

Mogelijkheden van toepassing van precisiebemesting

Notitie t.b.v. CBAV

NMI, Romke Postma, april 2023

Samenvatting en conclusies

Recente ontwikkelingen op het gebied van precisiebemesting die van belang zijn voor de akkerbouwpraktijk, zijn geïnterviewd en geëvalueerd om ze op te kunnen nemen in het Handboek Bodem en Bemesting. Daartoe is een bureaustudie uitgevoerd. Er is met name gebruik gemaakt van resultaten van de Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL), waar op 31 praktijkbedrijven nagegaan wordt welke nieuwe technieken op praktijkbedrijven kunnen worden geïmplementeerd. Precisiebemesting is daarbij gedefinieerd als *'de toediening van de juiste hoeveelheid meststoffen op de juiste plaats en op het juiste tijdstip. De precisiebemesting kan worden gedaan met drijfmest, kunstmest, kalk of andere meststoffen. Er zijn verschillende toedieningstechnieken voorhanden.'*

Er is een groot aantal sensorsystemen beschikbaar die ingezet kunnen worden voor precisiebemesting. Daarbij kunnen bodem- en gewassensoren worden onderscheiden. Bij de bodemsensoren wordt onderscheid gemaakt naar sensoren voor vlakdekkende metingen en puntmetingen. De vlakdekkende metingen geven informatie op één of meer dieptes en zijn goed in staat de ruimtelijke variatie in kaart te brengen. De puntmetingen geven informatie op één of meer dieptes op één locatie. Vlakdekkende metingen worden over het algemeen uitgevoerd door een sensor lopend, rijdend of vliegend over het perceel te bewegen in raaien. Hiermee wordt een meetwaarde verkregen zoals de elektromagnetische geleidbaarheid, natuurlijke radioactiviteit of lichtreflectie, welke een maat is voor de bodemeigenschap die in kaart moet worden gebracht. Voor de sensoren geldt dat de textuur van de bodem, het klei-, silt-, zand-, organische-stofgehalte, soms de pH en soms bepaalde nutriënten met deze technieken goed in kaart kunnen worden gebracht. Voor de puntmetingen geldt dat voor bodemvocht, temperatuur, EC, verdichting, pH goede en betrouwbare meetmethoden beschikbaar zijn.

Gewassensoren zijn vrijwel steeds gebaseerd op VIS- en NIR-reflectie. Licht dat op een gewas valt wordt geabsorbeerd, gereflecteerd of getransmitteerd. Absorptie vindt vooral plaats in het chlorofyl, dat de energie uit lichtdeeltjes gebruikt voor fotosynthese. VIS- en NIR-reflectiemetingen kunnen worden gebruikt voor het afleiden van verschillende gewasspecifieke indices (>100 verschillende indices bekend) waarmee o.a. de biomassa (groei) en toestand van een gewas gedurende het groeiseizoen kan worden gevolgd en de gewasvariatie binnen een perceel kan worden bepaald. Veelgebruikte indexen zijn de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en de Weighted Difference Vegetation Index (WDVI), die respectievelijk iets zeggen over de bodembedekking en de hoeveelheid biomassa en fotosyntheseactiviteit van een gewas. Reflectiemetingen voor de bepaling van de bovengrondse biomassa kunnen van dichtbij (nearby) met een hand-held of een op een tractor gemonteerde sensor worden uitgevoerd of van veraf (remote sensing) met behulp van satellietbeelden, drones ed. Er zijn commerciële toepassingen op basis van nearby én remote sensing op de markt.

Geconcludeerd kan worden dat de mogelijkheden van precisiebemesting zijn toegenomen door het beschikbaar komen van sensoren voor het meten van bodem- en gewassamenstelling. Het aantal praktijkrijpe systemen dat beschikbaar is voor de akkerbouw, is echter beperkt. De volgende systemen op basis van sensoren zijn praktijkrijp:

- Plaatsspecifieke bekalking op basis van een vlakdekkende bodemscan waarbij pH, organische stof en textuur in beeld worden gebracht, wat vooral interessant is voor de teelt van suikerbieten, aangezien dit gewas relatief sterk reageert op pH. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de pH op alle plekken binnen een perceel wordt geoptimaliseerd. In een proef in de Veenkoloniën leidde een plaatsspecifieke bekalking wel tot een wat egalere pH op het perceel, maar was het effect kleiner dan verwacht. Bij een grote variatie in pH

binnen een perceel zal de financiële meeropbrengst in ieder geval in bouwplannen met suikerbieten hoger zijn dan de meerkosten, maar dit is lastig nauwkeurig vast te stellen omdat de relaties tussen pH en opbrengsten van akkerbouwgewassen zijn gebaseerd op oude proeven.

- Gebruik van gewassensing als basis voor de N-bijmestgift in aardappelen. In dit systeem wordt 2/3 van het gangbare N-advies voor aardappelen bij het poten gegeven en wordt 1/3 van de adviesgift gebruikt voor een eventuele bijmestgift, die wordt gebaseerd op biomassa-kaarten uit satellieten, drones en gewassensoren. Dit kan worden gebruikt als basis voor een plaats specifieke N-bijmestgift. Afhankelijk van de gebruikte sensoren bedragen de kosten voor het gebruik 2-25 euro/ha per keer (2 euro/ha per keer voor satellietbeelden en 25 euro/ha per keer voor dronebeelden), terwijl er gemiddeld 20-30 kg N/ha kan worden bespaard op de N-gift via kunstmest. Bij de fluctuerende kunstmestprijzen van 2->3 euro/kg N, levert dat dus zo'n 15-90 euro per ha op. Daar komen nog investeringskosten bij voor toedieningsapparatuur, waardoor het economisch rendement van plaats specifieke N-bemesting gering dan wel afwezig zal zijn

Inleiding

De CBAV wil graag informatie over de mogelijkheden van toepassing van precisiebemesting in de akkerbouw-praktijk opnemen in het Handboek Bodem en Bemesting, omdat precisiebemesting in de toekomst belangrijker zal worden voor een hoge benutting van nutriënten en om hoge opbrengsten in combinatie met minimale verliezen naar het milieu mogelijk te maken. Daartoe is het van belang bestaande kennis te verzamelen en geschikt te maken voor opname in het Handboek. Recente ontwikkelingen op het gebied van precisiebemesting die van belang zijn voor de akkerbouwpraktijk zijn geïnventariseerd en geëvalueerd, waarbij is aangegeven welke zaken in het Handboek opgenomen kunnen worden.

Aanpak

Als eerste wordt een overzicht gegeven van recente ontwikkelingen op het gebied van precisiebemesting, waarbij steeds wordt gezocht naar een link met de vier juistheden van bemesting (4 R-stewardship; zie o.a. IFA, 2009), de juiste gift op de juiste plaats op het juiste tijdstip met de juiste meststof.

