

30 NOVEMBER 2023



PRECISIALANDBOUW

PRAKTIJKKENNIS VOOR VOEDSEL EN GROEN PROJECT

SENSORTECHNOLOGIE



PreciSIAlandbouw

Praktijkkennis voor Voedsel en Groen project

Regieorgaan SIA kenmerk: PVG.DZ20.PK.001

Auteurs

Van Hall Larenstein

Emiel Elferink – Lectoraat Duurzaam Bodembeheer

Hendrik Boekhoud

Ruben Dümmer

Aeres Hogeschool Dronten

Ferry Tigchelhoff

Kees Westerdijk

Inholland

Nelleke Kreike – Lectoraat Green Biotechnology

Frank van der Helm

Sonia Jillings

Contactpersoon: Emiel Elferink – emiel.elferink@hvhl.nl



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Dit onderzoek is medegefinancierd door Regieorgaan SIA, onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het programma 'Praktijkkennis voor Voedsel en Groen'.



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie.

Voorwoord

Dit rapport is onderdeel van het project 'PreciSIAlandbouw' medegefinancierd door de SIA call Praktijkkennis Voedsel en Groen. Precisielandbouw is een bedrijfsmanagementconcept dat d.m.v. technologie en kennis zo goed mogelijk stuurt op economische, ecologische en maatschappelijke doelen. Het PreciSIAlandbouw-consortium heeft praktijkgericht onderzoek gedaan binnen een vijftal precisielandbouwthema's: 1) sensortechnologie, 2) kennis en advies, 3) robotisering, 4) digitalisering en 5) verdienmodellen. Deze thema's zijn gekozen vanuit een brede vraagarticulatie waarin knelpunten en uitdagingen in de landbouwpraktijk zijn benoemt. De thema's sluiten tevens aan bij innovatievragen van de betrokken private consortiumpartners en speerpunten van de betrokken onderwijs- en onderzoeksinstituten. Het is een mix van onderwerpen die nieuwe praktijkkennis levert.

Het PreciSIAlandbouw-consortium bestaat uit vijf hbo's, één universiteit, drie mbo's, één brancheorganisatie en negen agrarische en toeleverende bedrijven. Het consortium heeft nauwe banden met Topsector-projecten (o.a. PL4.0) en FieldLabs (o.a. NPPL) op het gebied van precisielandbouw, waardoor een breed netwerk aangehaakt is. Het project is in 2021 gestart met een looptijd van twee jaar en een totale begroting van 725.000 euro. Naast onderzoekers en consortiumpartners is onderwijs, docenten en studenten van de HBO's en MBO's, nauw betrokken bij dit onderzoek en het tot standkomen van de resultaten.

De onderzoeksactiviteiten in het PreciSIAlandbouw-project zijn ondergebracht in vijf R&D-werkpakketten. Daarnaast is er één projectmanagementwerkpakket. De R&D-werkpakketten zijn gekoppeld aan de vijf voorgenoemde thema's. Elk R&D-werkpakket heeft specifieke doelen, aanpak, onderzoeksmethodieken en op te leveren resultaten. Dit rapport gaat over werkpakket 1 Sensortechnologie.

Emiel Elferink

Leeuwarden, november 2023

Inhoud

1. Inleiding Sensortechnologie	5
Achtergrond.....	5
Werking Sensoren	5
Sensoren in de landbouw	5
Doelstelling Project	6
2. Sensorsystemen voor de detectie en bestrijding van onkruiden.....	8
Inleiding.....	8
Proefopzet en resultaten Onkruidvrij in de rij	9
Conclusie	10
Bibliografie	11
3. Sensortechniek Opbrengstmetingen.....	14
Inleiding.....	14
Proefopzet achtergrond, sensoren en apparatuur	14
Sensoren 	15
Proefuitvoering.....	16
Perceel H 	16
Perceel R 	17
Perceel S 	17
Perceel D 	18
Resultaten	18
Perceel H 	18
Perceel R 	18
Perceel S 	19
Perceel W 	19
Ervaringen en discussie	20
Data uitwisseling en verwerking	20
Besluitvorming rondom taakkaart opzet	21
Voornemen versus Praktijk - rekenregels	23
Inregelen sensoren en machines.....	24
Aanbevelingen.....	25
Waterbeheer	26
Ter afsluiting.....	27
Bibliografie	29

4. Sensorsystemen voor het bepalen van zoutstress in gewassen	30
Inleiding	30
Sensortechniek	33
Drone	33
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	33
Infrarood camera (warmtebeeld).....	33
Zoutbepaling.....	34
Proefopzet	34
Drone	35
Satelliet.....	36
Kasproef.....	36
Resultaten	37
bNDVI.....	37
NDVI-satelliet.....	39
Warmtebeeld	39
Kasproef.....	41
Conclusie	43
Discussie	43
Aanbevelingen voor de praktijk	43
Bibliografie	45
5. Sensortechniek: Monitoring van de Biodiversiteit	46
Inleiding	46
Sensortechniek	46
Opzet van de workflow	47
Doelstelling.....	47
DNA sequencing en Data analyse voor Nanopore sequencing	48
Onderzoekslocatie.....	49
Resultaten	50
Discussie	57
Conclusie	58
Bibliografie	59

1. Inleiding Sensortechnologie

Achtergrond

Als gevolg van de bevolkingsgroei, de klimaatverandering, een veranderend neerslagpatroon en de toenemende vraag naar voedsel wordt de landbouw negatief beïnvloed, wat leidt tot veranderingen in teeltmethoden. Om deze ontwikkelingen te keren is een intelligente manier van landbouwbedrijven, met gebruikmaking van nieuwe en geavanceerde technologieën nodig. Om opbrengsten te kunnen verbeteren, gebruik van grondstoffen te optimaliseren en accurate gegevens te verzamelen, is het gebruik van sensoren noodzakelijk. Precisielandbouwsensoren zijn zeer efficiënt in de landbouw omdat ze gegevens doorgeven die boeren niet alleen helpen hun producten te monitoren, maar ook te verbeteren en op de hoogte te blijven van veranderingen in het veld en het ecosysteem. De kwaliteit van geleverde data door sensoren laat nogal eens te wensen over waardoor precisielandbouwtoepassingen achterblijven. De focus in dit hoofdstuk ligt op verbetering van de stap van ruwe data vanuit de sensoren naar bruikbare data en verrijking van deze data met andere data zodat ze (beter) gebruikt kunnen worden in de toepassingen van precisielandbouw.

Werking Sensoren

Een sensor is een gadget dat fysieke of chemische veranderingen in de omgeving detecteert en deze omzet in elektrische signalen bepaalde input waarneemt en erop reageert, zoals verlichting, voortbeweging, druk, hitte of vocht. Het elektrische signaal wordt omgezet in informatie (data) die door mensen kan worden gelezen voor verdere interpretatie en verwerking. Sensoren geven bijvoorbeeld plaats- en tijdspecifieke informatie over de status van agrarische objecten (bodem, gewas, dier, klimaat en/of omgeving), het management en biodiversiteit. In de precisielandbouw zijn sensoren essentieel en de basis voor precisielandbouwtoepassingen op agrarische bedrijven. Ten grondslag aan sensoren liggen vaak maar enkele meetprincipes, zoals het meten van de spectrale samenstelling van inkomend zichtbaar en onzichtbaar licht. Een temperatuursensor detecteert temperatuurveranderingen en zet deze om in elektrische signalen die kunnen worden geïnterpreteerd door het apparaat waarop deze is aangesloten. Deze meetprincipes zijn vervat in sensorsystemen van hard- en software die bruikbare informatie leveren. Naast het meetprincipe is er een doorvertaling van de ruwe data naar te gebruiken data/informatie voor het nemen van beslissingen. Interoperabiliteit en kalibratie zijn aandachtspunten. Voor een aantal sensorsystemen is dit voldoende ontwikkeld voor gebruik in de praktijk; zie bijvoorbeeld het gebruik van gewas- en bodemsensorsystemen waarmee ruimtelijke variatie van organische stof in de bodem respectievelijk de bovengrondse groene biomassa in kaart gebracht kan worden.

Sensoren in de landbouw

Er worden in de precisielandbouw verschillende soorten sensoren gebruikt. Enkele voorbeelden zijn:

Optische sensoren in de landbouw: die gebruiken lichtfrequenties om bijvoorbeeld bodems en planten te beoordelen. Deze sensoren worden op drones, satellieten, voertuigen of robots geplaatst.

Elektrochemische sensoren: die o.a. gebruikt worden voor de detectie van bodemnutriënten. Deze sensoren helpen bij het verzamelen, verwerken en in kaart brengen van de chemische gegevens van de bodem. In het veld worden ze meestal gemonteerd op speciaal ontworpen sleeën.

Mechanische (bodem)sensoren: dit soort sensoren worden gebruikt om mechanische tegenstand te meten zoals bodemcompressie of gewicht. Deze sensor registreert kracht die wordt berekend door drukschalen of loadcellen.

Diëlektrische (bodemvocht)sensoren: Deze sensor berekent het vochtgehalte (in de bodem) met behulp van een diëlektrische constante. Dit is een elektrische eigenschap die verandert afhankelijk van het vochtgehalte.

Locatie of GPS-sensoren: Deze sensor wordt over het algemeen geassocieerd met de auto- en mobiele communicatie-industrie. Deze precisielandbouwsensoren worden gebruikt om de variëteit, afstand en hoogte van elke positie te bepalen. Hiervoor gebruiken ze de hulp van GPS-satellieten.

Elektronische sensoren: Ze worden op tractoren en andere veldapparatuur geïnstalleerd om de werking van een apparatuur te controleren.

Het gebruik van sensortechnologie heeft ertoe geleid dat landbouwactiviteiten productiever zijn geworden dan voorheen, waardoor de oogst van boeren en de kwaliteit van de producten zijn toegenomen.

Naast het meetprincipe is er een doorvertaling van de ruwe data naar te gebruiken data/informatie voor het nemen van beslissingen. Interoperabiliteit en kalibratie zijn hiervoor belangrijk. Voor een aantal sensorsystemen is dit voldoende ontwikkeld voor gebruik in de agrarische praktijk; zie bijvoorbeeld het gebruik van gewas- en bodemsensorsystemen waarmee ruimtelijke variatie van organische stof in de bodem respectievelijk de bovengrondse groene biomassa in kaart gebracht kan worden. Hiermee kunnen adviezen gegeven worden, zoals taakkaarten voor variabel doseren van loofdoormiddelen op basis van biomassakaarten. Een overzicht uit 2018 van sensorsystemen met duiding van TRL-niveau is anno 2023 nog steeds actueel (Kempenaar et al. 2018).

Doelstelling Project

Het doel van dit project is een wezenlijke bijdrage leveren aan de ontwikkeling en validatie van enkele geselecteerde sensorsystemen. De kwaliteit en bruikbaarheid van data uit sensorsystemen is onderzocht, verbeterd en gevalideerd onder laboratorium- en praktijkomstandigheden. Er is specifiek gekeken naar de hieronder beschreven sensorsystemen die door de deelnemende mkb's en de scholen geprioriteerd zijn.

In dit project is aandacht besteed aan vier sensorsystemen die verschillen in ontwikkelfase, meetprincipe en toepassingsmogelijkheden voor de landbouw:

- a. Sensorsystemen voor de detectie en bestrijding van onkruiden
- b. Sensorsystemen voor het meten en bepalen van opbrengsten en nutriënten
- c. Sensorsystemen voor het bepalen van zoutstress in gewassen
- d. Sensorsystemen voor het bepalen van de microbiologische eigenschappen van bodems

In de volgende hoofdstukken wordt nader ingegaan op elk van deze systemen. Per sensorsysteem wordt in de inleiding nader ingegaan op de huidige stand van de techniek van het sensorsysteem. Per sensorsysteem zijn vervolgens onderzoeksvragen gedefinieerd afhankelijk van de kennisvragen die

erover het betreffende sensorsysteem zijn. Per sensorsysteem is er een proefopzet uitgewerkt en uitgevoerd om deze vragen te beantwoorden. De resultaten worden kort en bondig besproken, gedetailleerde resultaten en data zijn op aanvraag beschikbaar. Elk hoofdstuk eindigt met een discussie en conclusie gevolgd door aanbevelingen voor de praktijk. Per sensorsysteem is er een bibliografie opgesteld met bronnen waar meer informatie over het sensorsysteem te vinden is.

