoor op 0,5 m of 0,25 m gestuurd kan worden.

6.2 Rijen- en strokenspuiten – akkerbouw

Een rijen- of strokenspuit is een spuitmachine waarbij de spuitdoppen gepositioneerd zijn in overeenstemming met de rijenindeling van het perceel. Een rijenspuit, met doppen gepositioneerd precies boven elke gewasrij (figuur 7A), kan gebruikt worden om bijvoorbeeld fungicide te spuiten op een gewas dat net is opgekomen. Slechts een paar procent van het perceel wordt bedekt door het net opgekomen gewas en vollelds toedienen terwijl alleen de gewasplanten bespoten hoeven te worden is dan inefficiënt. Door niet langer het hele perceel te spuiten, maar alleen de spuitdoppen recht boven de gewasrij te activeren wordt minder oppervlakte bespoten en daardoor kan de dosering in liters per hectare worden verlaagd zonder dat de depositie op de plant hieronder lijdt. Een strokenspuit, met spuitdoppen gepositioneerd precies tussen twee gewasrijen in (figuur 7B), kan gebruikt worden om een herbicide toe te dienen. Zowel bij de rijenspuit als de strokenspuit kunnen kappen gebruikt worden ter afscherming van het spuitproces; er is dan sprake van een kappenspuit. De kappen kunnen gebruikt worden om een beschermende tunnel om de gewasrijen te vormen of om een tunnel om de spuitdop te vormen zodat ook drift via wind verminderd wordt.

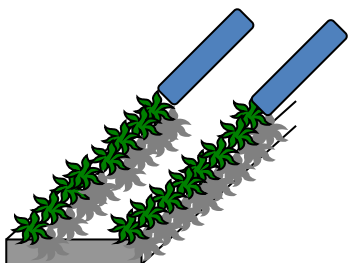


Figuur 7A Rijenspuit welke alleen op de gewasrijen toedient

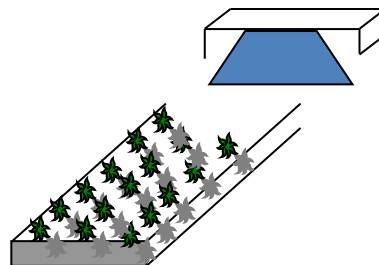


Figuur 7B Strokenspuit met tunnels welke het gewas afschermen en waarmee dus in de paden maar niet op het gewas wordt gespoten

Een variatie op de rijenspuit is een beddenspuit (Figuur 8A en 8B). Hierbij worden de spuitdoppen precies boven de teeltbedden geplaatst, waardoor de bedden bespoten worden en de paden tussen de bedden niet. Andersom is ook hierbij mogelijk. De doppen zijn dan tussen de bedden in gepositioneerd waardoor de rijpaden bespoten worden, maar de bedden niet. Ook bij een beddenspuit worden vaak kappen gebruikt om het spuitproces af te schermen en drift via de wind te verminderen.



Figuur 8A Rijenspuit waarmee alleen precies bovenop de gewasrij toegediend wordt



Figuur 8B Beddenspuit waarmee alleen op het bed waar de planten staan toegediend wordt

6.3 Tunnelspuit – fruitteelt

Binnen de fruitteelt kan een tunnelspuit worden ingezet bij het toedienen (Figuur 9). Het gewasbeschermingsmiddel wordt met behulp van lucht vrijwel horizontaal door de gewasrij heen geblazen. Spuitvloeistof die niet tot depositie op de bladeren of boom komt wordt via de tunnelwanden opgevangen en gerecirculeerd. De hoeveelheid die opgevangen wordt is afhankelijk van de bladmassa-ontwikkeling van het gewas gedurende het groeiseizoen. Doordat tunnelspuiten zorgen voor een betere depositie kan 30% minder gewasbeschermingsmiddel worden toegediend zonder de effectiviteit van de toepassing negatief te beïnvloeden, vergeleken met toediening met behulp van een standard boomgaardspuit.