Verder is in het bijzonder gekeken naar de resultaten van de Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL), die is gericht op het implementeren van nieuwe technieken van precisielandbouw op praktijkbedrijven. In dit programma is sprake van 31 deelnemende praktijkbedrijven, waarbij een beperkt aantal (in ieder geval 8) werkt aan precisiebemesting. Precisiebemesting is daarbij op de website van NPPL ([NPPL homepagina - Precisielandbouw voor alle telers \(proeftuinprecisielandbouw.nl\)](http://NPPL.homepagina-Precisielandbouwvooralletelers(proeftuinprecisielandbouw.nl))) als volgt gedefinieerd: *'de toediening van de juiste hoeveelheid meststoffen op de juiste plaats en op het juiste tijdstip. De precisiebemesting kan worden gedaan met drijfmest, kunstmest, kalk of andere meststoffen. Er zijn verschillende toedieningstechnieken voorhanden.'* Nagegaan is welke toepassingen er door de betrokken akkerbouwers worden toegepast.

Precisiebemesting via de juistheden van bemesting

Bij de vier juistheden wordt steeds gestreefd naar het optimaliseren van de benutting van met meststoffen toegediende nutriënten door het gewas. Bij het beschrijven van de ontwikkelingen op het gebied van precisiebemesting, wordt nagegaan tot welke aanpassingen en verbeteringen van de juistheden dat kan leiden:

1. De juiste gift. Hierbij gaat het in eerste instantie om de economisch optimale gift aan nutriënten op een perceel, die in het verleden voor de N-, P- en K-gift bij de belangrijkste akkerbouwgewassen is afgeleid uit

responscurven die tot stand zijn gekomen op basis van veldproeven met bemestingstrappen. Deze curven vormen de basis voor het advies, maar aangezien ze zijn afgeleid van veldproeven die 40-50 jaar geleden zijn uitgevoerd op een beperkt aantal proefveldlocaties, lenen ze zich minder goed voor een toepassing bij andere omstandigheden. Het is dus gewenst dat de optimale gift beter kan worden vastgesteld voor uiteenlopende omstandigheden die kunnen worden gekarakteriseerd door regio, bodemtype, bouwplan/voorzucht, vochtbeschikbaarheid en bodemvruchtbaarheid. Daarnaast verschilt de optimale meststofgift van jaar tot jaar, door verschillen in weersomstandigheden. Ook daar zou beter op ingespeeld moeten kunnen worden. Tenslotte zal er in de toekomst in toenemende mate rekening gehouden moeten worden met andere factoren die van invloed zijn op de hoogte van de gewenste gift, zoals milieueffecten op het gebied van waterkwaliteit (N- en P- uit- en afspoeling), luchtkwaliteit (NH₃-vervluchtiging) en klimaateffecten (C-vastlegging en broeikasgasemissies).

2. De juiste plaats. Hierbij wordt vooral gedoeld op het op de juiste wijze toedienen van een meststof (oppervlakkig en breedwerpig toedienen, in de grond werken/injecteren) en het eventueel variëren van de meststofgift binnen een perceel (plaatsspecifieke bemesting, plantgatbemesting, rijenbemesting). Een optimalisering van de plaatsing van meststoffen kan leiden tot een hogere benutting door het gewas en lagere verliezen naar het milieu. Om een plaatsspecifieke bemesting mogelijk te maken, is het nodig de variatie in bodemvruchtbaarheid of nutriëntenbeschikbaarheid via bodem- en/of gewasonderzoek goed (en liefst goedkoop en snel) te kunnen vaststellen met metingen. Sensoren kunnen daarbij een belangrijke rol spelen. Vervolgens is er toedieningsapparatuur nodig om de gewenste gift op elke plek op het perceel aan te kunnen brengen, waarbij de mogelijkheid om de gift op korte afstand te kunnen variëren belangrijk is.
3. Het juiste tijdstip. Hierbij valt te denken aan de juiste timing van een meststofgift, die voor uiteenlopende nutriënten en meststoffen kan verschillen. In het algemeen zal een gift vlak voor aanvang van het groeiseizoen kunnen leiden tot een hoge benutting, maar in verband met de beperkte draagkracht van kleigronden in het voorjaar, lukt dat met dierlijke mest vaak niet. Verder kan het vooral voor N gewenst zijn om een deel van de beoogde jaargift niet voorafgaand aan het groeiseizoen te geven, maar achter te houden voor een eventuele bijmestgift in het seizoen, zodat rekening kan worden gehouden met het verloop van het seizoen. Een praktisch werkbaar, snelle, betrouwbare en goedkope methode voor het bepalen van de wenselijkheid en de hoogte van een N-bijmestgift is hierbij een benodigde tool
4. De juiste meststof. Vaak gaat het hier om een combinatie van organische en minerale meststoffen, waarbij de gehalten aan nutriënten in organische meststoffen, de onderlinge verhouding daartussen, de werkingscoëfficiënten en de levering van (effectieve) organische stof belangrijke criteria zijn. Afhankelijk van de omstandigheden (bodemtype, bodemvruchtbaarheid, geteeld gewas) kan de optimale meststofkeuze variëren. Ook kunnen er omstandigheden zijn, waardoor de eisen aan meststoffen veranderen. Zo zorgt de hoge gasprijs in 2022 ervoor dat de prijzen van N-kunstmest explosief zijn gestegen en is er ook steeds meer aandacht voor de C-footprint van meststoffen. Meststoffen met een lage C-footprint, zoals (producten uit) digestaten, zijn daarbij in het voordeel. Voorts is Europees beleid (Farm to fork-strategy, de uitvoeringsagenda van de Green Deal voor de landbouw) gericht op het terugdringen van het kunstmestgebruik (20% daling in 10 jaar tijd – van 2020 tot 2030).

Inventarisatie van sensorsystemen voor precisielandbouw

Enige jaren geleden is een overzicht gemaakt van sensorsystemen en modellen voor precisielandbouw, met een focus op de aardappelteelt (Kempenaar et al., 2018). Ros & Bussink (2012) maakten eerder al een overzicht van gewassensoren die ingezet kunnen worden voor beslissingen over een eventueel gewenste N-bijmestgift in uiteenlopende gewassen. Bij de sensorsystemen worden bodemsensoren en gewassensoren onderscheiden en daarnaast zijn er ook nog sensoren voor klimaat- en oogstparameters (Kikkert, 2009; Kempenaar et al., 2018).

Van Beek & Van Rotterdam (2020) gingen in op de mogelijkheden van het gebruik van nabij-infrarood sensoren (NIRS) voor grondonderzoek als basis voor (precisie)bemesting. Ze gaan in op eisen aan de sensoren, de monsternamen, analyse en interpretatie voor een betrouwbaar resultaat. Ze lichten dit toe aan de hand van een case-study met de AgroCares Scanner als basis voor bemestingsadvies voor N, P en K. In het overzicht van Kempenaar et al zijn de toepassingsmogelijkheden en de betrouwbaarheid van de beschouwde sensoren beoordeeld en aangegeven middels de technologierijpheid (TRL) op een schaal van 1-9. Hierna wordt enige informatie over de beschikbare sensoren uit het rapport van Kempenaar et al. (2018) weergegeven.