2. Sensorsystemen voor de detectie en bestrijding van onkruiden

Auteur: Kees Westerdijk & Ferry Tigchelhoff, Aeres Hogeschool Dronten

Inleiding

Er zijn zeer veel methoden beschikbaar voor het bestrijden van onkruid. Bestrijding van onkruid begint al voor het zaaien. Zo kan er bijvoorbeeld een vals zaai-bed worden gemaakt. Ook door vroeg te beginnen met schoffelen en wieden kan de groei van onkruid worden tegengegaan (Westerdijk et al., 1994; Westerdijk & Van der Weide, 1995). Wortelonkruiden als distels, hoefblad of ridderzuring zijn weliswaar hardnekkig, maar zolang volledige stroken (zoals tussen de rijen) zijn te bewerken, is er al heel wat mogelijk om onkruid mechanisch te bestrijden. In een gewas is met zowel handmatig wieden als met chemische onkruidbestrijding een bestrijdingsresultaat van slechts 60% maximaal haalbaar (Medema, pers. med.; Lotz, Rotteveel & Greve, 2005).

Tussen de gewasrijen kan tegenwoordig grofweg 90% van het onkruid al worden verwijderd. Het selectief bestrijden van onkruiden in een rij of in een volveldsgewas is daarentegen een stuk complexer (zie Tabel 1). Hiervoor zijn commercieel nog geen applicaties verkrijgbaar. Voor bestrijding tussen de rijen zijn sensoren en camera- en beeldverwerkingstechnieken nodig om verschillende planten en onkruiden te herkennen zodat deze actief kunnen worden verwijderd. Er zijn commercieel verkrijgbare robots die wel tussen de rijen wieden, maar nog niet in de rij.

Tabel 1

Gewaseigenschappen van de belangrijkste gewassen in areaal en inzet onkruidbestrijding die aangeven hoe makkelijk of moeilijk het is mechanische onkruidbestrijding effectief toe te passen

gewas	groep	areaal x 1.000ha	wieduren /ha	herbicide kg act. stof/ha	rij- afstand cm	plant- afstand cm	hoogte**) cm	gewasbeschadiging tolerantie --- = geen	bijzonderheden
aardappel	gemiddeld	167,5	10	3,7	75	15-35	50	0	kan knollen achterlaten die volgend jaar problemen geven: aardappelopslag teelt op ruggen
bieten	makkelijk	79,2	70	4,4	50	20	30	-	aardappelopslag wordt in andere teelten al veel aandacht aan besteed
kool	makkelijk	10,7	30		75	20-50	30	--	veel variaties
sla	makkelijk	3,24	55		50	25	25	---	meerdere teelten per jaar
peen	moeilijk	7	80	3,3	75	tegen elkaar	40	--	teelt op ruggen
ui	moeilijk	36,9	100	4,5	8-33	tegen elkaar	30	--	teelt op bedden van 1,50m tot 2,25m
mais	makkelijk	187,4	20	1,09	75	10-20	8	0	hoog gewas
spinazie en bonen	gemiddeld	3,38/3,97	40 / 20		0-12,5-50	0-10	10	0 / -	twee teelten in 1 seizoen problemonkruiden moeten voor de oogst verwijderd zijn
Generiek: onkruid is een probleem dat je vanaf zaaien/poten tot aan sluiten gewas zo goed mogelijk wilt oplossen (=verwijderen)									
in bovenstaande gewassen is schoffelen tussen de rijen reeds lang beschikbaar, nauwkeurigheid (zo dicht mogelijk langs de rij) is hierbij de uitdaging									
onkruid in de rij is moeilijk te verwijderen, zeker in gewassen zoals uien en peen die zeer dicht gezaaid worden									
schatting: een kilo actieve stof plm 150 eu									
aardappelopslag is slecht te bestrijden, eigenlijk alleen chemisch werkt goed									
**) gewashoogte is aangegeven tot het moment dat onkruidbestrijding nog haalbaar is									

De onkruidbestrijding is een van de grootste kostenposten van een teelt (Lotz, Rotteveel & Greve, 2005). Om onkruiden in de toekomst de baas te blijven zal een geïntegreerde aanpak noodzakelijk zijn. Ondanks de haast onuitputtelijke range van rotaties zijn in elke rotatie wel de gewasgroepen te onderscheiden: Makkelijk; Gemiddeld; Moeilijk.

In de gewasgroep 'Makkelijk' (zie Tabel 1) zijn de meeste onkruiden tussen de rijen geen probleem en in de rij gemiddeld te bestrijden. Wortel- en knolonkruiden blijven moeilijk te bestrijden, ook in 'makkelijke' gewassen. In de gewasgroep 'Gemiddeld' zijn bij teelt op rijen/ruggen de onkruiden

middels (aanaardend) schoffelen gemiddeld te bestrijden en bij breedwerpig zaaien dienen de probleemonkruiden vóór de oogst verwijderd te zijn. Dit is als 'moeilijk' te classificeren. In de gewasgroep 'Moeilijk' wordt de onkruidbestrijding belemmerd doordat de rijafstand van het gewas erg klein is en/of dat de plantafstand in de rij erg klein is. De arbeidskosten voor onkruidbestrijding zijn in deze gewassen het hoogst.

Proefopzet en resultaten Onkruidvrij in de rij

Om in te springen op nieuwe ontwikkelingen en gebruik te maken van de huidige technieken is onderzoek naar het bestrijden van onkruid door gebruik van een hitte-element in een project 'Onkruidvrij in de rij'. Dit project richtte zich op de eisen waar een agrobot aan moet voldoen om onkruid effectief te bestrijden. Het is een samenwerking tussen Saxion, Aeres en het regionale bedrijfsleven om de volgende stap te zetten op het gebied van precision farming met kleine autonome mobiele robots (zie figuur 1).

Figuur 1

Mobile drager met het hitte element (zie inzet) gemonteerd dat tijdens de beweging het onkruidplantje aanstipt



Op basis van een inschatting van praktijkrijpheid van innoverende technieken (zie Tabel 2) is gekozen voor een testopstelling waarmee onkruid door middel van een hitte-element vernietigt kan worden. Deze detectie hardware is gebaseerd op een Zed 2 RGB-D camera met LED licht en een NVIDIA Jetson Xavier computerunit voor beeldverwerking. Herkenning is gericht op het vaststellen van het groeipunt of essentiële stengelposities. Een behandeling van 0.5s met 500°C doodde 80% van de onkruiden jonger dan 10 dagen, bij oudere planten was bijna 3s nodig voor doding. Een combinatie is gemaakt van enkele in Tabel 2 genoemde technieken met een hoge TRL, laag benodigd vermogen en gewicht en hoge toepasbaarheid. Gekozen is voor de gewasgroep Gemiddeld, als het daar lukt,

dan kan het zeker ook in de gewasgroep Makkelijk. Gekozen is voor de gewasgroep Gemiddeld, als het daar lukt, dan kan het zeker ook in de gewasgroep Makkelijk.

Tabel 2

Praktijkrijpheid van technieken voor onkruidbestrijding, hoe hoger het cijfer, des te meer praktijkrijp (minder complex, minder vermogen, minder gewicht, lage prijs, beter toepasbaar)

Techniek	TRL level	toelichting TRL	Complexiteit	Benodigd vermogen	Toepasbaarheid	Gewicht	Prijs
Heet water/Stoom	9		2	1	1	1	5
Hoge druk watersnijden	7		2	2	2	1	5
Laser	6		2	2	3	6	3
Hete lucht	9		2	5	1	4	5
Infrarood stralen	9		2	5	3	6	5
UV	7		2	6	3	6	3
Pletten	8		4	8	4	2	5
Zand stralen	7		2	5	1	2	5
Microwave	6		2	6	3	6	3
Brander	9		3	4	5	4	5
Hak	9		4	7	6	5	8
Frees	9	In de rij bij zaaien/poten	9	5	8	5	7
Elektriciteit	8		2	5	3	6	3
Chemisch	9		8	9	8	5	7
Vingerwieder	9		7	7	8	7	5
Uitdaging bij alle technieken: integratie, plantgerichte inzet							

Legenda	Hoe hoger het cijfer, hoe meer praktijkrijp
TRL	TRL is technology readiness, alle technieken zijn reeds ergens bewezen effectief in proef of praktijksituatie, hoe hoger hoe beter de praktijkrijpheid
Complexiteit	Cijfer 1 tot 9 over complexiteit integratie, 1 is naar verwachting relatief zeer complex, 9 is relatief weinig complex
Benodigd vermogen	Cijfer 1 tot 9 over schatting benodigd vermogen, 1 is zeer hoog, 9 is relatief laag
Toepasbaarheid	Cijfer 1 tot 9 over toepasbaarheid, 1 is zeer laag, 9 is relatief hoog
Gewicht	Cijfer 1 tot 9 over gewichtindicatie, 1 is relatief hoog, 9 is laag
Prijs	Cijfer 1 tot 9 over prijschatting, 1 is relatief hoog, 9 is zeer laag

Conclusie

Uit dit onderzoek 'Onkruidvrij in de rij' is gebleken dat hoe eerder onkruidplantjes aangestipt worden, hoe succesvoller de vernietiging zal zijn. Om de onkruiddruk te kunnen beheersen is het van belang dat de plantjes niet ouder zijn dan ongeveer 10 dagen om zo het effectiefst te werken. Indien het onkruid groter wordt en al meer bladmassa heeft gevormd, dient er een langere tijd direct contact te zijn (minimaal 3 seconden) met het onkruidplantje om voldoende schade aan te brengen. In de praktijk gaat dit direct ten koste van de capaciteit en bij groter onkruid bestaat de kans dat het onkruid de groei van het gewas belemmerd. Om zo goed mogelijk onkruid te bestrijden door middel van het hitte-element en de onkruiddruk te kunnen beheersen moet er elke 7 tot 10 dagen een behandeling worden uitgevoerd waarbij alle onkruidplantjes minimaal 1 seconde direct wordt aangestipt met een hitte-element van 400°C. De plaats van aanstippen is in dit vroege stadium niet van groot belang, zolang er maar direct contact is tussen plantje en hitte-element. Daarbij geldt: hoe hoger de temperatuur van het hitte-element, hoe groter de slagingskans. Bij een temperatuur van 500°C zijn de onkruidplantjes vrijwel direct vernietigd en is een aanstiptijd van 0,5 seconden in 80% van de observaties al voldoende om het onkruidplantje te vernietigen (Dekker en Grotenhuijs, 2023).

Bibliografie

- Achten, V.T.J.M., D.M. Jansen, C.N. Verdouw & G.J. Molema (2004). Kennis op de akker (KodA); Verkenning van kennis en mogelijkheden op het gebied van managementondersteuning op akkerbouwbedrijven. Agrotechnology & Food Innovations Report, Wageningen 2004.
- Andreasen, C., Scholle, K., & Saberi, M. (2021). Laser Weeding With Small Autonomous Vehicles: Friends or Foes?
- Ascard, J. (1995). Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research*; 1365-3180.
- Ascard, J. (1995). Effects of flame weeding on weed species at different developmental stages. *Weed Research*; 1365-3180.
- Bakker, T., Ass Andreasen, C., Scholle, K., & Saberi, M. (2021). Laser Weeding With Small Autonomous Vehicles: Friends or Foes?
- Bakker, T., Asselt, K. v., Bontsema, J., & Müller, J. (2005, January). An Autonomous Weeding Robot for Organic Farming. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/221323085_An_Autonomous_Weeding_Robot_for_Organic_Farming
- Bakker, T., Asselt, K. v., Bontsema, J., & Müller, J. (2005, January). An Autonomous Weeding Robot for Organic Farming. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/221323085_An_Autonomous_Weeding_Robot_for_Organic_Farming
- Bakker, T., Asselt, K. v., Bontsema, J., Müller, J., & Straten, n. G. (2005). An Autonomous Weeding Robot for Organic Farming. Retrieved from Springerlink: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-33453-8_48
- Bechar, A. (2021). Innovation in Agricultural Robotics for Precision Agriculture: A Roadmap for Precision Agriculture. Retrieved from https://books.google.nl/books?id=HnUEAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=weed+robots+and+precision+farming&hl=nl&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=weed%20robots%20and%20precision%20farming&f=false
- Bontsema, J., Asselt, C. v., Lempens, P., & Straten, G. v. (1998). Intrarow weed control: a mechatronics approach. In 1st IFAC Workshop on Control Applications and Ergonomics in Agriculture, pages 93–97,.
- Dekker, R & L. Grotenhuijs (2023). Onkruidvrij in de rij, Rapport PvB Aeres hogeschool in samenwerking met Saxion, Mechan, 14-6-2023, 28 pp.
- Elberse, W., & Berendse, F. (1993). A comparative study of the growth and morphology of eight grass species from habitats with different nutrient availabilities. *Functional Ecology*.
- EPA (2019). Integrated Pest Management (IPM) Principles. Geraadpleegd op 16-2-2021, website update April 11, 2019, <https://www.epa.gov/safepestcontrol/integrated-pest-management-ipm-principles>.
- High Tech to Feed the World 2.0. Een revisie van en update naar de laatste stand van toepassingen van high tech in de agrarische en voedingssectoren in Nederland. Geraadpleegd op 13 januari 2020. http://www.tki-agrifood.nl/downloads/innovatieagenda/bijlage-3-a-f_high-tech-to-feed-the-world---v3.1-bijlage-v1.1.pdf
- Kempenaar, C., & Boogaard, R. v. (2004). MLHD, a decision support system for rational use of herbicides. Wageningen Academic Publishers.