Figuur 9 Tweerijige tunnelspuit met recirculatie

7 Precisielandbouw en toelating gewasbeschermingsmiddelen

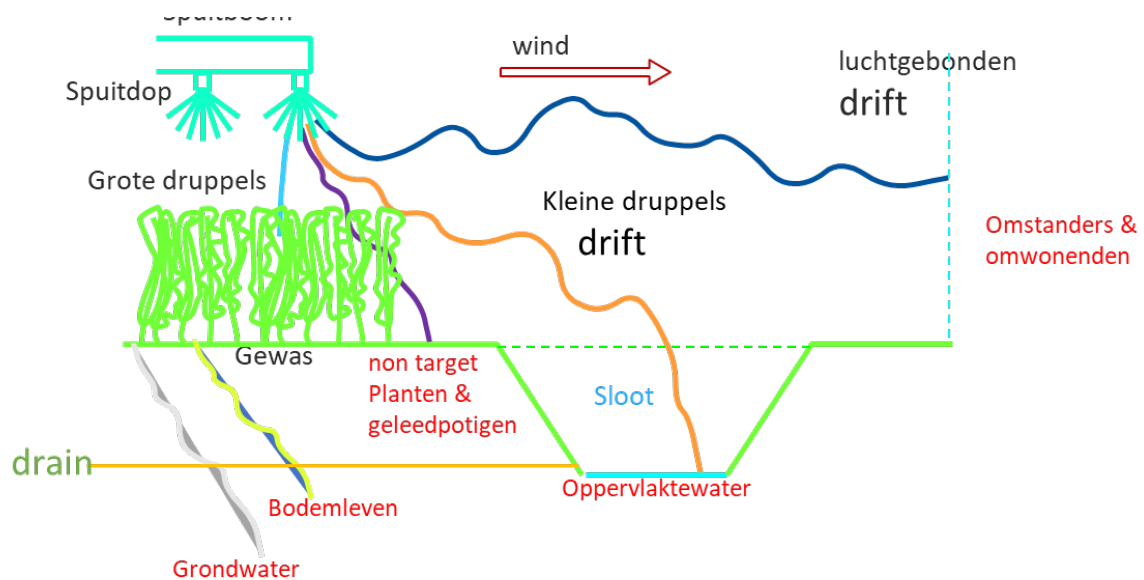
7.1 Huidige praktijk

Precisietoepassingen op het gebied van gewasbescherming kunnen tot een besparing van gewasbeschermingsmiddelen leiden, met als gevolg een duurzamere teelt. Daarnaast leeft soms het idee dat de precieze toediening van gewasbeschermingsmiddelen zal leiden tot een hogere opbrengst. Er zijn al veel veldspuiten die beschikken over mogelijkheden om variabel te kunnen spuiten. Een deel van deze veldspuiten kan ook pleksgewijs toedienen, echter varieert de resolutie hiervan nog tussen ca. 3 m en 25 cm en wordt deze mogelijkheid tot pleksgewijs toedienen nog relatief weinig gebruikt. Hoge investeringen, technische uitdagingen en onzekerheid over de effectiviteit en mogelijkheden van middelen liggen hieraan ten grondslag. Resultaten uit de Nationale Proeftuin Precisielandbouw en verschillende PPS projecten laten zien welke resultaten met precisielandbouw te behalen zijn en geven telers handvatten om aan de slag te gaan met deze toepassingen. Een belangrijk aandachtspunt is of rekening gehouden kan worden met precisietoepassingen binnen de toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen.

7.2 Koppeling met toelating gewasbeschermingsmiddelen

Bij de toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen wordt o.a. gekeken naar de blootstelling van verschillende beschermdoelen aan deze middelen en de effecten van deze blootstelling. Onder beschermdoelen worden o.a. verstaan het oppervlaktewater, bodem, non-target planten en arthropoden, gebruikers en omwonenden. De blootstelling betreft de hoeveelheid middel die het beschermdoel belast, oftewel die tot depositie komt op het beschermdoel. Hierbij spelen onder andere afstand van de bespuiting tot het beschermdoel, mobiliteit van de gebruikte werkzame stof, spuittechniek, weers- en bodemomstandigheden een belangrijke rol. De adviesdosering is het uitgangspunt om de blootstelling te bepalen.