Bodemsensoren

'Bij de bodemsensoren wordt onderscheid gemaakt naar sensoren voor vlakdekkende metingen van (proxies van) bodemeigenschappen en puntmetingen van (deels dezelfde) bodemeigenschappen. De vlakdekkende metingen geven informatie op één of meer dieptes over (proxies van) bodemeigenschappen en zijn goed in staat de ruimtelijke variatie in kaart te brengen. De puntmetingen geven informatie op één of meer dieptes op één locatie van één of meer bodemeigenschappen. Deze kunnen nauwkeuriger zijn dan de vlakmetingen en kunnen in een aantal gevallen voor de duur van een groeiseizoen in het veld worden geïnstalleerd om de veranderende omstandigheden per uur of dag te meten.'

Vlakdekkende metingen worden over het algemeen uitgevoerd door een sensor lopend, rijdend of vliegend over het perceel te bewegen in raaien. Hiermee wordt een meetwaarde verkregen zoals de elektromagnetische geleidbaarheid, natuurlijke radioactiviteit of lichtreflectie welke een maat is voor de bodemeigenschap die in kaart moet worden gebracht. De nauwkeurigheid en precisie van het resultaat is dan deels afhankelijk van de (fysische of chemische) relatie tussen dat wat gemeten wordt met de sensor en de kalibratie naar de doelparameter. Voor de sensoren geldt dat de textuur van de bodem, het klei-, silt, zand-, organische stofgehalte, soms de pH en soms bepaalde nutriënten met deze technieken goed in kaart kunnen worden gebracht. De methoden zijn commercieel beschikbaar en hebben dan ook een hoge TRL gekregen. Voor (beschikbare) nutriënten, bodemvocht, bodemopbouw, bodemstructuur zijn deze relaties minder duidelijk en zal het resultaat afhankelijk zijn van de relatie van de doelbodemparemeter met de eigenschappen die wel goed in kaart kunnen worden gebracht. De beschikbare sensoren zijn gebaseerd op de volgende technieken:

- Elektromagnetische geleidbaarheid (EMI): Metingen van de electromagnetic induction (EMI) of de electrical conductivity (EC) van de bodem zijn vaak gecorreleerd aan (een combinatie van) de textuur, het vochtgehalte, het organische-stofgehalte, de porositeit, temperatuur en het gehalte aan zouten in de bodem.
- Natuurlijke radioactiviteit (gammastraling): Natuurlijke radioactiviteit in de bodem is voornamelijk afkomstig van de van nature voorkomende radioactieve nucliden ^{40}K , ^{232}Th en ^{238}U (en de niet-natuurlijke nuclide ^{137}Cs) en is gecorreleerd aan de provenance (herkomst) van bodemmineralen en de textuur van de bodem. Binnen een geologische eenheid kan het kleigehalte, leemgehalte, mediane korrelgrootte en (grotere verschillen in) het organische-stofgehalte vaak goed worden bepaald.
- VIS-NIR-MIR reflectiesystemen (licht reflectie): Sensoren voor zichtbaar (visible – VIS, 300-750 nm), nabij-infrarood (near-infrared – NIR, 750- 1400/2500 nm) en mid-infrarood (mid-infrared – MIR, 2500 -25000 nm) licht meten de reflectie en dus absorptie van licht wat op een oppervlak valt. In de bodem zullen dit kwarts, veldspaten, organische componenten zoals lignine en cellulose en andere mineralen en chemische / organische bindingen zijn. Wanneer deze elementen voldoende onderscheidend zijn in het resulterende (hyperspectrale) signaal, kunnen deze met deze methode in kaart worden gebracht. Dit kan vaak voor organische koolstof, kleigehalte/mineralen, CaCO_3 (MIR) en ijzeroxiden en de kleur van de bodem (VISNIR). Op basis van deze parameters kunnen in een aantal gevallen ook uitspraken worden gedaan over pH, CEC, organische stof, Fe/Mn-verbindingen, mineralogie en bodemvocht en –structuur.
- Grondradar (GPR): Grondradarsystemen worden gebruikt voor het in kaart brengen van de bodemopbouw, waarmee bedoeld wordt scherpe texturele laagovergangen, objecten in de bodem zoals infrastructuur,

fundamenten en archeologie en kan soms worden ingezet voor indicaties van verdichting, verstoring, verschillen in bodemvocht of grondwaterstanden. De mogelijkheden om deze laatste parameters in beeld te brengen zijn sterk afhankelijk van de lokale meetomstandigheden en opbouw van de bodem.

- XRF Röntgen Diffractie Fluorescentie: Handheld XRF apparatuur meet de totale concentraties van atomen en dus elementen in de bodem zoals Ag, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, Mn, Mo, Ni, Pb, Pd, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, V, Zn en Zr. Wanneer metingen op goed gemengde monsters worden gedaan en worden gecorrigeerd voor het vochtgehalte kunnen duplo analyses in het veld dezelfde nauwkeurigheden halen als analyses op gehomogeniseerde monsters in het lab. Wanneer voldoende kennis van bodemprocessen en andere eigenschappen zoals pH, CEC etc. bekend zijn, kunnen deze concentraties wellicht worden omgerekend naar plant-beschikbare concentraties, maar deze worden niet gemeten door de XRF.

Voor de puntmetingen geldt dat voor bodemvocht, temperatuur, EC, verdichting, pH goede en betrouwbare meetmethoden beschikbaar zijn met hoge TRL's. Voor bodemvocht worden meetmethoden en sensoren steeds verder verbeterd. De meetprincipes zullen echter niet snel wijzigen. Er zijn o.a. de volgende technieken:

- Time Domain Reflectance (TDR): bruikbaar voor bodemvochtbepalingen.
- EC-meting bodemvocht.
- Tensiometer: bruikbaar voor bodemvochtbepalingen en is gebaseerd op het meten van de vochtspanning / drukverschillen. Werkt niet goed bij droge omstandigheden.
- pH-meter: de pH kan worden gemeten met een ion-selectieve electrode.
- Bodemverdichting met penetrolgger (indringingsweerstand)
- Nutriënten: totaalgehalten kunnen worden gemeten met XRF, beschikbare fractie zijn lastig meetbaar.

Gewassensoren

Veel gewaseigenschappen zoals bovengrondse biomassa, droge-stofgehalte en inhoudsstoffen kunnen worden bepaald aan de hand van hyperspectrale beelden. Het is een van de meest krachtige beeldverwerkingsmethoden op het gebied van plant fenotypering. Bij hyperspectrale beelden bevat elke pixel een reeks aan waarden die corresponderen met de reflectie, de emissie of de transmissie van straling bij een bepaalde golflengte. Het is bruikbaar voor het bepalen van planteigenschappen als droge-stofgehalte, stikstofstatus, suiker- of lycopreen concentraties of chlorofylgehalte. Om de nadelen van hyperspectrale beelden (complex) te ondervangen kan in plaats van het volledige spectrum te gebruiken, ook een geselecteerd aantal golflengtes (banden) worden gebruikt. Deze techniek staat bekend als multispectrale beeldvorming. En soms is voor het bepalen van een bepaalde gewasparameter ook een eenvoudige spectrale puntmeting voldoende.