- Lotz, L., A. Rotteveel & H. Greve (2005, maart). Onkruidbeheersing in Nederland, nut en noodzaak. Gewasbescherming, 36, pp. 42-44. Ministerie van Economische Zaken (mei, 2013). Gezonde Groei, Duurzame Oogst. Tweede nota duurzame gewasbescherming periode 2013 tot 2023.
- Lotz, L., M. Kropff, & M. Groeneveld (1990). Modelling of weed competition and yield losses to study the effect of omission of herbicides in winter wheat. In H. Aarts, v. K. Gerwen, d. W. Groot, & C. Spitters, Netherlands Journal of Agricultural Science 38 (pp. 711-718). Wageningen: Centre for Agrobiological Research. doi:10.18174/njas.v38i4.16559 Kamerbrief Toekomstvisie gewasbescherming 2030, naar weerbare planten en teeltsystemen en Pakket van maatregelen emissiereductie gewasbescherming open teelten (april, 2019).
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (september, 2018). Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en verbonden Nederland als koploper in kringlooplandbouw.
- Noordermeer, J. (2020). Omschakelen naar bio: verkijk je niet op de kosten. De Boerderij en Akkerwijzer, geraadpleegd op 16-2-2021, <https://www.akkerwijzer.nl/artikel/233811-omschakelen-naar-bio-verkijk-je-niet-op-de-kosten/>.
- Profytodsd. (2021). Spuitwerkzaamheden taak voor robot. Retrieved from https://www.profytodsd.nl/download_file.php?file=r2VorYIDDJKj
- Reindsen, H. (2021). Nieuwe stap voor mechanische onkruidrobot in suikerbieten. Retrieved from <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2021/05/06/nieuwe-stap-voor-mechanische-onkruidrobot-in-suikerbieten>
- Robotti - één robot voor monitoring, zaaien, schoffelen en bemesten. (n.d.). Retrieved from [wur.nl: https://www.wur.nl/nl/show/robotti.htm](https://www.wur.nl/nl/show/robotti.htm)
- RVO, CE-markering machinerichtlijn (2006/42/EG). Geraadpleegd op 16-2-2021. Website gewijzigd op 25-06-2018: https://www.rvo.nl/onderwerpen/tools/wet-en-regelgeving/eu-wetgeving/ce-markering/overzicht-ce-richtlijnen/machines-en-aanverwante-producten/machinerichtlijn?utm_campaign=12144079363&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=493914831808&utm_term=%2Bmachine%20%2Brichtlijnen&adgroupid=117775588998
- Smits, M. (2021, juni 15). Onkruidbrander steeds efficiënter én populairder. Retrieved from [gfactueel.nl: https://www.gfactueel.nl/Volleggrond/Achtergrond/2021/6/Onkruidbrander-steeds-efficiënter-en-populairder-758476E/](https://www.gfactueel.nl/Volleggrond/Achtergrond/2021/6/Onkruidbrander-steeds-efficiënter-en-populairder-758476E/)
- Smits, M. (december, 2019). Mechanische onkruidbestrijding: er is veel mogelijk. Boerderij.nl Geraadpleegd op 7 januari 2020.
- Thomasson, J. A., C.P. Baillie, D.L. Antille, C.R. Lobsey & C.L. McCarthy (2019). *Autonomous technologies in agricultural equipment: a review of the state of the art* (pp. 1-17). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Topsector Agri & Food. Kennis en Innovatieagenda 2018 - 2021 (augustus, 2017).
- Van der Weide, R en D. Kurstjens (2019). Onkruidbestrijding in biologische teelten, strategie en technologie. PAV, IMAG 2000. Platform Kringlooplandbouw (december 2019). In Lelystad wordt de 'Boerderij van de Toekomst' ingericht. <https://www.platformkringlooplandbouw.nl/actueel/nieuws/2019/12/12/boerderij-van-de-toekomst>
- Vereniging Hogescholen (2016). Onderzoek met Impact. Strategische onderzoeksagenda hbo 2016 – 2020.
- Vries, M. d. (2020, maart 30). Elektrocuteren van onkruid naar hoger plan. Retrieved from [akkerbouwbedrijf.be: https://www.akkerbouwbedrijf.be/gewasbescherming/elektrocuteren-van-onkruid-naar-hoger-plan/](https://www.akkerbouwbedrijf.be/gewasbescherming/elektrocuteren-van-onkruid-naar-hoger-plan/)

- Wang, A., W. Zhang & X. Wei (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Computers and electronics in agriculture*, 158, 226-240.
- Werner, P. (2021). Nieuwe robot voor onkruidbestrijding met lasers. Retrieved from rockingrobots.nl: <https://www.rockingrobots.nl/nieuwe-robot-voor-onkruidbestrijding-met-lasers/>
- Westerdijk, C.E. en R.Y. van der Weide (1995). Eggen in suikerbieten \ Ekoland : vakblad voor biologische landbouwmethoden, verwerking, afzet en natuurvoeding 1995
- Westerdijk, C.E., R.Y. van der Weide, R & J.D.A. Wevers (1994). Volvelds met de eg in de suikerbieten : nog verder terug met herbicidengebruik \ Akkerbouw : tweewekelijks vaksupplement van Boerderij 1994
- WUR (2017). SMARAGD: Slimme Mechanisatie - Automatisering – Robotisering voor een Akkerbouw met Groei en Duurzaamheid. Geraadpleegd op 13 februari 2020. <https://www.wur.nl/nl/project/SMARAGD-Slimme-Mechanisatie-Automatisering-Robotisering-voor-een-Akkerbouw-met-Groei-en-Duurzaamheid.htm>
- Zhang, Z. P. (2003). Development of chemical weed control and integrated weed management in China. *Weed Biology & Management*; 1444-1454.

3. Sensortechniek Opbrengstmetingen

Auteurs: Kees Westerdijk & Ferry Tigchelhoff, Aeres Hogeschool Dronten

Inleiding

Bij steeds meer bedrijven groeit de behoefte aan een nauwkeurigere vorm van bemesting om zo opbrengsten te maximaliseren of optimaliseren. Dit is in lijn met het beleid zoals uiteengezet door het ministerie LNV in de visie 'Landbouw, natuur en voedsel: waardevol en onderling verbonden'. Om dit te bewerkstelligen is het zaak een effectieve integratie van sensordata, modellen, kengetallen en machines te creëren in een integraal adviessysteem en in belangrijke precisielandbouwtoepassingen (Hoving et al., 2014). Een aardig aantal sensoren, machines en methoden is hiervoor beschikbaar. NIRS bijvoorbeeld kan naast de toepassing voor mestanalyse, ook goed gebruikt worden ter bepaling van bodemkwaliteit waarbij direct een kaart gemaakt kan worden van bodemeigenschappen en bedreigingen voor deze kwaliteit (Cécillion et al., 2009). Voor bodemkwaliteit en -eigenschappen is onder andere de Veriscan beschikbaar. De validatie van dit platform is onder anderen uitgevoerd op twee percelen veenkoloniale grond (Van der Schans & Van den Berg, 2013). Daarnaast is in 2020 binnen de Nationale Proeftuin Precisielandbouw (NPPL) onder andere de Veriscan vergeleken met andere bodemscans vergeleken op onder andere zandgrond (Tigchelhoff et al., 2021) en dalgrond (Tigchelhoff et al., 2021). Kikkert (2009) heeft een overzicht opgesteld van sensingsystemen ten behoeve van precisielandbouw en stelt dat de technieken al behoorlijk ver ontwikkeld zijn, maar dat interpretatie en vertaling van data naar de teler nog een grote uitdaging is. Van belang voor de overstap naar precisielandbouw toepassingen is vooral of inspelen op de ruimtelijke variabiliteit (financieel) de moeite waard is (Kikkert, 2009). Tevens is het van belang dat een veilige en soepele uitwisseling van data, kennis en advies mogelijk en gegarandeerd is (Kempenaar et al., 2018).

In het onderzoek van 2022 en 2023 in Emmen is specifieke aandacht besteed aan het leren omgaan en werken met de apparatuur en machines in een praktijksituatie. Dit als antwoord op de vraag hoe kan worden bewerkstelligd dat de beschikbare machines en sensoren in de werklogistiek van boer en loonwerker wordt ingezet op basis van met precisielandbouw onderbouwde keuzes. Momenteel zijn namelijk een heel aantal machines al voorbereid op het kunnen werken volgens precisielandbouw technieken, maar worden deze niet op die manier gebruikt. Er is daarom gepoogd een stap te maken naar het nauwkeuriger toedienen van meststoffen door gebruik te maken van machines, sensoren en software die beschikbaar zijn bij de werktuig corporatie in Emmen en Aeres Hogeschool Dronten. De machines en sensoren worden ingezet op vier verschillende graslandpercelen van vier verschillende melkveehouderijbedrijven. De vraag van aan de hand waarvan tijdens de onderzoeksperiode zal worden gewerkt luidt: “Welke aanpassingen in werklogistiek zijn nodig om meststoffen met de bestaande werktuigen bewuster op graspercelen uit te kunnen rijden met behulp van sensordata en software?” Als resultaat van de onderzoeksperiode kunnen hopelijk handreikingen en tips worden opgeleverd hoe de beschikbare techniek in kan worden gebed in de werklogistiek van boer en loonwerker.

Proefopzet achtergrond, sensoren en apparatuur

Aeres Hogeschool heeft op de locatie bij CWV Emmen op vier percelen van vier verschillende veehouders meegewerkt om het gebruik van precisielandbouwtechniek te integreren voor de bemesting van de percelen. Bij aanvang van het project (2022) en begin 2023 zijn gesprekken gevoerd met de vier betrokken melkveehouders om vast te stellen wat de wensen van de veehouders zijn

met betrekking tot inzet van de techniek en sensoren (WP1) op de graspercelen en het verdienmodel door inzet van precisielandbouwtechnieken (WP5).