Op basis van een volleldstoepassing met de adviesdosering van het gewasbeschermingsmiddel wordt een effect berekend en na beoordeling kan een toelating met richtlijnen of verbod voor toediening van het gewasbeschermingsmiddel volgen. Ook is het mogelijk dat eventuele extra restricties bij gebruik van het middel opgelegd worden (restricties die leiden tot minder blootstelling van een beschermdoel). Figuur 10 geeft een schematisch overzicht van de situatie zoals deze bij de beoordeling van een gewasbeschermingsmiddel gebruikt wordt.



Figuur 10 Schematische weergave blootstellingsroutes en beschermdoelen bij het toepassen van gewasbeschermingsmiddelen in de akkerbouw. Positie van spuitdop (kantdop) is afhankelijk van het bespoten gewas.

De verschillende precisietoepassingen van gewasbeschermingsmiddelen hebben allen als doel dat de hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel die wordt toegediend zo goed mogelijk aansluit bij de behoefte: bescherming van de gewasplant of bestrijding van een onkruid. Door de precisie wordt een optimale en effectieve depositie op de plant nagestreefd, waardoor minder gewasbeschermingsmiddel nodig is en waardoor beschermdoelen minder belast worden. Voor de toelating is het dus van belang goed vast te leggen of te onderbouwen hoe en in welke mate een precisietoepassing kan leiden tot een vermindering van één of meerdere blootstelling(en). Dit wordt in meer detail uitgewerkt in de volgende paragrafen.

7.2.1 Variabele toepassingen

Variabele toepassingen richten zich op het vaststellen en toedienen van de minimaal effectieve dosering gewasbeschermingsmiddel per locatie in het perceel. Dit betekent dat de toedieningsdosering in veel gevallen lager is dan de adviesdosering. Voor verschillende beschermingsdoelen, bijvoorbeeld oppervlaktewater en omwonenden, speelt de combinatie tussen toegediende dosering en afstand een belangrijke rol in het bepalen van de depositie op deze beschermingsdoelen. Door de relatie te leggen tussen de toegepaste doseringen (taakkaart en/of as-applied kaart) en de afstand tot het beschermdoel kan deze depositie nauwkeuriger bepaald worden dan bij het rekenen met de adviesdosering en/of een gemiddelde dosering die over het hele perceel toegepast wordt.

7.2.2 Pleksgewijze toepassingen

Pleksgewijze toepassingen richten zich op het alleen toedienen waar nodig. Door, per locatie in het perceel, op basis van data te beslissen of toedienen nodig is kan in veel gevallen een flinke besparing in gewasbeschermingsmiddel worden gerealiseerd. Hoewel de toedieningsdosering niet wordt aangepast heeft een pleksgewijze toepassing invloed op de afstand tussen waar wordt toegepast en de beschermdoelen. Met behulp van de as-applied kaart of de taakkaart (as-applied kaart geeft aan waar wel en niet toegepast is; taakkaart geeft aan waar wel of niet toegepast dient te worden) kan de depositie op beschermdoelen nauwkeurig worden berekend en geaggregeerd voor een geheel perceel met informatie over spreiding binnen het perceel.

7.2.3 Hybride toepassingen

Hybride toepassingen richten zich zowel op het minimaliseren van de toedieningsdosering als op het toedienen op een minimaal aantal locaties binnen het perceel. Ook hybride toepassingen hebben invloed op de blootstelling binnen en buiten een perceel, omdat de dosering pleksgewijs is en ook de

afstand tot een beschermdoel kan veranderen. Toedienen van een lagere dosering met mogelijk een grotere afstand tot een beschermdoel leidt op beide manieren tot een lagere blootstelling van of depositie op het beschermdoel.