Technieken zijn vrijwel steeds gebaseerd op VIS- en NIR-reflectie. Licht dat op een gewas valt wordt geabsorbeerd, gereflecteerd of getransmitteerd. Absorptie vindt vooral plaats in het chlorofyl, dat de energie uit lichtdeeltjes gebruikt voor fotosynthese. Chlorofyl absorbeert voornamelijk licht in het blauwe (400-500 nm) en rode (600-700 nm) deel van het spectrum. Kenmerkend voor planten is dat licht in het groene deel van het spectrum (500-600 nm) grotendeels wordt gereflecteerd (chlorofylfluorescentie). Nabij infrarood licht (NIR; +/- 1000 nm) wordt door planten voor circa de helft gereflecteerd en andere helft wordt getransmitteerd.

VIS- en NIR-reflectie metingen kunnen worden gebruikt voor het afleiden van verschillende gewasspecifieke indices (>100 verschillende indices bekend) waarmee o.a. de biomassa (groei) en toestand van een gewas gedurende het groeiseizoen kan worden gevolgd en de gewas-variantie binnen een perceel kan worden bepaald (Ros & Bussink, 2012; Kikkert, 2009). Veelgebruikte indexen zijn de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en de Weighted Difference Vegetation Index (WDVI), die respectievelijk iets zeggen over de bodembedekking en de hoeveelheid biomassa en fotosyntheseactiviteit van een gewas. Relaties tussen de gewasindex en de planteigenschappen blijken gewas- en sensorspecifiek te zijn. Dit betekent dat de onderliggende algoritmes niet uitwisselbaar zijn tussen de verschillende sensorsystemen (Groenkennisnet).

Reflectiemetingen voor de bepaling van de bovengrondse biomassa kunnen van dichtbij (nearby of proximal sensing) met een hand-held of op een tractor gemonteerde sensor worden uitgevoerd of van veraf (remote sensing) met behulp van satellietbeelden, drones e.d.

- Nearby of proximal sensing: Er zijn VIS, NIR en chlorofylfluorescentie sensoren op de markt voor puntmetingen (meestal 'handheld' meetinstrument) en geïntegreerde sensorsystemen (lijnscanners) om de reflectiekenmerken van een gewas in kaart te brengen. Reflectie-sensoren zijn geschikt om redelijk snel en betrouwbaar een inschatting te geven van de biomassa en/of het N-gehalte in een gewas. Door gebruik te maken van gewasindexen kan tevens een betrouwbare schatting worden gegeven van de N-opname door het gewas. De meest gangbare commerciële sensoren geven m.b.t. biomassa, gewasontwikkeling en stikstofgehalte redelijk vergelijkbare resultaten. Sensoren die meten via meerdere banden hebben als voordeel dat er meer gewasindexen kunnen worden berekend (Ros & Bussink, 2012). Voor diverse commerciële sensoren zijn software modules (applicaties) beschikbaar die op basis van de biomassabepaling adviezen genereren voor variabel bemesten (stikstof) in o.a. aardappels, winterkoolzaad, winter- en zomergerst, wintertarwe en maïs of voor variabel doseren van loofdoormiddel, bodemherbiciden en bestrijding van Phytophthora (Van Evert et al., 2012).
- Remote sensing: Er zijn diverse soorten satellieten in omloop voor o.a. navigatiedoeleinden, aardobservatie, weersatellieten, voor wetenschappelijk onderzoek, communicatie en militaire doeleinden. Satellieten verschillen van elkaar door de baan om de aarde die ze hebben, het gezichtspunt van beeldinstrumenten, de ruimtelijke resolutie, spectrale kenmerken en baanbreedte van de sensoren. Er zijn verschillende typen sensoren: optische (gereflecteerd zonlicht), thermische (warmte-uitstraling van de aarde), radar (backscatter en hoek van door sensor uitgezonden radargolven) en LiDAR (afstand en tijd van terugkaatsing van uitgezonden laserlicht). De eerste twee zijn passief, dat wil zeggen ze meten straling van een externe bron (zonlicht, warmte-uitstraling van de aarde) en de laatste twee actief zijn, ze meten de hoeveelheid teruggekomen straling van hun eigen stralingsbron (radar, laser).
Nadeel van satellietwaarnemingen is de beperkte databeschikbaarheid tijdens bewolkte situaties. Op het noordelijk halfrond is boven land gemiddeld 55% van het oppervlak bedekt door bewolking. De variatie in de tijd is groot (Hahn et al., 1995).
De groenmonitor (www.groenmonitor.nl) geeft op basis van satellietbeelden de actuele vegetatiekaart van Nederland weer. Voor onbewolkte (gedeeltes van) satellietbeelden wordt de groenindex (NDVI-index) berekend, als maat voor de hoeveelheid biomassa. Het onderzoeksprogramma Bioscope (www.projectbioscope.eu) richt zich op het combineren van satellietbeelden met opnames met behulp van UAS (Unmanned Aerial Systems), zoals onbemande vliegtuigen, helikopters en drones. Doelstelling is elke 10 dagen een vegetatiekaart te kunnen leveren onafhankelijk van de bewolgingsgraad.

Mogelijkheden voor toepassing van sensoren in de praktijk

In het rapport van Kempenaar et al. (2018) lag het accent op de toepassingsmogelijkheden van sensoren voor kwaliteitsmonitoring en sturing in de aardappelteelt. Uit het overzicht blijkt dat er veel verschillende sensoren en meetsystemen beschikbaar zijn maar dat de praktische toepasbaarheid sterk kan variëren, van alleen een proof-of-concept tot bewezen bruikbaar in praktijksituaties. Voor het meten van de bodem- en gewasparameters wordt geadviseerd gebruik gemaakt van sensorsystemen die zich in de praktijk hebben bewezen (o.a. Veris scan en Yara N-sensor). Ter validatie en als backup wordt aanbevolen de parameters ook te bepalen door middel van grond- en gewasonderzoek volgens gangbare laboratoriummetingen. Voor de toepassing in de bemestingsadvisering werd vooral gedacht aan een N-bijmestadvies. Voorgesteld werd om dit in pilots op praktijkbedrijven toe te gaan passen. Praktijkpilots zijn in de jaren 2018-2021 uitgevoerd en beschreven door Nysten & Kempenaar (2019) en Tigchelhoff et al. (2021).

Praktijkrijpe toepassingsmogelijkheden

Plaatsspecifiek bekalkingsadvies op basis van bodemscans

Er zijn systemen op de markt waarmee de variatie in pH, organische stof en textuur/het lutumgehalte (o.a. bepalend voor de pH-buffering) binnen een perceel kunnen worden gemeten met een bodemscan. In het kader van NPPL zijn de afgelopen jaren een aantal vergelijkende tests gedaan:

- In 2018 zijn de Passieve Gamma Bodemscanner van E.H. Loonstra, de EM38 van LoonwerkGPS, de Veris scan van Vantage Agrometius, de SoilXplorer van CNH en het systeem van Bioscope vergeleken in een onderzoek dat is uitgevoerd op een perceel (zavelgrond) in de Noordoost Polder bij Ens. Op het perceel zijn 40 grondmonsters genomen die ook zijn geanalyseerd met klassieke methoden. Er is een rapportage beschikbaar waarin de opzet en resultaten zijn beschreven (Nysten & Kempenaar, 2019).
- In 2019 is een vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd op een kleigrond te Slootdorp en in 2020 is een onderzoek uitgevoerd op een perceel met dalgrond te Valthermond en een perceel met zandgrond te Lemerveld (Tigchelhoff et al., 2021). In 2020 zijn de volgende systemen vergeleken (tussen haakjes de leverancier):
 - BioScope remote sensing (BioScope)
 - Drone / satellite imaging (Aurea Imaging / Dronewerkers)
 - SoilXplorer (CNH)
 - Passieve gamma-straling bodemscanner (Loonstra & van der Weide)
 - Dualem 21 S bodemscanner (Soil Masters)
 - Veris MSP3 bodemscanner (Vantage Agrometius)