Sensoren | Om een goede start te kunnen maken om op basis van data te kunnen bemesten, is er op de percelen die gevolgd gaan worden een **Veriscan** uitgevoerd door Agrometius om basis bodemparameter in kaart te brengen. Het voornemen is om de Veriscan data in te zetten als onderdeel van de rekenformule om te komen tot een berekende mestgift/ stikstofgift op de percelen. De scan levert puntkaarten op over: 1) het hoogteprofiel van het perceel (in meters), 2) de organische stof toestand (in %), 3) de geleidbaarheid van de grond (in EC; mS/cm) op diepte 0-30 centimeter en 0-90 centimeter en 4) de pH van de grond. Aeres Hogeschool Dronten heeft de **Pasture Reader grasopbrengstmeter** voorop de grasmaaier van één van de betrokken boeren gemonteerd, zodat bij het maaien direct de opbrengst in kaart kon worden gebracht. De Pasture Reader bepaalt doormiddel van sonar zowel de hoogte als de dichtheid van het gras. Het resultaat wordt weergegeven in centimeters gras. Door een eigen waarde toe te kennen aan de drogestof opbrengst per gemeten centimeter gras (bijvoorbeeld 140 kgDS/ha), kan ook een gemiddeld drogestof opbrengst per hectare in kilogrammen drogestof per hectare worden weergegeven. In een situatie waarbij de sensor wordt gebruikt om preciezer te kunnen stalvoeren, kan de maaibreedte in de Pasture Reader worden aangegeven, waardoor in combinatie met de ingebouwde GPS het gemaaide oppervlak kan worden bepaald. Het gemaaide oppervlak tezamen met de gemeten hoogte in centimeters en de toegekende opbrengst per centimeter gras, kan een goed beeld geven van het totaal gemaaide drogestof gewicht. Voor de praktijkproef in Emmen is enkel gebruik gemaakt van de meetwaarde in centimeters gras, aangezien dit de ruwe meetwaarde is. De opgebouwde **Veenhuis Nutriflow NIR sensor** zal in het project worden ingezet voor het loggen van de gehalten aan 1) stikstof (N), 2) fosfaat (P), 3) kalium (K), drogestof percentage (DS%) en uitgereden kuubs met per hectare (m³/ha) mest bij een vaste mestgift. Ook is het mogelijk om de sensor in te zetten om op basis van de real-time gemeten N, P of K inhoud van de mest de mestgift in m³/ha zodanig te corrigeren om een vaste afgifte van meststoffen in kilogrammen per hectare te realiseren in plaats van een afgifte op basis van debiet in m³/ha. Beide opties zullen bij het uitrijden van de mest worden ingezet in Emmen. Kijk voor meer informatie over de sensoren op www.pasturereader.nl* voor de Pasture Reader, www.veenhuis.com** voor de Veenhuis Nutri-flow NIRS-sensor en op www.vantage-agrometius.nl*** voor meer informatie over de Veris bodemscan. Voor de variabele toediening van kunstmest is gebruik gemaakt van een 12 meter brede Güstrower spaakwielbemester en een Rauch variabele kunstmeststrooier (minimale strooibreedte 28m). Deze machines werden niet aangestuurd door een real-time meting, maar enkel doormiddel van een vooraf bepaalde taakkaart.

De sensoren zullen binnen de projectuitvoering in Emmen met name worden ingezet om te leren werken met de sensoren in een praktijksituatie. Dit houdt in: het bedienen van de sensoren vanuit de cabine tijdens het verzamelen van de gegevens, het uitlezen van de gegevens, het verwerken van de ruwe data tot bruikbare data, het verwerken van de data tot een applicatie- en taakkaart en het uiteindelijke inlezen van de data op de terminals in de trekker voor de daaropvolgende applicatie van meststoffen. Het onderdeel validatie en betrouwbaarheid van de sensoren is al uitgevoerd in eerdere jaren. Zie voor de resultaten van de validatie van de sensoren het rapport van Aeres Hogeschool

* Pasture Reader info: <http://www.pasturereader.nl> en <http://pasturereader.com.au/>

** Veenhuis Nutri-flow: <https://veenhuis.com/producten-2/mest-aanwenden/nutriflow-precisiebemesting/>

*** Veriscan, Agrometius: <https://www.vantage-agrometius.nl/bodemscan/>

Dronten van Nysten et al uit 2019. De informatie van voorgaande sensoren, gecombineerd met de kennis en wensen van de veehouders is geprobeerd een eerste bemestingsstrategie voor seizoen van 2023 op te stellen. Voor aanvang van het seizoen heeft dit geleid tot vier verschillende bemesting strategieën voor de vier proefpercelen. De opzet is te vinden in het door studenten opgestelde plan: “Bemesting strategieën PreciSIAlandbouw Emmen” (Dinkelman et al, 2023). Het verwerken en koppelen van alle informatie zal meegenomen worden in WP4. Als **software** voor de verwerking van de ‘opgeschoonde data’ tot een applicatie- en taakkaart voor de terminal van de bemesters, is gebruik gemaakt van Farmmaps (www.farmmaps.nl). Farmmaps geeft momenteel (oktober 2023) naast Trimble FarmWorks als enige aanbieder de mogelijkheid om taakkaarten te maken met behulp van een rekenregel. Andere managementsoftware, www.taakkaart.nl, hebben vaak enkel de mogelijkheid om van één kaartlaag een taakkaart te maken. De bedoeling achter de uitvoering in Emmen was om de mestgift te baseren op **meerdere kaartlagen**. Om een mestgift te bepalen uit meerdere kaartlagen moet de optie beschikbaar zijn om een rekenregel te kunnen schrijven. Farmmaps heeft deze optie. De meeste software aanbieders geven de optie om de software gratis te gebruiken tot een gelimiteerd aantal hectares.

Proefuitvoering

Na een grassnede en aantal weken van testen met de machines in het seizoen, is gaandeweg besloten om stroken met een variabel bemest deel en standaard bemest deel aan te leggen. Deze stroken dienden tevens als behandelingen binnen de percelen. Het doel van de variabel bemeste stroken was om te proberen gebruik te maken van een door software gegenereerde taakkaart voor een machine op basis van sensordata of berekende data. De aangelegde stroken zijn dus niet voorzien van een vooraf bekende (kunst)mestgift. De kunstmestgift is bijvoorbeeld bepaald door de hoogte van het perceel of een voorgaande gemeten grasopbrengst. In geval van een variabele gift, is maximaal 20% meer of 20% minder toegepast van de gemiddelde gift voor het moment van bemesten. Per perceel is een raster gevormd over het perceel waarin de gemiddelden van de sensordata kunnen worden berekend. De blokken in het raster zijn gebruikt om data met elkaar te kunnen vergelijken binnen het perceel. Dit geeft ook de mogelijkheid om data uit een puntenlaag met elkaar te kunnen vergelijken, ook pleksgewijs binnen het perceel zelf. Het uitgangspunt voor onderzoek is per perceel verschillend gedurende het jaar. Het verschil in uitgangspunt heeft te maken met het testen van de apparatuur tijdens gebruik in het seizoen. Dit levert inzichten gedurende de tijd op wat wijzigingen in uitvoering met zich meebrengt. Tevens levert het werken met de taakkaarten inzichten op tijdens het werk, wat kan leiden tot het aanpassen van de wijze van uitrijden gedurende het seizoen. Per veehouder/perceel wordt uitgewerkt hoe en welke proeven zijn aangelegd in de verschillende percelen. Alle percelen in het project liggen in de omgeving van Noord-Sleen, Emmen te Drenthe.

Perceel H | Dit betreft een perceel van 5,5 hectare. Grasland sinds 2013. Grondsoort is zand met grondsoort code Hn23 VI. Dit komt neer op een veldpodzolgrond met lemig fijn zand en een grondwatertrap klasse VI met een gemiddeld hoogste grondwaterstand van 40-80 centimeter beneden maaiveld (GHG) en een gemiddeld laagste grondwaterstand van >120 centimeter beneden maaiveld (GLG).

Snede 1 Bepalen of er verschil in opbrengst volgt door dezelfde gift van 78 kgN/ha volveld te strooien (meststof: Novirea 38%) of met een spaakwielbemester uit te rijden (meststof: Growsol 15%). Voor snede 1 is een egale kunstmestgift aangebracht op het perceel. De kantrijen van het perceel zijn met de spaakwielbemester uitgereden en de binnenste helft van het perceel is gestrooid. Voor de **tweede**

snede is met de spaakwielbemester een variabele kunstmestgift met vloeibare kunstmest (Growsol 15%, bestaande uit 15% stikstof (N) en 15% zwavel (S)) verstrekt. De grasopbrengst in centimeters gras doormiddel van de pasture reader grashoogtesensor bepaald en is een variabele bemesting toegepast ten opzichte van een standaard stikstof gift uit kunstmest. Bij de dosering is uitgegaan van gemiddeld 50 kgNha en is maximaal 20% meer of minder kunstmest toegediend op basis van de grasopbrengst van de voorgaande snede.

Perceel R | Het proefperceel betreft 13,1 hectare grasland. Het perceel is grasland sinds 2019. De grondsoort is zand. De grondcode is opgesplitst in 1) de bovenste rand: Hn23 VII, 2) het grootste deel van het perceel: pZg23t VI en 3) de onderkant en rechter onderhoek van het perceel: Hn23t sVI. Dit komt erop neer dat het grootste deel van het perceel zich op een beekeerdgrond met fijn lemig zand bevindt met (t) een mariene afzetting ouder dan Pleistoceen beginnend tussen de 40 en 120 centimeter. De grondwatertrap VI geeft aan dat de GHG zich tussen de 40 en 80 centimeter beneden maaiveld bevindt en de GLG lager dan 120 centimeter beneden maaiveld komt.

Snede 1 is de uitgereden hoeveelheid stikstof (kgNha) uit drijfmest aangevuld met een variabele kunstmestgift (Novirea 38%) doormiddel van een kunstmeststrooier. Deze gerichte kunstmestgift is gebaseerd op de uit drijfmest uitgereden kilogrammen stikstof per hectare (kgNha), welke is gelogd tijdens het uitrijden van de drijfmest middels de NIRS-sensor op de mesttank. Voor snede 1 was een totaal gift van 120 kgNha voorzien. De stikstof uit drijfmest is in mindering gebracht op deze 120 kgNha. De resterende stikstof is per blok in het raster van het perceel opgegeven als input voor de variabele kunstmestgift. De gemeten opbrengst na snede 1 is vergeleken met de opbrengst van snede 4 uit 2022. De grasopbrengst wordt uitgedrukt als een percentage van de totaal gemeten grasopbrengst in centimeters van die betreffende snede. Dit opbrengstpercentage in de blokken op het perceel wordt afgezet tegen de verdeling van het totaal aan Nha per blok, de verdeling van Nha uit drijfmest en de verdeling van Nha uit kunstmest. **Snede 3** wordt gebruikt voor het uitrijden van de drijfmest op basis van de aanwezig Kalium in de drijfmest. De drijfmestgift wordt aangevuld met een egaal gestrooide kunstmestgift van 50 kgNha. De grasopbrengst van snede 3 (in cm gras) wordt vergeleken met 1) de uitgereden kgNha uit drijfmest, 2) de uitgereden kgNha uit als cumulatief van drijfmest+kunstmest en 3) de verhouding tussen de opgebrachte drijfmest voorafgaand aan snede 3 en de gemeten opbrengst in centimeters gras van snede 3.

Perceel S | Dit betreft een perceel 6 hectare en is grasland sinds 2021/2022. Grondsoort is zandig leem met, net als perceel R, voornamelijk een beekeerdgrond met fijn lemig zand en (t) een mariene afzetting ouder dan Pleistoceen beginnend tussen de 40 en 120 centimeter. De grondwatertrap VI geeft aan dat de GHG zich tussen de 40 en 80 centimeter beneden maaiveld bevindt en de GLG lager dan 120 centimeter beneden maaiveld komt. Een klein deel van het perceel, linksonderste rand van het perceel bevindt zich op een Hn23 VII grondcode. Dit betreft een hoek met veldpotzolgrond met lemig fijn zand. De grondwaterstand zal vanwege de klassen VII dieper liggen met een GHG van 80-140cm beneden maaiveld en een GLG van >160cm beneden maaiveld.

Voorafgaand snede 1 en 2 is er op perceel S in stroken gewerkt. De stroken zijn over de gehele lengte van het perceel getrokken en voorzien van een verschillende gift van:

Snede 1: A-50kgNha, B-70kgNha en C-90kgNha, uitgereden met de spaakwielbemester

Snede 2: A-20kgNha, B-30kgNha en C-40kgNha, uitgereden met een kunstmeststrooier

Snede 3 is voorzien van een variabele kunstmestgift met de spaakwielbemester verdeeld in stroken over de breedte van het perceel. De variatie is gebaseerd op de grasopbrengst van de voorgaande snedes. De minimaal en maximaal aangebrachte variatie is 20% ten opzichte van de gemiddelde uit te rijden standaard stikstof-gift. De 20% meer of minder toegediende stikstof is bepaald uit de grasopbrengst van de voorgaande snede.

Perceel D | Dit proefperceel is 6,5 hectare groot en is grasland sinds 2020. Grondsoort is zand met drie grondcodes die door het perceel lopen, te weten: 1) de linkerbovenhoek van het perceel: Hn21 VII, 2) een diagonale rug over het midden van het perceel: zWz IV en 3) de hoek rechtsonderin het perceel: aVz IIIb. Bodemcode Hn21 VII houdt in dat er een leemarme of zwak lemige fijn zandige grond aanwezig is met een GHG van 80-140cm beneden maaiveld en een GLG van >160cm. Bodemcode zWz IV geeft aan dat er zich een moerige eerdgrond met een zanddek (á 15-40cm dik) en een moerige tussenlaag op zand onder het gras bevindt met een GHG van <40cm en een GLG van 80-120cm. Bodemcode aVz IIIb geeft aan dat de rechteronderhoek van het perceel voornamelijk bestaat uit een madeveengrond op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120cm met een GHG van 25-40cm en een GLG van 80-120cm.