7.3 Operationalisering: elke kaart toetsen

De reductie van de hoeveelheid toegepast gewasbeschermingsmiddel bij precisietoepassingen zal sterk afhankelijk zijn van de situatie in het perceel. Doordat voor iedere situatie een taakkaart op maat gemaakt wordt kan niet langer gerekend worden met één toegediende dosering voor het hele perceel (variabele toediening) en/of kan er niet uitgegaan worden van een volleldstoediening (pleksgewijze toediening). De dosering per locatie in het perceel en de locatie van het perceel zijn direct af te leiden uit de taak-/as-applied kaart. Andere gegevens die nodig zijn om de blootstelling van beschermdoelen te schatten zijn veelal af te leiden uit open beschikbare data. In de huidige toelatingssystematiek wordt voor ieder beschermdoel een gemiddelde belasting per bespuiting met een bepaald gewasbeschermingsmiddel gebruikt om de blootstelling te berekenen. Op basis van de taakkaart en open data kan een reëlere schatting gemaakt worden van de belasting die een bespuiting op basis van die specifieke taakkaart op dat specifieke perceel zal opleveren per beschermdoel. Belangrijk is hierbij dat de mogelijkheden en/of beperkingen van de veldspuit, om precies zo toe te passen als voorgeschreven in de taakkaart, bij de modelberekening in acht worden genomen (zie ook Figuur 1). Maatregelen die reeds genomen zijn door de gebruiker om drift te beperken kunnen direct worden meegenomen in deze berekeningen. Door deze belasting per specifieke bespuiting te berekenen kan maatwerk geleverd worden.

7.4 Terugkoppeling impact

Na het toetsen van een taakkaart voor een bespuiting kan teruggekoppeld worden welke impact deze bespuiting zou hebben op de verschillende beschermdoelen. Dit stelt de gebruiker in staat kritisch te kijken naar de toepassing en waar mogelijk en/of nodig maatregelen te nemen om de belasting te beperken. Het systeem zou hierbij advies kunnen geven welke maatregelen te nemen en op welk tijdstip het beste toegepast kan worden, met inachtneming van weersomstandigheden. Bij het toetsen van een as-applied kaart kan inzichtelijk worden gemaakt welke impact de bespuiting heeft gehad. Zo ontstaat een systeem van integrale gewasbescherming, in alle aspecten gericht op een effectieve toepassing met minimale impact op milieu en omgeving.

7.5 Controle

Na het uitvoeren van een bespuiting is het zaak om in kaart te brengen in hoeverre de bespuiting volgens de taakkaart is uitgevoerd, rekening houdend met de mogelijkheden en/of beperkingen van de veldspuit om de gewenste dosering exact op de gewenste plek toe te passen (zie ook figuur 1). Alleen als de toegediende dosering overeenkomt met de toedieningsdosering, is de belasting van de beschermingsdoelen zoals berekend valide. Deze informatie kan gebruikt worden om bespuitingen te registreren en aan te tonen hoeveel gedoseerd is. Een as-applied kaart kan aangeven waar de veldspuit heeft toegepast, wat de toegepaste dosering was per locatie en wat de gewenste dosering op diezelfde locatie was. Door ook deze as-applied kaart te analyseren kan bepaald en geschat worden hoeveel belasting is opgetreden.

8 Discussie

Precisietoepassingen voor het toedienen van gewasbeschermingsmiddelen zijn erop gericht om precies datgene te doen dat de plant nodig heeft. Bij een variabele toepassing wordt de dosering aangepast om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de situatie per locatie. De berekende minimaal effectieve dosering is veelal lager (en nooit hoger) dan de adviesdosering, waardoor ook de depositie op verschillende beschermdoelen verandert. Bij pleksgewijs toepassen wordt alleen toegepast op plekken waar dat nodig is en ook hierdoor verandert de depositie op beschermdoelen. Bij een hybride toepassing komen deze twee aspecten samen, wederom resulterend in een verandering van de depositie op beschermdoelen. Om deze veranderingen mee te kunnen nemen in de beoordelingsmethodiek voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen is het vereist om de verschillen in blootstelling goed te kwantificeren. De aanpak hierbij kan per beschermdoel verschillen en per beschermdoel spelen er specifieke uitdagingen. Daarnaast zijn er aspecten die volgen uit specifieke vormen van precisietoepassing die aandacht vragen. Deze aspecten zullen in dit hoofdstuk besproken worden.

Bij het kwantificeren van precisietoepassingen en potentiële middelbesparingen wordt op dit moment veelal gerekend met gemiddelde doseringen, maar deze zeggen niet voldoende als het gaat om de beoordeling van de blootstelling van de verschillende beschermdoelen. Wordt bijvoorbeeld 1) een precisietoepassing uitgevoerd op een perceel waar langs de sloten een lage dosering (variabel) of helemaal geen dosering (pleksgewijs) nodig is dan zal de belasting van het oppervlaktewater lager zijn dan in een situatie 2) waarbij direct naast een sloot juist de adviesdosering nodig is (variabel) of veel oppervlakte bespoten wordt (pleksgewijs). Het is dus van belang bij de beoordelingsmethodieken om per locatie in het perceel te weten wat er gedaan is, zodat onderscheid gemaakt kan worden tussen situatie 1 en 2. Een gemiddelde dosering geeft dus niet de benodigde informatie.