Op het perceel met zandgrond te Lemerveld kwam de Verisscan MSP3 als meest nauwkeurige uit de bus (<https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/nieuwe-vergelijkingen-bodemscans-veriscan-msp3-meest-nauwkeurig/>). Dit betrof zowel de kaart voor pH als voor organische stof. Het lutumgehalte was op de zandgronden slecht te bepalen. De metingen met de Verisscan zijn gebaseerd op de volgende principes (zie [Bodemscan – Precisiebemesting](#)):

- Het organisch koolstofgehalte wordt gemeten met een VIS/NIR-sensor die op een diepte van 3 tot 5 cm door de bodem wordt getrokken. Hier wordt elke seconde een meting geregistreerd.
- De zuurtegraad (pH) wordt gemeten met een pH-elektrode die bevestigd is op de scanner. Een schep onderaan de scanner schept elke 10 seconden een monster uit de bodem en duwt dit tegen de pH-elektrode die de meting registreert. Daarna wordt de elektrode gespoeld (waterbak op de scanner) en kan het volgende monster opgeschept worden. Afhankelijk van de rijsnelheid wordt de pH dus elke 20 à 30 m gemeten.
- Om de elektrische geleidbaarheid (EC) op twee verschillende dieptes (bouwlaag en bodemlaag 0-90 cm) in kaart te brengen wordt gebruik gemaakt van drie paar kouterelektroden. De kouters worden op een diepte van 4 tot 6 cm door de bodem getrokken waarbij één paar elektroden een stroom door de bodem stuurt en de andere twee paar elektroden het verschil in voltage detecteren. Elke seconde wordt een meting geregistreerd. De EC wordt gebruikt om het lutumgehalte af te leiden.
- Voor de kalibratie van de waarden gemeten met de bodemscan (met de VIS/NIR sensor en de pH-elektrode) wordt op 4 verschillende punten binnen het perceel een plaatsspecifiek bodemmonster genomen voor analyse in het laboratorium van o.a. de pH en het organisch koolstofgehalte. Na de kalibratie worden er dan perceelskaarten gemaakt van de verschillende parameters.

De Verisscan is ontwikkeld door Agrometius, is ruim 10 jaar actief op de Nederlandse markt en er zijn in Nederland inmiddels 10 loonwerkers die een Verisscan hebben en een meting uit kunnen voeren (zie o.a. <https://www.vantage-agrometius.nl/uitgelicht-nieuws/10-jaar-veris-dienst/>) en een advies uit kunnen brengen

(<https://www.vantage-agrometius.nl/bodemscan/>). De metingen en adviezen worden ook aangeboden door Agrifirm ([Veris bodemadvies Voor inzicht in de bodemsamenstelling | Agrifirm](#)).

In België wordt de Verisscan ook gebruikt en vertaalt de Bodemkundige Dienst van België de metingen in plaats specifieke adviezen voor bekalking en composttoediening. Zie o.a. [Bodemscan – Precisiebemesting](#).

Voor een plaats specifiek bekalkingsadvies kan interessant zijn voor de praktijk, aangezien een (te) lage pH vooral bij suikerbieten en in mindere mate bij granen tot 10-25% opbrengstderving kan leiden, zo is gebleken uit onderzoek op zeekeigronden (Boskma, 1967; tabel 1). Recenter is er op kleinere schaal ook gekeken naar het effect van pH en bekalking op dalgrond (Russchen et al., niet gepubliceerd). In een proef die in 2014 is uitgevoerd op proefbedrijf 't Kompas te Valthermond leken de effecten van pH en bekalking op de suikeropbrengst relatief klein te zijn. Dit is een bevestiging van onderzoek dat in de periode van 1985 tot 1993 is uitgevoerd op zand- en dalgrond in Noordoost Nederland door IRS en HLB (Rus et al., 1997). Op basis van die proeven is de opbrengstreductie door een lage pH bijgesteld (tabel 2).

Tabel 1. Effect van pH-KCl op de relatieve opbrengst van een aantal akkerbouwgewassen op zeekeigronden (Bron: Boskma, 1967).

Gewas	Aantal proefjaren	pH-KCl							
		4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2
<i>bieten / beets</i>	47	75	82	88	92	95	98	99	100
<i>tarwe / wheat</i>	55	81	85	89	93	96	99	100	100
<i>gerst / barley</i>	19	83	88	91	94	96	99	100	100
<i>haver / oats</i>	26	89	92	94	96	98	99	100	100
<i>aardappelen / potatoes</i>	38	100	100	100	100	98	97	94	—
<i>erwten / peas</i>	26	88	95	98	99	100	100	100	98

Tabel 2. Effect pH-KCl op relatieve opbrengst van suikerbieten op zand- en dalgronden (Bron: Rus et al., 1997).

pH-KCl	Rel. opbrengst adviesbasis 1992 (Loman, 1992)	Rel. opbrengst veldproeven IRS 1985-1994	Gemiddelde	
			absoluut	relatief
4,5	77	93	85	88
4,75	81	96	88,5	91,5
5,0	84	98	91	94
5,25	87	99	93	96
5,5	90	100	95	98
5,75	92	100	96	99
6,0	94	99,5	96,8	100

Als de variatie in pH, organische stof en textuur binnen het perceel bekend is, kan de pH door een plaats specifieke bekalking overal op orde worden gebracht. Hierdoor kan sprake zijn van een meerwaarde ten opzichte van de gangbare praktijk, waarbij de kalkgift op het hele perceel gelijk is. Zo heeft Booi (2017) laten zien dat er grote variaties in pH en organische stof op praktijkpercelen voor kunnen komen, die bij een uniforme gift leidt tot een te lage bekalking op perceelsgedeelten met een lage pH en een te hoge bekalking op perceelsgedeelten met een relatief hoge pH. Afhankelijk van het gewas, kan dit tot een opbrengstderving leiden, die voor suikerbieten op zand en klei op kan lopen tot respectievelijk >10% en >20% (tabel 1 en 2).

Opvallend was dat plaats specifieke bekalking, zoals beschreven door Booij (2017) voor een perceel te Valthermond tot een hogere kalkgift leidde dan de gangbare, uniforme bekalking. Gebleken is dat dit tot een iets homogener pH-verdeling binnen het perceel leidde, maar dit effect was kleiner dan verwacht (Russchen et al., niet gepubliceerd). De verwachting is dat de hogere kosten die gepaard gaan met de plaats specifieke bekalking o.a. bij het gewas suikerbieten gecompenseerd kunnen worden door hogere opbrengsten. Dit is echter niet gekwantificeerd.