Voor snede 1, 2 en 3 is op perceel W variabel Growsol 15% uitgereden met de spaakwielbemester. **Snede 1** is geprobeerd op basis van de hoogtekaart 120% stikstof uit te rijden op de hoger gelegen delen van het perceel, 100% (standaardgift) op de gemiddelde hoogten van het perceel en 80% van de standaardgift op lagergelegen delen van het perceel. **Snede 2** is opgedeeld in stroken over de breedte van het perceel, waarbij variabele en standaard stroken zijn ingedeeld. Voor snede drie geldt eenzelfde strategie, waarbij gebruik is gemaakt van standaard en variabele afgiften in de verschillende stroken van het perceel. Op de variabel bemestte stroken is ten opzichte van de gemiddelde N-gift 20% of 20% minder stikstof toegediend op basis van de grasopbrengst van de voorgaande snede.

Resultaten

De resultaten in dit rapport is een verkorte opsomming van de resultaten gegeven. De uitgebreide resultaten zijn te vinden in het document “Ruwe statistiek PreciSIAlandbouw Emmen”.

Perceel H | Een vergelijking in opbrengst voor **snede 1** tussen de strooien en spaakwielbemester toont een licht hogere opbrengst met de strooier en een kleinere spreiding in opbrengst in het deel dat is gestrooid. Echter kan op basis van de cijfers niet worden gesteld dat dit een aantoonbaar verschil is, aangezien de resultaten elkaar te veel overlappen en geen eenduidig verschil laten zien. Ondanks de variabele toediening voor **snede 2** is er geen verschil in de gemiddeld opgebrachte hoeveelheid kunstmest. Wel laat het variabel bemeste deel gemiddeld een lagere opbrengst zien van slechts 0,232 cm gras (bij 140 kgDS per centimeter = 32,48 kgDS/ha) minder dan het standaard bemestte deel. Echter is dit geen aantoonbaar verschil. In de lijst met **correlaties** voor perceel H wordt een kleine correlatie gevonden tussen de grasopbrengst van de tweede snede en de hoogte van het perceel. Organische stofgehalten lijken in de opbrengst van de derde snede en de berekende totaalopbrengst van het perceel een rol te spelen. Tevens blijkt dat de organische stofgehalten en hoogte van het perceel met elkaar van doen zouden kunnen hebben.

Perceel R | Voor **snede 1** is procentueel gezien per blok van 24m bij 30m een gerichtere bemesting gerealiseerd. Dit valt te verklaren doordat er doormiddel van de kunstmeststrooier een aanvullende

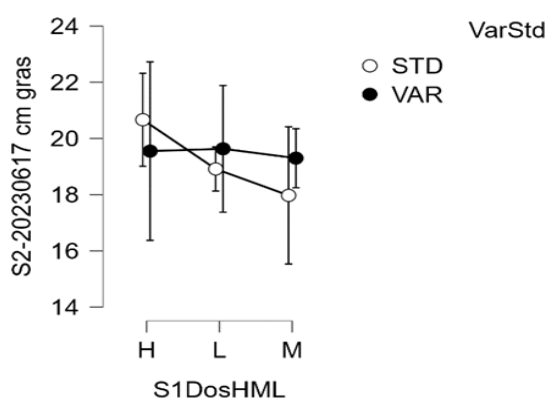
hoeveelheid kunstmest aangebracht op het perceel in plaats van een volveldse verdeling van de kunstmest. Een gerichtere en vlakke opbrengst van gras is niet te zien in vergelijking met de totale hoeveelheid aangebrachte stikstof. Egaler bemesten zorgt in deze vergelijking dus niet voor een egalere grasopbrengst. Ook **sneede 3** laat in vergelijking met de totale hoeveelheid toegediende stikstof niet een overeenkomst zien tussen toegediende stikstof en grasopbrengst.

Perceel S | Voor **sneede 1** is in perceel S na het toedienen van de Growsol 15% kunstmest, met de spaakwielbemester, in banen met verschillende giften van A-50, B-70 en C-90 kgN/ha een verschil te zien in de gemeten opbrengst. De strook met 50 kgN/ha geeft 0,635 centimeter extra grasopbrengst (uitgaande van 140kgDSha zou dat een extra opbrengst van 88,9 kgDSha geven) ten opzichte van de strook met 70 kgN/ha. Er wordt in dat geval 0,541 centimeter (à 75,74 kgDSha bij 140 kg per cm) extra behaald bij de 50 kgN/ha gift ten opzichte van de 90 kgN/ha strook. Voor sneede 2 is er met de kunstmeststrooier een gelijksoortige verdeling gemaakt als voorafgaand aan sneede 1 met de spaakwielbemester. Uit deze vergelijking komt geen aantoonbaar verschil tussen de drie verschillende stroken qua grasopbrengst. Ook voor de **3e grassneede** zijn geen aantoonbare verschillen in de grasopbrengst gevonden. Cijfermatig is in het variabel bemeste deel wel degelijk met een grotere variatie per vlak bemest. Echter heeft die variabele bemesting in het totale gebied van de standaard (STD) en variabele (VAR) bemesting niet geresulteerd in een wezenlijk andere totale stikstofgift. In de variabele stroken is er (drijfmest + kunstmest) gemiddeld 99,6 kgN/ha toegediend en is er in het standaard bemeste deel (drijfmest+kunstmest) gemiddeld 100,6 kgN/ha toegediend. Echter niets aantoonbaars.

Perceel W | Voor **sneede 1** geldt dat de vergelijking van gemeten grasopbrengst in centimeters gras in de hoge (H), normale (M) en lage (L) zones van het perceel, laat zien dat de grotere dosering op het hoger gelegen deel geen aantoonbaar verschil in grasopbrengst oplevert. Wanneer de opbrengst van de **tweede sneede** wordt afgezet tegen de VAR en STD bemeste delen en wordt verdeeld doormiddel van de hoogtekaart, komt er geen aantoonbaar verschil tussen de variabele en standaard bemeste velden. Wel liggen de gemiddelde opbrengsten van de in de laag (L) en normale (M) hoogte gemeten plekken in het perceel in de variabel bemeste stroken hoger dan die in de standaard bemeste stroken. Nogmaals, niet aantoonbaar verschillend. Wanneer wordt vergeleken tussen alleen de Variabel en Standaard bemeste stroken, wordt geen aantoonbaar verschil gevonden. Zie figuur 1 voor een weergave van de resultaten.

Figuur 1

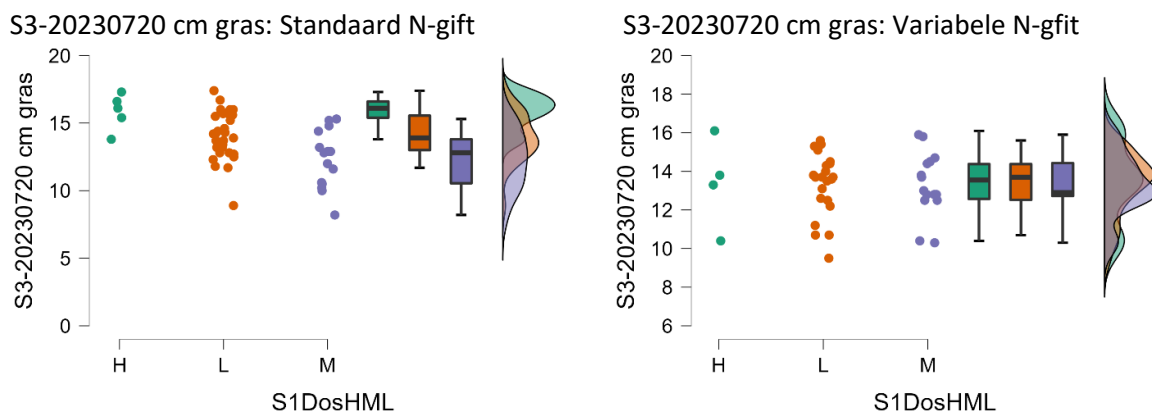
Variabele bemesting (VAR) versus Standaard bemesting (STD) 2^e sneede



Voor de **3e snede** worden geen aantoonbare verschillen gevonden wanneer wordt beoordeeld op basis van de standaard en variabel bemestte stroken in het perceel. Ondanks de inzet om variabel uit te rijden, laat ook de totaal opgebrachte stikstof per rasterblok geen aantoonbaar verschil zien tussen variabele en standaard bemesting. De spreiding in de variabel bemestte blokken is groter. Ook is een gemiddeld ietwat lagere gift te zien in de variabel bemestte blokken. De standaard blokken zijn voorzien van gemiddeld 29,447 kgNha. In de variabel bemestte blokken is gemiddeld 29,022 kgNha toegediend. Cumulatief (drijfmest + kunstmest) is er gemiddeld 1 kgNha minder in de variabel bemestte blokken toegediend dan in de standaard bemestte blokken. De grasopbrengst is in de variabel bemestte blokken gemiddeld 0,4 cm (obv 140 kgDSha zo'n 56 kgDSha) lager dan de standaard bemestte blokken. Wanneer voor deze snede ook de hoogte van het perceel in acht wordt genomen bij het bepalen van de verschillen tussen standaard en variabel bemestte blokken, blijkt dat de blokken in het hoge en lage deel van het perceel respectievelijk 2,44 cm gras (341,6 kgDSha) en 0,709 cm gras (99,26 kgDSha) minder opleveren in het variabel bemestte deel dan in het standaard bemestte deel ($p=0,022$). Zie figuur 2 waarin de resultaten in de raincloud plots naast elkaar worden weergegeven.

Figuur 2

Raincloud plots snede 3 perceel W



Bij het zoeken naar **correlaties** tussen de verschillende kaartlagen voor perceel W valt op dat er een correlatie bestaat tussen de opbrengst van snede 2 en de pH-kaart van het perceel.

Ervaringen en discussie

Gedurende het jaar 2022 en 2023 zijn de nodige ervaringen opgedaan met het werken met de logistiek rondom het variabel uitrijden van mest(stoffen). Deze ervaringen worden hieronder beknopt behandeld en bediscussieerd.

Data uitwisseling en verwerking

De ingezette apparatuur in Emmen tijdens het seizoen 2023 is niet aangesloten via een cloud verbinding tussen software op kantoor, sensoren en toedieningsmachine. Dit betekent dat het uitlezen van de apparatuur bij het apparaat zelf moet worden uitgevoerd. Ofwel, de data verschijnen niet via een internetverbinding rechtstreek in de documenten van de persoon die de data van de sensor zal gaan verwerken. Het ophalen en uitlezen van deze data is weliswaar simpel, maar vraagt dus wel om een handeling per meting(reeks) om van de terminal naar een usb-stick of harde schijf te worden verplaatst. Snelle communicatie en uitwisseling van data en verwerking van de

meetgegevens is in dat geval alleen mogelijk, als de verwerkende persoon in een termijn van hoogstens twee weken (maar liefst binnen een week) na maaien de informatie kan uitlezen, opschonen en verwerken tot een taakkaart voor toediening van drijfmest. Of, wanneer de drijfmest niet op basis van grasopbrengst wordt uitgereden, eventueel de gras opbrengstdata én data van de uitgereden mest (in het geval van een aantal percelen in Emmen in 2023 met name de uitgereden stikstof) kan worden samengevoegd tot een taakkaart voor het variabel uitrijden van de kunstmest na toediening van de drijfmest. Gebruik van data uit de Pasture Reader en de NIR-sensor op de zodenbemester is in deze setting prima toepasbaar, mits in acht wordt genomen dat de data, na uitlezen uit de terminal, bewerking nodig heeft om fout gelogde data en 0-waarden uit de dataset te kunnen verwijderen. Dit kost vaak meer tijd dan vooraf vanuit wordt gegaan. Ga uit van ongeveer een half uur tot uur per gegevens set om te komen tot een opgeschoonde gegevens set welke als input kan dienen voor een taakkaart (en dan moet er in de databewerking niets mislukken). Het automatiseren van het opschonen van de gegevens sets lijkt vooralsnog lastig, aangezien er niet voor elke bewerking een standaardregel kan worden opgesteld, aangezien geen situatie van meten hetzelfde zal zijn, behalve dat de 0-waarden automatisch uit de dataset kunnen worden verwijderd.