De situatie vergt extra aandacht door beperkingen in de veldspuit tijdens het uitvoeren van de bespuiting, zoals bij een veldspuit die over de gehele werkbreedte slechts één dosering kan uitvoeren bij een variabele toepassing (figuur 1). In een gunstig geval zorgt dit ervoor dat juist bij een beschermdoel minder depositie/blootstelling plaatsvindt (figuur 1C). Hierbij speelt dus de mate van precisie een rol: de gehele werkbreedte van een spuit of gedeeltes van de werkbreedte. Om de situatie die in de praktijk ontstaat te beoordelen is dus informatie nodig over de situatie in het veld en de bijbehorende behandeling, maar daarnaast ook over de veldspuit en welke mogelijkheden deze heeft om plaatsspecifiek te werken. Deze informatie wordt bij nieuwere machines opgeslagen in de as-applied kaart, waarin wordt weergegeven wat de veldspuit heeft gedaan. De kwaliteit van deze kaart moet hierbij goed in de gaten worden gehouden.

Precisietoepassingen kunnen ook ongewenste neveneffecten hebben. Waar gewerkt wordt met een on-the-go toepassing is van tevoren niet precies bekend hoeveel spuitvloeistof gebruikt zal worden en kan dus sprake zijn van restvloeistof, gewasbeschermingsmiddel dat is aangemaakt met water zodat het met de juiste dosering toegepast kan worden en dat overblijft na het voltooien van de bespuiting van een perceel. Bij een geschakelde toepassing ligt al precies vast hoeveel gewasbeschermingsmiddel en water nodig is om het perceel te behandelen, waardoor nauwkeurig getankt kan worden en er in theorie geen restvloeistof hoeft te zijn. De vraag is of en hoe deze restvloeistof meegenomen kan worden in de beoordeling van gewasbescherming met een bepaalde precisietoepassing.

Voor een positie van precisielandbouw in de toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen zouden er data uitgewisseld kunnen worden tussen verschillende datamanagementsystemen. Hoewel er in de praktijk gewerkt wordt aan het compatibel maken en houden van deze systemen loopt dit nog niet altijd zoals gewenst. Op dit moment zit een grote uitdaging in bestandsformaat-compatibiliteit. Fabrikanten hebben bij de introductie van precisietechnieken een bepaald bestandsformaat gekozen waarmee hun machines kunnen worden aangestuurd, maar dit is niet bij alle merken hetzelfde. Op dit moment worden voornamelijk de shapefile- en ISO-XML indelingen gebruikt. Echter, er zitten zelfs binnen het gebruik van elk van deze twee bestandsformaten zodanige verschillen dat compatibiliteit

niet altijd gegarandeerd kan worden. Fabrikanten hebben er veelal voor gekozen om bestanden, die niet 100% begrepen worden door hun systemen, nog niet toe te staan; de veldspuit zal de precisietoepassing dan niet uitvoeren.

Bij het opzetten van een beoordelingssysteem waar taakkaarten en as-applied kaarten gebruikt worden moet de compatibiliteit vanaf het begin meegenomen worden. Alleen als data (vrijwel altijd) probleemloos uitgewisseld kan worden kan een dergelijk systeem bijdragen aan een efficiëntere gewasbescherming en borging hiervan.

9 Conclusie

Precisielandbouw zal een belangrijkere rol gaan spelen in gewasbescherming. Agrariërs zien de potentie in besparing van middel en daarmee een potentieel duurzamere teelt. In dit rapport zijn definities gehanteerd betreffende precisietoepassingen voor gewasbescherming en is de potentie van precisietechnieken in de efficiënte toediening van gewasbeschermingsmiddelen expliciet gemaakt. Met praktijkvoorbeelden wordt aangegeven dat met variabele toepassingen op dit moment een besparing tussen de ~10 en ~40% in toegepast gewasbeschermingsmiddel kan worden gerealiseerd. Met pleksgewijze toepassingen kan deze besparing oplopen tot boven 75%, afhankelijk van de toepassing en de omstandigheden. Hybride toepassingen zijn veelal nog in ontwikkeling en worden voornamelijk in onderzoeks-setting toegepast. Vaak wordt kwalitatief beoordeeld of de toepassing het gewenste resultaat heeft opgeleverd, waardoor cijfers over besparingen bij hybride toepassingen nog ontbreken.