WUR Open teelten en HLB hebben in 2018 een projectvoorstel voorgelegd aan BO akkerbouw (niet gehonoreerd), waarin een aantal tekortkomingen van de huidige werkwijze voor plaats specifieke bekalking zijn beschreven op basis van een project met demo's op 10 praktijkpercelen en de eerdergenoemde veldproef te Valthermond met suikerbieten en zetmeelaardappelen. Dit betrof de volgende punten:

- Bij gebruik van de Veris bodemscanner zijn goede referentiemonsters (geanalyseerd in lab) van groot belang voor het resultaat van de meting van pH en organische stof en de daarop gebaseerde taakkaarten. Het protocol is hierop aangepast.
- De pH van de bodem wordt na plaats specifieke bekalking in een jaar wel (iets) egalier (homogener), maar de pH-stijging valt na bekalken lager uit dan verwacht. Het lijkt erop dat het bekalkingsadvies, los van het plaats specifieke element, omhoog moet om de gewenste pH-verhoging daadwerkelijk te realiseren.
- Er zijn geen duidelijke effecten van pH en bekalking op de gewasopbrengsten gevonden, zelfs niet bij suikerbieten. De giften in de trappenproef waren aan de lage kant en de pH bij de nulsituatie aan de hoge kant, waardoor er geen verschillen waargenomen zijn.

Het voorgestelde vervolgonderzoek was gericht op het wegnemen van deze tekortkomingen, maar dit is zoals hiervoor is aangegeven niet gehonoreerd.

Systemen voor N-bijbemesting in aardappelen

In een eerdere notitie uit december 2021 zijn een aantal systemen voor beslissingen over N-bijbemesting van aardappelen beschreven. Naast de systemen die reeds zijn opgenomen in het Handboek Bodem en Bemesting (NBS bodem en NBS op basis van bladstelen) zijn dat de volgende:

- NBS aardappelsensing (Booij, 2019): in dit systeem wordt 2/3 van het gangbare N-advies voor aardappelen bij het poten gegeven en wordt 1/3 van de adviesgift gebruikt voor een eventuele bijmestgift, die wordt gebaseerd op biomassa kaarten uit satellieten, drones en gewassensoren. De N-opname geschat uit de biomassa kaarten wordt vergeleken met een N-streefgetal, berekend uit pootdatum, datum van de meting en de opbrengstverwachting. Het N-bijmestadvies wordt gebaseerd op het verschil tussen de N-opname en het N-streefgetal. Dit systeem is beschikbaar voor de praktijk via de NBS3 App via Akkerweb (inmiddels Farmmaps; <https://www.farmmaps.net/nl/>), waarbij satellietdata en/of sensordata (van Dronewerkers) kunnen worden ingelezen. Ook via de website van Agrifirm kan de NBS-module van Akkerweb worden gedownload. Het resultaat is een plaats specifiek advies voor N-bijbemesting. Tegen betaling kan dit in de vorm van taakkaarten ter beschikking worden gesteld aan de gebruiker, waarbij de gift binnen het perceel dus wordt gevarieerd, afhankelijk van de stand van het gewas. De adviesgiften zijn afgeleid van veldproeven die zijn uitgevoerd door WUR (het vroegere PPO/PRI; zie o.a. Van Evert et al., 2011; Van Geel et al., 2011).
- Aardappelmonitoring: dit systeem is in het verleden ontwikkeld door het voormalige Altic en was gebaseerd op een combinatie van nitraatgehalten in bladsteeltjes en de loofgroei (Van Geel et al., 2011). Hiervoor zijn in het verleden normlijnen opgesteld die afhankelijk waren voor het teeltdoel en het ras. Er werd 4x in het seizoen bemonsterd. Het systeem wordt momenteel niet meer op de markt aangeboden.
- Bijmestmonitor (Eurofins): dit is een advies voor (o.a.) N-bijbemesting van meerdere gewassen (en dus ook aardappelen) op basis van een combinatie van grond- en gewasonderzoek. Het is mogelijk dat de klant zelf

een monster neemt, waarvoor instructies op de website van Eurofins staan. Voor aardappelen zijn er 4 meetmomenten (overeenkomend met respectievelijk 21, 31, 45 en 70 dagen na opkomst) mogelijk en dienen 25 samengestelde bladeren (inclusief bladsteel) te worden verzameld. De achtergronden van het systeem zijn (voor zover bekend) niet beschreven.

- Modelbenadering (b.v. Ndicea): via het model Ndicea kan informatie worden verkregen over de N-beschikbaarheid, waarbij zowel informatie over de N-mineralisatie, de N-opname door het gewas als N-verliezen wordt meegenomen. Er is een bouwplanmodule en een perceelsmodule beschikbaar. Het model levert vooral inzicht, maar geeft geen adviezen voor bemesting.

Vergelijking tussen adviessystemen voor N-bijbemesting van aardappelen

Van Geel et al. (2011) gaven een overzicht van veldproeven op zand- en kleigrond uit 2002-2003 en 2009-2010 waarin verschillende N-bijmestsystemen voor aardappel met elkaar zijn vergeleken. In de proeven waren ook steeds vaste N-trappen aanwezig, zodat achteraf afgeleid kon worden wat de optimale N-gift was en welk N-bijmeststelsel de optimale N-gift zo goed mogelijk benaderde. Vastgesteld werd dat de systemen elkaar niet veel ontliepen qua nauwkeurigheid van advisering. Het wisselde per proef welk systeem het beste advies gaf en soms lagen de adviezen dicht bij elkaar. Meestal lag het advies op basis van gewassensing het dichtste bij de afgeleide optimale N-gift. Een NBS op basis van gewassensing presteerde dus minstens zo goed als andere N-bijmestsystemen, terwijl de methode minder arbeid kost, het snelste van alle systemen (direct na meting) een advies kan geven en de mogelijkheid biedt om variabel bij te bemesten binnen een perceel. Geconcludeerd werd dat een NBS op basis van gewasreflectiemeting daarom het meest perspectiefvol is (Van Geel et al., 2011).

Van Geel et al. (2014) beschreven veldproeven met aardappelen op zandgrond (Vredepeel) en lössgrond (Hulsberg), waarin een aantal bijmestsystemen (o.a. op basis van gewassensing en aardappelmonitoring) in 2012 en 2013 werden vergeleken. Conclusies daarin waren dat de bijmestsystemen in het algemeen tot een wat hogere N-benutting leidden en dat ze op zandgrond perspectiefvol zijn en vrij goed voldeden, maar dat ze op lössgrond verder geoptimaliseerd moesten worden.

Geschiktheid van N-bijmestsystemen voor aardappelen voor de praktijk

In een aantal projecten zijn N-bijmestsystemen voor aardappelen toegepast op praktijkpercelen (Van Geel et al., 2011). Daarbij werd N-bijbemesting of geleide bemesting aangemerkt als een haalbare bemestingsstrategie waarmee in bepaalde gevallen een besparing op de N-gift van zo'n 50 kg N/ha kon worden gehaald. Daarbij werd door de praktijk aangegeven dat er een sterke voorkeur is voor systemen op basis van sensoren (b.v. beschikbaar gesteld via satellieten) ten opzichte van arbeidsintensieve systemen (b.v. op basis van bladstelen). Een systeem op basis van bladstelen werd als niet uitvoerbaar gezien voor de praktijk.