Besluitvorming rondom taakkaart opzet

Het maken van een werkende taakkaart is in de basis met de huidige software zeer simpel en snel te realiseren. De kracht van een goede taakkaart zit in de keuzes die, door degene die de voorwaarden voor de taakkaart opstelt, worden gemaakt. Een taakkaart met als input sensordata heeft namelijk keuzes nodig, welke dienen te worden gemaakt door de boer, ondernemer, loonwerker en/of expert. Afhankelijk van de strategie die voor landbewerking, voederwinning en dergelijke wordt aangehouden, zullen de keuzes voor de taakkaart per boer verschillen, aangezien elke boer eigen afwegingspunten heeft. Dit maakt dat het 'even snel' samenstellen van een taakkaart moeilijk is, aangezien dit zou betekenen dat de strategie voor het bedrijf moet worden teruggevonden in deze taakkaart. De loonwerker heeft niet standaard mensen beschikbaar om deze taakkaart samen te stellen. De boer is veelal niet bezig met het inregelen van de bemestingsstechniek aangezien dit een aangelegenheid is van de loonwerker, maar wel heeft de boer de kennis van eigen percelen in huis en maakt veelal zelf de keuzes voor het perceel. Het dilemma in deze is dus wie nou eigenlijk de taakkaart gaat samenstellen en op basis waarvan. Deze vragen zijn gedurende het project individueel beantwoord en/of behandeld, maar niet geconcretiseerd.

Tijdens het bemestingsseizoen zijn een aantal aandachtspunten naar voren gekomen waarmee bij het maken van een taakkaart rekening gehouden had kunnen worden, maar wat niet is doorgevoerd tijdens het seizoen van 2023. Als eerste kan worden genoemd dat bij de eerste variabele drijfmest toediening is voorgesteld om de **mest op basis van stikstof uit te rijden middels de NIR-sensor**. Dit voorstel werd in twijfel getrokken, omdat een aantal boeren niet wist hoe het aantal uit te rijden kuub mest per hectare uit zou gaan pakken wanneer deze instelling zou worden aangehouden. Het uitrijden van drijfmest op basis van een vaste stikstofgift zou namelijk kunnen resulteren in een gemiddeld te hogere of lagere drijfmestgift per hectare dan waar normaal meer wordt gerekend als op basis van kuubs per hectare wordt uitgereden. De uitkomst hierin is dat de variatie in de mest, gemeten door de NIR-sensor, wel bleek te verschillen, maar dit neemt niet de verwachte extremen aan waardoor de gemiddelde mestgift in kuub per hectare buitensporig dreigt te gaan variëren. De geziene variatie in stikstofgehalten in drijfmest kwamen voornamelijk neer op 10 kilogram stikstof per hectare boven of onder de gemiddelde stikstofgift, kijkend naar de eerste bemesting van het jaar.

Een tweede aandachtspunt is dat na het uitvoeren van een variabele bemesting, er in de terminal van de bemester een zogeten '**As-applied kaart**' beschikbaar komt. Op deze as-applied kaart wordt zichtbaar wat de bemester daadwerkelijk plaats specifiek op het perceel heeft afgegeven. In het geval van de Veenhuis zodebemester kwam een zeer gedetailleerde puntenkaart beschikbaar, welke goed kon worden gebruikt voor verdere verwerking van de data. Voor zowel de kunstmeststrooier als de spaakwielbemester is het genereren van een bruikbare as-applied kaart nog een aandachtspunt. In het geval van de variabele strooier is er tijdens het exporteren van de as-applied kaart dusdanig gehandeld dat er geen as-applied kaart beschikbaar was. Voor de spaakwielbemester geldt dat er wel een as-applied kaart werd gegenereerd, maar waarbij de as-applied kaart niet bruikbaar was voor verdere verwerking aangezien er door de terminal dusdanig grote blokken met gemiddelden werden aangemaakt dat niet langer kon worden gesproken van een plaats specifiek inzicht dat uit de as-applied kaart voortkwam. Dit betekent niet dat de as-applied kaarten niet goed zouden kunnen worden gegenereerd, maar dat er voorafgaand aan de bemesting op z'n minst dient te worden getest of geverifieerd of en hoe een as-applied kaart wordt geëxporteerd door de terminal. Wanneer dit niet naar wens is, kan dit worden aangepast. **Dit leert dat voor het verkrijgen van een goede logistiek rondom sensordata** en taakkaarten de voorbereidingen rondom het loggen van data minstens zo belangrijk zijn als het maken en gebruiken van de taakkaart. Het doorlopen van een complete bemestingscyclus, inclusief het uitwisselen, bewerken en opnieuw genereren van data en de logistiek daaromheen is daarom ten zeerste aan te raden. Een derde opvallende situatie was dat het **loggen van de GPS-locatie** op perceel W meermalig fout is gegaan, met name bij de DGPS van de Pasture Reader. Dit heeft geresulteerd in onbruikbare opbrengstdata voor precisielandbouwdoeleinden, aangezien de gemeten opbrengst weliswaar is gelogd, maar niet op een GPS-locatie ergens in Perceel W. Deze fout kan achteraf niet worden gecorrigeerd. Op perceel H wordt eveneens meermalig een afwijking in de GPS-locatie van de Pasture Reader waargenomen in de vorm van een minder strakke lijn van de GPS-locaties dan bij overige percelen. De data op perceel H was daarmee nog wel bruikbaar. In de data van de drijfmest toediening is geen afwijking in de data gevonden. De drijfmest toediening wordt plaats specifiek gelogd middels de RTK GPS van de trekker. RTK GPS is nauwkeuriger dan DGPS, maar in dit geval blijkt ook bedrijfszekerder. Wel kan als opmerking worden toegevoegd dat de boer die tijdens het seizoen de opbrengstmetingen met de Pasture Reader heeft verricht, zelf gebruik maakt van RTK GPS op de trekker en ook heeft vernomen dat de trekker tijdens het maaien op perceel W niet even nauwkeurig werkt dan op overige percelen. Wat hiervan de precieze reden is, is niet duidelijk. Het enige opvallende voor perceel H, is dat er midden over dit perceel een straalverbinding aanwezig is (gevonden via antennekaart.nl) (Antennekaart.nl, 2023). Als vierde te benoemen punt werd gaandeweg het project de vraag gesteld **op welke schaal precisiebemesting op een bedrijf ingezet moet worden**: 1) op perceelniveau, waarbij uit wordt gegaan van een standaard gemiddelde gift per hectare voor elk perceel, welke binnen het perceel wordt gevarieerd of 2) op bedrijfsniveau waarin alle percelen worden betrokken, waardoor de gift tussen percelen zal gaan variëren, maar waarbij een vaste gift per perceel wordt uitgereden of 3) een combinatie van deze twee opties, zodat op bedrijfsniveau gevarieerd per perceel kan worden bemest en vervolgens een variërende afgifte per perceel wordt berekend. Het vijfde punt van aandacht is dat de **mate van variatie binnen een variabele gift** niet snel noemenswaardig varieert wanneer vanuit een vooraf vastgestelde gemiddelde gift per hectare wordt gewerkt én geen extremen voor de maximale variatie boven en onder het gemiddelde worden aangenomen. Binnen het project in Emmen is gewerkt met een variatie in kunstmestgift van maximaal 20%. Deze 20% is toegepast op bijvoorbeeld de maximale of minimale hoogte binnen een perceel of op basis van de maximaal en

minimaal gemeten grasopbrengst binnen een perceel. De minimale en maximale waarden (uitschieters) waar dan vanuit wordt gegaan, komen dusdanig weinig voor dat het grootste deel van de variatie die wordt aangebracht merendeels in de buurt van 10% meer of minder dan gemiddeld komt te liggen. Het aanbrengen van variatie in een gift op basis van een gemiddeld uitgangspunt, mag dus best extreem worden ingevoerd. Wanneer bijvoorbeeld minimaal en maximaal een variatie van 40-50% ten opzichte van de gemiddelde gift wordt aangenomen, zal merendeel van de afgifte zo'n 20-25% van de gemiddelde gift variëren. Mogelijk zal ook pas dan een opmerkelijk verschil in opbrengst worden geregistreerd, mits in de overige minimale vereisten die invloed hebben op de bemesting zijn voorzien.

Het uitrijden van meststoffen gebeurt veelal door een drijfmestgift en een kunstmestgift. Deze twee toedieningen worden door aparte machines uitgereden. Het voordeel van kunstmest is dat dit de optie geeft om nutriënt specifiek te doseren vanwege de samenstelling van de meststof. Drijfmest is hierin moeilijker, aangezien meerdere elementen van de reeks NPK zich in de drijfmest bevinden. Er kan slechts op basis van één nutriënt een drijfmestgift worden bepaald wanneer dit wenselijk is. Dit maakt dat er **met kunstmest corrigerend kan worden gewerkt**. Idealiter wordt dus, in termen van precisielandbouw benutten, eerst drijfmest op het perceel uitgereden, zodat de uitgereden nutriënten kunnen worden gelogd. Met de gelogde data kan vervolgens een taakkaart voor het uitrijden van de kunstmest worden gemaakt. De nutriëntgift uit drijfmest kan in dat geval worden verrekend met de nog te geven kunstmestgift. Dit is mogelijk tijdens de eerste drijfmestgift. Vaak zit er voorafgaand aan de eerste snede meer tijd tussen het uitrijden van de drijfmest en de kunstmest. Vanaf de tweede snede wordt de kunstmest en drijfmest vaak kort na elkaar uitgereden op een perceel. In dat geval wordt er de voorkeur aan gegeven om de kunstmest gift voorafgaand aan de drijfmestgift toe te dienen, omdat dit schoner werkt. Wanneer de drijfmest voorafgaand aan de kunstmestgift wordt uitgereden, zal de drijfmest tijdens de kunstmestgift namelijk zorgen voor versmering in het land en eventueel op de weg. Andersom (kunstmest voorafgaand aan drijfmest) geeft geen last, aangezien de dosering kunstmest in de vorm van vloeibare kunstmest of korrels buitendien in een veel lagere dosering gebeurt. Dit maakt het uit praktische overwegingen niet altijd logisch om verschillende kaartlagen met elkaar te kunnen verrekenen, omdat een bepaalde volgorde van werken in dat geval niet kan worden aangehouden.

Voornemen versus Praktijk - rekenregels

Voorafgaand aan het bemestingsseizoen van het jaar 2023 is bedacht om een taakkaart voor variabele bemesting te maken op basis van data van het perceel. De taakkaart zou niet op basis van één kaart laag moeten worden gemaakt, maar op basis van meerdere kaartlagen van het perceel. Wanneer meerdere kaartlagen tot één applicatiekaart moeten leiden, betekent dit dat er gebruik moet worden gemaakt van een zogeheten rekenregel (ofwel algoritme). De rekenregel dient voorafgaand aan het maken van de applicatiekaart ontwikkeld te zijn en niet tijdens het opstellen van de applicatiekaart. Dit in verband met de gewenste snelheid van werken tussen het meten (moment van maaien) en bemesten. Wanneer de rekenregel bekend is, hoeft enkel de eventueel nieuwe kaart laag en tenminste de minimale en maximale gift van een product maar in te worden gevoerd als onderdeel van de rekenregel. Vervolgens kan de applicatiekaart worden berekend door de software. Tijdens het bemestingsseizoen in dit project is deze rekenregel niet geformuleerd. Dit leert dat er blijkbaar een vraag is om dergelijke rekenregels of een universele rekenregel te ontwikkelen en beschikbaar te stellen. Ofwel, invulling geven aan de vraag: "Welke parameters moet ik meenemen in het opstellen van de taakkaart voor het, al dan niet variabel, uitrijden van

meststoffen (zowel drijfmest als kunstmest – in strooi of spaakwiel vorm-). En vervolgens: “Hoe kan op basis van de verschillende kaartlagen een exacte afgifte worden berekend”?