Precisie-toepassen kan een effect hebben op de blootstelling van beschermdoelen. In die zin is er aandacht hiervoor nodig bij een toegesneden toelatingsbeoordeling van gewasbeschermingsmiddelen. Variabele en pleksgewijze toediening of een hybride vorm hiervan, zal door een verandering van de dosering per locatie leiden tot een andere blootstelling van beschermdoelen ten opzichte van een volleveldstoepassing van de adviesdosering. Bij precisietoepassing kan ingeschat worden welke beschermdoelen beïnvloed worden, waardoor de gebruiker beter inzicht krijgt in de neveneffecten van de toepassing en mogelijk de toepassing kan aanpassen om de blootstelling van beschermdoelen te minimaliseren.

Om een toelatingsbeoordelingssysteem in combinatie met precisietechnieken te laten functioneren is een transparant en onderbouwd beeld van de toepassingen en hun effecten noodzakelijk. Hierbij is belangrijk dat wordt vastgesteld in hoeverre een precisietechniek bijdraagt aan een vermindering van de blootstelling van de beschermdoelen. Ook is het belangrijk om te kunnen borgen dat de resultaten op het gebied van blootstelling en effectiviteit gehaald worden. Het toetsen van taakkaarten en het analyseren van as-applied kaarten draagt bij aan het creëren van het gewenste transparante beeld.

10 Vervolgstap

Binnen het project "Ontwikkeling van tools voor systeembenadering" (BO-43-102.01-013) wordt de methodiek zoals beschreven in dit document uitgewerkt in relatie tot blootstelling van beschermdoelen. In een aantal casestudies zullen bestaande taakkaarten vanuit praktijk en onderzoek gebruikt worden om situatie-specifiek en plaats-specifiek de belasting van verschillende beschermdoelen te berekenen. Deze casus-specifieke belastingen zullen worden vergeleken met de belastingen die een volleveldstoediening van het toegediende gewasbeschermingsmiddel volgens de adviesdosering zou opleveren. Door per casus op twee verschillende manieren te beoordelen en de berekende belastingen per beschermdoel te vergelijken wordt inzichtelijk gemaakt wat de invloed is van precisietoepassingen op de belasting van beschermdoelen.

Literatuur

- Hoog, D. de, Afonso, M. V., & Zande, J. C. van de (2019). Automated blossom detection for precision fruit farming. Abstract from Suprofruit 2019, 15th workshop on Spray Application and Precision Technology in Fruit Growing, East Malling, United Kingdom. <https://edepot.wur.nl/526161>
- Kempenaar, C., Heijting, S., Kessel, G. J. T., Michielsen, J. G. P., & Wijnholds, K. H. (2013). Modellen en beslisregels voor variabel doseren van gewasbeschermingsmiddelen op basis van variatie in bodem en gewas. (Rapport / Plant Research International; No. 496b). Plant Research International. <https://edepot.wur.nl/291354>.
- Kempenaar, C., van Evert, F. K., & Been, T. H. (2014). Use of vegetation indices in variable rate application of potato haulm killing herbicides: Paper 1413. Paper presented at ICPA conference 2014, Sacramento, United States.
- Kempenaar, C., Hierink, M. & Wal, T. van der (2020). "Enquête adoptie precisielandbouwtechnologie NL", presentatie 5-6-2020.
- Ossevoort, R. S., Verdouw, C. N., de Jong, P. F., Hennen, W. H. G. J., & Robbemon, R. M. (2016). *Fruit 4.0: de vruchten van meer technologie: technologie-roadmap*. (LEI report; No. 2016-004). LEI Wageningen UR. <https://doi.org/10.18174/385030>
- Zande, J.C. van de & Wenneker, M (2019). PPS Jaarrapportage "Innovatieve efficiënte toedieningstechnieken" 2018 (KV1406 044).

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR-1118

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, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten 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.