In een praktijknetwerk met betrokkenheid van 12-19 Limburgse akkerbouwers is in de jaren 2015-2017 gewerkt met plaats specifieke N-bijbemesting op basis van gewassensoren en de AardappelSensing-App (Kroonen-Backbier & Booij, 2018). Gedurende de looptijd van het praktijknetwerk waren de telers positief over het gebruik van dit systeem en heeft het geleid tot lagere N-giften dan de vaste giften die gebruikelijk zijn op praktijkbedrijven. Het systeem leidt onder bepaalde omstandigheden echter tot te hoge adviezen t.a.v. de N-bijmestgift, waardoor het vertrouwen onder telers is gedaald. In de laatste fase van het project (2018) is nagegaan of telers en loonwerkers de plaats specifieke N-gift op basis van gewassensoren zelfstandig zonder begeleiding vanuit het onderzoek uit kunnen en willen voeren. In 2018 werd door geen enkele deelnemer uit het project nog een plaats specifieke N-gift op basis van de AardappelSensing-app uitgevoerd, waaruit werd geconcludeerd dat het vertrouwen van de telers in dit systeem te laag is. Wellicht heeft dit ook te maken met de beperkte financiële

meerwaarde van toepassing van dit systeem. In het rapport werd aangegeven dat de kosten voor het gebruik van de sensoren variëren van 2 euro per keer (met satellietbeelden) tot 25 euro per ha per keer (bij Yara-N-sensor en dronebeelden), terwijl de besparing op meststofkosten ca. 20-30 euro per ha lagen (bij een kunstmestprijs van ca. 1 euro per kg N). Na afloop van het praktijknetwerk zijn enkele verbeteringen doorgevoerd, waardoor de streefwaarde naar eigen inzicht kan worden aangepast en er naast data van de Yara-N-sensor ook dronebeelden én satellietbeelden geïmporteerd kunnen worden. De verwachting was dat de nieuwe functionaliteiten zouden zorgen voor het verlagen van de drempel voor telers om met deze toepassing aan de slag te gaan. De gestegen kunstmestprijzen (in september 2022 ruim 3 euro / kg N), zullen dit effect kunnen versterken.

Verscheidene marktpartijen bieden producten aan die gebaseerd zijn op concepten van N-bijmestsystemen. Een voorbeeld hiervan is de Bijmestmonitor van Eurofins-agro, die adviezen voor meerdere nutriënten geeft en beschikbaar is voor een groot aantal gewassen. Het is gebaseerd op een analyse van de directe beschikbaarheid van nutriënten in de bodem én de gehalten in het gewas. Daarbij is het vaak niet volledig transparant welke elementen er zijn opgenomen in het product en of de meerwaarde van de producten is aangetoond in onafhankelijk, wetenschappelijk onderzoek. Daardoor is het lastig om de waarde van deze producten voor de praktijk te beoordelen.

Uitkomsten discussie CBAV in december 2021

- De CBAV zal in het HBB een overzicht opnemen van alle bijmestsystemen die er op dit moment beschikbaar zijn met een korte beschrijving ervan en verwijzingen naar een website waar meer informatie wordt gegeven of de websites van de aanbieders van de systemen. Naast NBS-bodem en NBS-bladstelen, zijn de NBS-aardappelsensing en de Bijmestmonitor van Eurofins-Agro de belangrijkste toevoegingen.
- N-bijmestsystemen op basis van gewassensing lijken voldoende onderbouwd en perspectiefvol voor een toepassing in de praktijk. Voorstel is daarom om hierover een advies op te nemen in het Handboek bodem en bemesting. Er zijn echter ook nog wel sprake van een aantal beperkingen van NBS-gewassensing:
 - Er is slechts één streefwaarde voor alle rassen; dit zou rasspecifiek moeten zijn.
 - Er wordt geen rekening gehouden met grote verschillen in mineralisatiepotentieel tussen percelen.
 - Er is geen link met het actuele weer.
 - De techniek met de NBS-app kan goed werken maar er zijn niet altijd adequate beelden of voldoende beelden.

Discussiebijeenkomst N-bijmestsystemen maart 2022

Op 31 maart 2022 heeft een discussiebijeenkomst plaatsgehad over N-bijmestsystemen met onderzoekers en adviseurs van WUR/NPPL, Delphy, Eurofins, Agrifirm en NMI aanwezig. Aanleiding was een vraag van Agrifirm aan de CBAV, omdat de huidige N-bijmestsystemen niet voldoen aan de wensen van Agrifirm. Agrifirm heeft behoefte aan een bijmestadvies dat naast de actuele N-opname van het gewas in vergelijking tot een streefwaarde, rekening houdt met een voorspelling van de N-nalevering uit organische mest en gewasresten en de bodemmineralisatie in de voorliggende periode. Daar houdt de app nu geen rekening mee. Vraag was welke verbeteringen mogelijk zijn. Vastgesteld is dat de huidige N-bijmestapp in Farmmaps voldoet, maar zijn tekortkomingen heeft, vooral voor het kwantificeren van N-mineralisatie en rekening houden met het actuele weer. Oplossingsrichtingen worden gezocht in een koppeling met bestaande registratiesystemen en modellen en/of een koppeling met tussentijdse metingen. Dit heeft echter nog niet geresulteerd in een concrete aanbeveling.

Conclusies en aanbevelingen

De conclusies zijn als volgt:

1. De mogelijkheden van precisiebemesting zijn toegenomen door het beschikbaar komen van sensoren voor het meten van bodem- en gewassamenstelling. Deze zijn de afgelopen jaren in onderzoeks- en demonstratieprojecten getest en kunnen bijdragen aan een optimalisering van de bemesting. Variaties in bodem- en gewassamenstelling binnen een perceel kunnen steeds beter in beeld worden gebracht, wat kan worden gebruikt als basis voor een plaats specifieke bemesting.
2. Er is een beperkt aantal praktijkrijpe systemen op basis van sensoren beschikbaar voor de akkerbouw:
 - Plaats specifieke bekalking op basis van een vlakdekkende bodemscan voor de bepaling van de pH en het organische-stofgehalte, wat vooral interessant is voor de teelt van suikerbieten, aangezien dit gewas relatief sterk reageert op pH. Ten opzichte van de reguliere werkwijze wordt er hiermee voor gezorgd dat de pH op alle plekken binnen een perceel kan worden geoptimaliseerd. In een proef in de Veenkoloniën leidde een plaats specifieke bekalking wel tot een wat egalere pH op het perceel, maar was het effect kleiner dan verwacht. Bij een grote variatie in pH binnen een perceel zal de financiële meeropbrengst in bouwplannen met suikerbieten waarschijnlijk hoger zijn dan de meerkosten, maar dit is lastig nauwkeurig vast te stellen omdat de relaties tussen pH en opbrengsten van akkerbouwgewassen zijn gebaseerd op oude proeven en omdat de pH-effecten in recentere proeven kleiner leken te zijn dan in oude proeven.
 - Gebruik van gewassensing als basis voor de N-bijmestgift in aardappelen. In dit systeem wordt 2/3 van het gangbare N-advies voor aardappelen bij het poten gegeven en wordt 1/3 van de adviesgift gebruikt voor een eventuele bijmestgift, die wordt gebaseerd op biomassa kaarten uit satellieten, drones en gewassensoren. De N-opname geschat uit de biomassa kaarten wordt vergeleken met een N-streefgetal, berekend uit pootdatum, datum van de meting en de opbrengstverwachting. Hiermee wordt de optimale N-gift vastgesteld, wat kan worden gebruikt als basis voor een plaats specifieke N-bijmestgift. Afhankelijk van de gebruikte sensoren bedragen de kosten voor het gebruik 2-25 euro/ha per keer (2 euro/ha per keer voor satellietbeelden en 25 euro/ha per keer voor dronebeelden), terwijl er gemiddeld 20-30 kg N/ha kan worden bespaard op de N-gift via kunstmest. Afhankelijk van de sterk fluctuerende kunstmestprijzen van ongeveer 2 - 3 euro/kg N, levert dat dus zo'n 15-90 euro per ha op (prijsspeel voorjaar 2022-voorjaar 2023; Agrimatie.nl). Daarnaast zijn er nog investeringskosten (voor de akkerbouwer of de loonwerker) nodig voor toedieningsapparatuur, waardoor het economisch rendement van plaats specifieke N-bemesting gering dan wel afwezig zal zijn.

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Een evaluatie van het bekalkingsadvies lijkt zinvol, aangezien de meest recente proeven wijzen op relatief kleine effecten van pH op opbrengst en kwaliteit, zelfs bij suikerbieten, dat bekend staat om zijn relatief sterke reactie op pH. Dit is niet alleen van belang voor de kosten en baten van plaats specifieke bekalking, maar ook voor de hoogte van het de adviesgift voor bekalking, die gebaseerd is op het economisch optimum.
2. Een nadere beschouwing van de financiële meerwaarde van plaats specifieke bekalking en N-bijbemesting is gewenst.
3. Nagaan of het meerwaarde heeft om bodemscans te gebruiken als basis voor een plaats specifieke basisbemesting, gericht op een organische bemesting, stikstof, fosfaat en/of kali. Variaties in het organische-stofgehalte binnen een perceel kunnen goed in beeld worden gebracht met bodemscans en hangen wellicht samen met variaties in de optimale N-, P-, K- en organische-mestgift.
4. Een verdere ontwikkeling van N-bijmestgiften op basis van gewassensing is gewenst door beter rekening te kunnen houden met rasverschillen, verschillen in N-mineralisatie tussen percelen en weerseffecten.

Literatuur

- Boskma K (1967) De invloed van het gehalte aan afslibbare delen en andere factoren op de optimale pH van kleigrond. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, Wageningen, 47 pp.
- Booij J (2019) NBS aardappelsensing; versie 3.0. Wageningen University & Research, 6 p.
- Hahn, C.J., Warren, S.G. and London, J. (1995). The effect of moonlight on observation of cloud cover at night, and application to cloud climatology. *Journal of Climate* 8.5 1429-1446.
- Hoving, I.E., C. Kempenaar, S. Heijting, T.H. Been, A.P. Philipsen, H.C.A. Vlemminx, G.J. Roerink & G.J.F.M. Hermans, 2014. GrasMaïs-Signaal; adviessysteem precisielandbouw melkveehouderij. Haalbaarheidsstudie naar het genereren van opbrengst en voederwaarde kengetallen met sensoren en modellen voor gras en snijmaïs. Wageningen Livestock Research.
- IFA (2009). The Global "4R" Nutrient Stewardship Framework for Developing and Delivering Fertilizer Best Management Practices. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
- Kempenaar, C, Van Dijk C, Van Egmond F, Goldbach F, Polder G, Pronk A (2018) Sensoren en gewasmodellen voor precisielandbouw; Literatuuronderzoek DISAC deelproject E-pieper. Wageningen Research, Rapport WPR-758. 46 p.
- Kikkert A. (2009). Sensingsystemen voor bodem en gewas ten behoeve van precisielandbouw. Rapport 655. HLB, Wijster.
- Kroonen-Backbier BMA & Booij JA (2018) Betere stikstofbenutting met Aardappelsensing App; Waardenetwerk Limburg. Wageningen Research, Vertrouwelijk Rapport WPR-3750352700.
- Loman, 1992. Het bekalkingsadvies voor zand- en dalgronden. IB-Nota, IB, Haren, 13 p.
- Nysten, C. & Kempenaar, C., 2019. Toepassing van Bodemscans voor Smart Farming. Vergelijking van bodemscans in Ens maakt bodemeigenschappen inzichtelijk. Rapport Aeres Hogeschool Dronten, 28 januari 2019, 37 pp.
- Ros G.W. & Bussink D.W. (2012). Ontwikkeling van beslissingsondersteunende systemen voor het bijmesten van gewassen. Toepassingsmogelijkheden van gewassensoren in de Nederlandse precisielandbouw: een literatuurstudie Rapport 1454.N.11. Nutriënten Management Instituut NMI bv.
- Rus et al. (1997) pH-advies t.b.v. zetmeelaardappeltelend gebied; Oosterbeek 1997. BLGG-notitie, 37 p.
- Russchen HJ, Booij JA & Van der Schans D (ongepubliceerd) Plaatsspecifieke bekalking op basis van een Veriscan pH en organische stof kaart; Analyse van praktijkdemo's en blokkenproef. PPO-AGV, Wageningen.
- Tigchelhoff F, Kempenaar C, Nysten S & Booij J (2021) Toepassing van bodemscans voor precisielandbouw; een bodemscanvergelijking op zandgrond. Aeres Hogeschool, Dronten, 35 p.
- Van Beek C & Van Rotterdam D (2020) The use of near-infrared sensor technology for soil test-based decision making in agriculture. IFS-proceedings 848. Paper presented to the International Fertiliser Society in an open webinar, on 10th December 2020.
- Van der Boom N (2016) Ongeduldige akkerbouwer wil nu precisielandbouw; Boerenbusiness.nl.
- Van Evert F.K., van der Voet P., van Valkengoed E., Kooistra L. & Kempenaar C. (2012). Satellitebased herbicide rate recommendation for potato haulm killing. *European Journal of Agronomy* 43, 49-57.
- Van Evert FK, van der Schans DA, Malda JT, van den Berg W, van Geel WCA & Jukema JN (2011) Geleide N-bemesting voor aardappelen op basis van gewasreflectie-metingen; Integratie van sensormetingen in een N-bijmestingsysteem. PPO publicatienr. 423, PPO-AGV, WUR, 133 p.
- Van Geel W, Kroonen-Backbier B, Van der Schans D & Malda JT (2011) Nieuwe bijmestingsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 1a: Deskstudie. PPO-rapport 439, PPO, WUR, 87 p.
- Van Geel W, Kroonen-Backbier B, Van der Schans D & Malda JT (2014) Nieuwe bijmestingsystemen en -strategieën voor aardappel op zand- en lössgrond. Deel 2: Veldproeven 2012-2013. PPO-rapport 615, PPO, WUR, 96 p.