Inregelen sensoren en machines

De **Pasture Reader grasopbrengst sensor** is eenvoudig in het gebruik. Een juiste afstelling van zowel de fysieke sensor als de softwarematige instellingen moet echter niet worden onderschat. Het weergeven van een juist een representatieve meetwaarde (in centimeters grashoogte) is afhankelijk van een aantal parameters die aandacht verdienen. **Ten eerste** dient een goede kalibratie van de hoogte ten opzichte tot een glad, bijvoorbeeld beton, oppervlak uit te worden gevoerd. **Ten tweede** is het belangrijk om tijd te nemen voor het afstellen van de sensor, zodat deze zich in een hoek van 15 graden naar voren gericht op de maaier wordt geplaatst. **Het derde** aandachtspunt is vervolgens het opzoeken van de juiste frequentie (trigger genaamd in het instellingenmenu van de Pasture Reader) waarop de sensor wordt gebruikt. Deze instelling zorgt ervoor dat de meetwaarde van de sensor door de software van de Pasture Reader kan worden beoordeeld op juistheid van de data. Deze instelling is per maaier anders en dient wel afgewogen in te worden gevoerd. Het is ten eerste aangeraden die onder begeleiding van een deskundige te doen. **Als vierde** is het juist invoeren van de stoppelhoogte noodzakelijk, omdat de sensor de afstand tot de grond bepaald. Afhankelijk van de afstelling van de maaier, wordt dus een aantal centimeter gras niet gemaaid. Deze ingevoerde stoppelhoogte wordt door Pasture Reader in mindering gebracht op de gemeten grashoogte. Als vijfde kan worden genoemd dat er na bovenstaande instellingen mogelijk een algemene correctie moet worden uitgevoerd op de meetwaarde die tot dan toe wordt weergegeven. De variatie in gemeten grashoogte zal vanaf dat moment juist zijn. Echter kan een correctie van bijvoorbeeld 10 of 15 centimeter nodig zijn, om te komen tot een meetwaarde waar de boer zich in kan vinden of welke gelijk is gesteld aan een referentiewaarde van het met de Pasture Reader gemeten perceel(deel).

Voordat de Veenhuis drijfmesttank kan worden gebruikt, al dan niet in combinatie met de NIRS-sensor en bijpassende bedieningsterminal, voor mesttoediening op basis van een taakkaart of het loggen van de data, is het zeer raadzaam een aantal testronden te rijden waarbij geen tijdsdruk aanwezig is. De machine en het ‘normale’ uitrijden van drijfmest zal namelijk prima functioneren. Echter kan een instelling van de terminal anders ingesteld staan dan gewenst of er worden bij het starten van bijvoorbeeld de log van de NIRS-metwaarden verkeerde keuzes gemaakt. Deze onbewuste fouten kunnen er uiteindelijk toe leiden dat het opstellen van een taakkaart op basis van de NIRS-metingen niet (volledig) kan worden uitgevoerd vanwege bijvoorbeeld missende data. Daarnaast worden niet alle op het oog logische taakkaart instellingen op eenzelfde manier geïnterpreteerd door de bedieningsterminal. Zowel een test voorafgaand aan het uitrijden als een duurttest tijdens het uitrijden van de drijfmest op taakkaart wordt aangeraden. Instellingsfouten kunnen daarmee snel worden ontdekt.

Bij het gebruik van de **Güstrower spaakwielbemester** is opgevallen dat deze gebruik maakt van een andere bestandsindeling voor het invoeren van de taakkaart dan waar de Veenhuis terminal gebruik van maakt. Ondanks dat de leverancier van de terminal hetzelfde is (Mueller), is kennis van de terminals dus vereist. Het inladen van de taakkaart in de terminal welke voor de van de spaakwielbemester is ingezet is verder duidelijk wanneer de chauffeur bekend is met de terminal. Tijdens het project is wel ervaren dat de as-applied kaart van deze specifieke terminal ingesteld stond op een in blokken verdeelde kaartlaag. In deze kaartlaag waren geen datapunten beschikbaar. De geëxporteerde laag bevatte standaard drie blokken van 12m breed met een lengte afhankelijk van

het perceel. Elke blok werd voorzien van de gemiddelde as-applied waarde. Deze waarden waren voor later gebruik daardoor te algemeen, waardoor de as-applied kaart niet kon worden ingezet als dataset voor verder plaats specifiek gebruik. Dit is zeer waarschijnlijk een instelbare functie van de terminal. Echter hebben we daarvoor in dit project geen tijd genomen.

Aanbevelingen

In het rapport uit 2018 ‘Totaal rapport Nutriflow’ (Nysten, et al., 2019) valt al te lezen dat de belangrijkste parameters van de bodem zijn: C/N-ratio, O.S.-gehalte, Pw/P-AL, K-getal, pH, CEC, bodemtemperatuur, vochtlevering en bewortelbare diepte. De parameters C/N-ratio, pH en CEC (beschikbaarheid van sporen- en macro-elementen) kunnen worden gezien als parameters die niet afhankelijk zijn van de bemesting voor één snede of enkel met mest kunnen worden beïnvloed. Aparte bewerkingen zoals bekalking of het aanbrengen van extra organische materiaal kunnen deze parameters beïnvloeden, maar dienen wel op orde te zijn voor het maximaliseren van de grasproductie. Deze parameters zullen niet binnen één jaar tijd of maaisnede dusdanig veranderen, waardoor het niet nodig is om elk jaar opnieuw deze parameters in kaart te brengen. Wanneer deze parameters in kaart worden gebracht, betekent dit dus een investering voor langere tijd. Na bijvoorbeeld 5 of 7 jaar zou ten minste een aantal van de parameters opnieuw in kaart moeten worden gebracht, zodat weer met actuele gegevens verder kan worden gewerkt op het perceel. Wanneer deze parameters op orde zijn (perceelafhankelijk), kunnen ook het Pw/P-AL en het K-getal mee worden gewogen in de bemesting. Deze kunnen zorgen voor een maximum in de hoeveelheid drijfmest die kan worden afgegeven op een perceel. Deze parameters zullen vanwege wetgeving wellicht buitendien al invloed hebben op het bemestingsplan van een perceel.

Vervolgens kan de bemesting worden ingericht op basis van parameters die bepalend zijn voor de vochtuishouding van een perceel. Dergelijke meetbare parameters die kunnen worden meegewogen voor invulling van de taakkaart zijn: grondsoort, organische stofgehalte, bewortelbare diepte, soort gewas, capillaire aanvoer van water, neerslag en zonnestraling (ofwel de verdamping). De waterhuishouding valt modelmatig te berekenen aan de hand van een combinatie van al bekende formules, mits ‘handmatige’ input wordt geleverd over de daadwerkelijk neerslag en verdamping op een perceel/in een gebied. Deze formules kunnen worden gecombineerd tot een rekenregel welke voor de samenstelling van een taakkaart kan worden ingezet. Deze formule is na afloop van het bemestingsseizoen binnen dit project ontwikkeld, maar is niet toegepast tijdens het project en zeer waarschijnlijk nog niet uit-ontwikkeld. De formule dient dus op z’n minst te worden getest en eventueel worden aangevuld en verbeterd. De formule wordt verderop in dit rapport nader uitgewerkt.

*De meest belangrijke aanbeveling volgend uit dit onderzoek is om de bodemparameters van het perceel in kaart te brengen en hier de stikstofdosering op aan te passen. In dit onderzoek zijn de hoogte van het perceel en de daarmee samenhangende vochtigheid van de bodem als leidende indicatoren voor het ontwikkelen van de taakkaart gebruikt. Vanuit de resultaten is het aannemelijk dat ook de **dikte van de humusrijke toplaag een belangrijke parameter** is. Deze indicatoren en parameters geven de opbrengstpotentie aan van het gewas. Bij een hogere opbrengstpotentie in het komende seizoen **kan daar een hogere bemesting** worden toegepast.*

Citaat 1 Uit de aanbeveling van rapport “Totaal Rapport Nutriflow 5.3”, 2019 (Nysten, et al., 2019)

*Verder heeft dit onderzoek bevestigd dat een zo hoog mogelijk stikstofdosering (binnen de wettelijke normen) leidt tot meer groei van het gras. Ook is uit dit onderzoek gebleken dat **weersomstandigheden interacteren met de bodem** voor wat betreft de groei van het gewas. De aanbeveling is daarom om zo goed mogelijk de **verwachte weersomstandigheden, naast de bodemparameters, mee te nemen in het ontwikkelen van taakkaarten.***

Citaat 2 Uit de aanbeveling van rapport “Totaal Rapport Nutriflow 5.3”, 2019 (Nysten, et al., 2019)

Wat in aanbevelingen en conclusies, zoals in citaat 1 en 2 weergegeven, veelal wordt geschreven is dat er op basis van een combinatie van parameters ‘Meer’ of ‘Minder’ mest kan worden gegeven. Echter komt praktisch niet naar voren hoeveel dit dan daadwerkelijk moet zijn op basis van de dan geldende omstandigheden. Een machine zoals een bemester of strooier kan immers niet uit zichzelf bedenken hoeveel meer of minder er dan daadwerkelijk dient te worden gegeven. De keuze in de exacte getallen voor de toediening van meststoffen kan alleen door degene die de waarden voor de taakkaart invoert worden bedacht of doormiddel van een passende formule. De aanbeveling die vanuit dit project mee kan worden gegeven, is dat er pas een variabele bemesting op basis van onderstaand uitgelegde formule met als uitgangspunt ‘waterbeheer’ kan worden ingezet, als de al eerdergenoemde bodemparameters binnen de minimaal vereiste waarden liggen om tot een optimale opbrengst te komen. Deze optimale waarden zullen per perceel verschillen. Bespreek deze waarden met de teeltadviseur of laat je adviseren doormiddel van bijvoorbeeld een bodemonmonster en bijbehorende bemestingsadvies. In dit project zijn de meest optimale waarden van deze parameters niet in kaart gebracht of uitgezocht.

Waterbeheer

Het is bekend dat de groei van gras positief gecorreleerd is met regenval (Yuan, Li, Chen, & Shi, 2015). Een gebrek aan regen kan dan ook leiden tot vertraagde groei en zelfs afsterven van gras (Cable, 1975; Swemmer, Knapp, & Snyman, 2007). Het is gebleken dat weersfactoren als minimum temperatuur, maximum temperatuur, temperatuur verschil, regenval en zonnestraling de groei van gras beïnvloeden (Brougham, 1959; Cable, 1975; Swemmer et al., 2007). Waarbij voornamelijk met een grotere hoeveelheid zonnestraling het gras beter groeit. Maar het blijkt ook dat deze positieve invloed van zonnestraling niet meer geldt bij een watertekort (Norris, 1985). Wanneer er weinig regen is gevallen dan is dit gebrek aan water de bepalende factor in de groei van het gras.

Citaat 3 Uit Rapport ‘Totaal Rapport Nutriflow’, 2019 (Nysten, et al., 2019)

Mede uit de informatie uit bovenstaande citaat 3 en de proef waarbij de kunstmest is uitgereden op basis van de hoogtekaart, kan worden gesteld dat de mate van beschikbaar vocht waarschijnlijk gedetailleerdere input geeft voor het variabel uit gaan rijden van mest en/of nutriënten. De kennis van Waterbeheer zou hierin een rol kunnen spelen. Door gebruik te maken van een waterbalans en meetbare parameters in het perceel die invloed hebben op de waterhuishouding van een perceel, kan een formule worden opgesteld die resulteert in een stikstof (N) gift op basis van de theoretisch haalbare droge stof opbrengst van een plek in een perceel en de daarbij behorende ruw eiwit opbrengst. Een uitgebreide uitleg over de berekening en bepaling van deze formule kan worden

opgezocht in het opvraagbare document: “Ruwe statistiek PreciSIAlandbouw Emmen”. Enkel de formule opbouw wordt in de hier opvolgende tekst weergegeven. Om te komen tot een gedegen en werkbare berekening van de te geven hoeveelheid stikstof per hectare gebaseerd op het beschikbare vocht voor de plant, zal een aantal kaartlagen dienen te worden ingevoegd in de formule/rekenregel. Dit kan uiteraard met farmmaps.nl of overige taakkaart software waarin met rekenregels kan worden gewerkt. Het juist gebruiken van de formules, kaartlagen en het invullen van een korte (nog verder te ontwikkelen, sinds 2023) calculator, resulteert vervolgens in een aantal opeenvolgende applicatiekaarten. In de onderstaande stappen betreft de tekst tussen blokhaken een digitale kaartlaag met bijvoorbeeld puntwaarden of informatie voor een plaats specifiek deel in het perceel. Nogmaals het is een aanzet tot een mogelijk tool, de tool is nog niet uit-ontwikkeld:

- 1) Kaartberekening 1 $= ([\text{vochtbergend vermogen grondsoort per decimeter}] * [\text{effectieve worteldiepte in decimeter}]) + ([\text{OS}\%] * [\text{effectieve worteldiepte in decimeter}])$
- 2) Som van de Neerslag Tekorten (SNT) berekenen
Invullen doormiddel van een Exceldocument: Waterbalans N-gift gewasopbrengst om de Som van de Neerslag Tekorten (SNT) te berekenen. Dit Exceldocument zal in de tijd nog worden aangepast, maar is opvraagbaar bij Aeres Hogeschool Dronten.
- 3) Kaartberekening 2 $= [\text{kaartberekening 1}] * (2,72^{(-[\text{SNT}]/[\text{kaartberekening 1}])})$
- 4) Kaartberekening 3 ALS som van beschikbaar vocht is groter dan E_{pot} : dan $= E_{\text{pot}}$
of
ALS de som van beschikbaar vocht is kleiner dan: E_{pot} = dan formule:
 $= [\text{Kaartberekening 2}] + \text{Neerslag}$
- 5) Applicatiekaart $= (\text{Gewenste potentiële gewasopbrengst/ha/snede} * ((([\text{kaartberekening 3}]/[E_{\text{pot}}])^2)) * ((\text{Gewenste RE}\% * \text{Verliesfactor 1,18}) / 6,25)$

Applicatiekaart 4 dient als input voor het genereren voor de taakkaart voor het perceel. Applicatiekaart 1 hoeft slecht éénmalig te worden gemaakt per perceel. Deze kan meermalig worden gebruikt, tot het moment dat er een nieuwe OS-kaart beschikbaar komt of er een bewerking wordt uitgevoerd wat effect heeft op de bewortelbare zone. Applicatiekaart 2 zal per taakkaart verschillen. Applicatiekaart 3 zou samen kunnen worden gevoegd met applicatiekaart 4. De taakkaart die op basis van de formule wordt berekend, zal een applicatiekaart geven voor het totaal uit te rijden stikstof in kg/ha. Wanneer drijfmest en kunstmest apart worden uitgereden op een taakkaart, zal de stikstofgift per bewerking moeten worden aangepast naar de staven van applicatiekaart 4.

Ter afsluiting

Het toepassen van een precisiebemesting wordt overzichtelijker wanneer in stappen wordt gewerkt. Daarbij is duidelijk geworden dat precisiebemesting op basis van alleen stikstof geen directe meerwaarde oplevert voor de opbrengst. Meerdere factoren van gewasgroei moeten worden meegewogen in het maken van een taakkaart. **Stap 1** is ervoor zorgen dat de ondergrond (de bodem) van het gewas aan de minimale vereisten voldoet om een optimale gewasgroei te kunnen behalen. Wanneer parameters die niet persé meetellen in de bepaling van het beschikbare vochtgehalte op orde zijn, zal **ten tweede** de factor vochthuishouding een rol gaan spelen. **Als derde** geldt dat het maken van de juiste keuzes voor input van een taakkaart vervolgens zal worden toegepast in het veld doormiddel van de nodige machines. Het juist afstellen, testen en bewust gebruiken van de aansturing van deze sensoren en machines is zeer belangrijk gebleken gedurende het seizoen. Zorgen voor een goede en bewuste bediening van de machines en sensoren vergt tijd en aandacht tijdens

een testperiode. Het tijdens het bemestingsseizoen verbeteren van de toegepaste werkwijze is gunstig aangezien fouten en/of uitdagingen die niet vooraf kunnen worden bedacht tijdens het werk naar voren komen. Naast de werkwijze in de uitvoering is het nog een op te lossen vraagstuk hoe de verwerking van data die op en over de percelen wordt verzameld tijdens het bemestingsseizoen en het maken van de taakkaarten het best kan worden ingevuld. De vraag 'wie' de taak van de totale dataverwerking op zich neemt, blijft vooralsnog onbeantwoord.

Bibliografie

Antennekaart.nl. (2023, 11 03). *Kaart*. Opgehaald van Antennekaart: <https://antennekaart.nl/kaart/2g?lat=52.81651005&lng=6.83246612&zoom=13>

Brougham, R. W. (1959). The effects of season and weather on the growth rate of a ryegrass clover pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2(2), 283–296. <https://doi.org/10.1080/00288233.1959.10420316>

Cable, D. R. (1975). Influence of Precipitation on Perennial Grass Production in the Semidesert Southwest. *Ecology*, 56(4), 981–986. <https://doi.org/10.2307/1936309>

Dinkelman, J., Helms, A., Ruijter, B. de, & Verhoeven, C. (2023). Bemesting strategieën PreciSIAlandbouw Emmen.

Norris, I. B. (1985). Relationships between growth and measured weather factors among contrasting varieties of *Lolium*, *Dactylis* and *Festuca* species. *Grass and Forage Science*, 40(2), 151–159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1985.tb01732.x>

Nysten, S., Selles, K., Scherpenzeel, E., van Wee, R., Canrinus, A. A., ter Horst, A. C., Westerdijk, C. E., Clemens, E., Dekker, R., Woutersen, D., Oude Vrielink, G., Habing, M., & Harbers, S. (2019). Real-time inzet Veenhuis Nutri-Flow Duurzame grondstoffenefficiëntie en Smart Farming.

Swemmer, A. M., Knapp, A. K., & Snyman, H. A. (2007). Intra-seasonal precipitation patterns and above-ground productivity in three perennial grasslands. *Journal of Ecology*, 95(4), 780–788. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01237>

Tigchelhoff, F., Nysten, S., Kempenaar, C., & Booij, J. (2021). Toepassing van Bodemscans voor Smart Farming. Vergelijking van bodemscans in Valthermond maakt bodemeigenschappen inzichtelijk.

Tigchelhoff, F., Nysten, S., Kempenaar, C., & Booij, J. (2021). Toepassing van bodemscans voor precisielandbouw Vergelijking van bodemscans in Lemelerveld.

Yuan, X., Li, L., Chen, X., & Shi, H. (2015). Effects of Precipitation Intensity and Temperature on NDVI-Based Grass Change over Northern China during the Period from 1982 to 2011. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs70810164>

4. Sensorsystemen voor het bepalen van zoutstress in gewassen

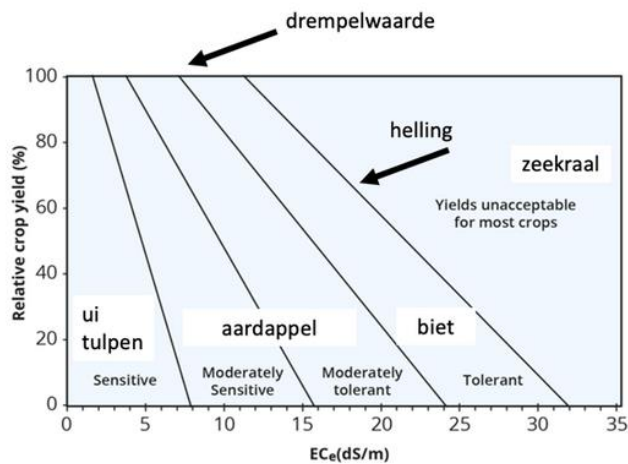
Auteurs: Hendrik Boekhoud & Ruben Dümmer, Van Hall Larenstein

Inleiding

Zoetwater voor de landbouw wordt schaars. Met de droge jaren van 2018 en 2019 lijken de gevolgen van de op handen zijnde klimaatverandering niet meer weg te denken. Voor de landbouw heeft dat ingrijpende gevolgen voor de opbrengst en kwaliteit van de producten. De landbouw investeert daarom ook veel in beregeningsinstallaties om de gevreesde opbrengstderving te voorkomen. Volgens Countus, coöperatie van boeren en tuinders worden beregeningsinstallaties als warme broodjes verkocht. Binnen het Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL) (Proeftuin precisielandbouw, 2021) project is er ook aandacht voor dit onderwerp om het beschikbare zoete water zo optimaal mogelijk te gebruiken. Met actuele gegevens uit sensoren kan het optimale moment van beregenen worden bepaald en in combinatie met beschikbare perceelsinformatie kan eveneens de optimale gift worden berekend. Slimme technieken op de beregeningsinstallaties maakt het mogelijk om de gift binnen het perceel te variëren op basis van taakkaarten. Op die manier wordt spaarzaam omgegaan met het zoete water. Verdamping, verstuiving, landbouwkundige activiteiten, lokale bodemverontreinigingen, infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, sedimentatie, (historische) overstromingen door de zee, indringen van zeewater langs de kust, indringen van zeewater via een open riviermonding, opkegeling bij drinkwaterwinning en oplossing van steenzout zijn oorzaken van verzilting in Nederland (de Boer en Radersma WUR, 2011). Als gevolg van klimaatsverandering met zeespiegelstijging en periodieke onregelmatige neerslagtekorten krijgt de akker- en tuinbouw in het kleigebied langs de Nederlandse kust steeds vaker te maken met verzilt oppervlakte- en grondwater (zie onder andere (Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân, Vitens, 2019)). Diverse studies wijzen op de gevolgen hiervan: verminderde opname van water- en meststoffen met bijbehorende opbrengstschade. Juist in de Noordelijke kleischil (Groningen, Friesland en ook in Noord Holland) worden vanwege de specifieke bodemcondities en schone zeelucht belangrijke gewassen als aardappelen en bloembollen geteeld. Teelten die juist een matige of lage zouttolerantie hebben (Blom, 2017). In het kustgebied is al lange tijd aandacht voor dit onderwerp en diverse organisaties werken samen in project om de gevolgen van verzilting voor natuur en de landbouw in beeld te brengen gevolgd door klimaat adaptieve maatregelen. Diverse projecten houden zich bezig met verzilting binnen onderzoeks- en onderwijsinstellingen. Verdamping, verstuiving, landbouwkundige activiteiten, lokale bodemverontreinigingen, infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, sedimentatie, (historische) overstromingen door de zee, indringen van zeewater langs de kust, indringen van zeewater via een open riviermonding, opkegeling bij drinkwaterwinning en oplossing van steenzout zijn oorzaken van verzilting in Nederland (de Boer en Radersma WUR, 2011). Als gevolg van klimaatsverandering met zeespiegel stijging en periodieke onregelmatige neerslagtekorten krijgt de akker- en tuinbouw in het kleigebied langs de Nederlandse kust steeds vaker te maken met verzilt oppervlakte- en grondwater (zie onder andere (Provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân, Vitens, 2019)). Diverse studies wijzen op de gevolgen hiervan: verminderde opname van water- en meststoffen met bijbehorende opbrengstschade. Juist in de Noordelijke kleischil (Groningen, Friesland en ook in Noord-Holland) worden vanwege de specifieke bodemcondities en schone zeelucht belangrijke gewassen als aardappelen en bloembollen geteeld. Teelten die juist een matige of lage zouttolerantie hebben (Blom, 2017). In het kustgebied is al lange tijd aandacht voor dit onderwerp en diverse organisaties werken samen in project om de gevolgen van verzilting voor natuur en de landbouw in beeld te brengen gevolgd door klimaat adaptieve

maatregelen. Ongeveer 30% van de geïrrigeerde landbouwbodems in de wereld is verzilt. Dit neemt jaarlijks toe met ongeveer 250.000 tot 500.000 ha. De verzilting neemt ook in Nederland toe maar niet overal in dezelfde mate (Blom 2017). Diverse projecten houden zich bezig met verzilting binnen onderzoeks- en onderwijsinstellingen. Bovendien zijn er volgens akkerbouwer Hubrecht Janse uit het Zeeuwse Wolphaartsdijk pleksgewijs verschillen. Hij wijst op plaatselijk verslechterde bodemstructuur en de bewerkbaarheid (Tiggelen, 2014). Beregenen kan hetzelfde effect veroorzaken als verzilting vanuit het grondwater afhankelijk van de zoutconcentratie in het irrigatiewater wat afhankelijk is van de oorsprong van het water. Kleideeltjes in de bodem spelen een belangrijke rol in relatie tot verzilting. Een bodem met een goede structuur heeft een hoge calcium bezetting in de cation exchange capacity (CEC). Dit zorgt ervoor dat er goede bindingen ontstaan tussen kleine kleideeltjes waardoor grotere deeltjes (aggregaten) ontstaan. Bij verzilting kan natrium en magnesium de calcium verdringen waardoor de verbindingen tussen bodemdeeltjes minder sterk wordt. Dit kan leiden tot het dichtslaan van de bodem. Het is bekend dat gips toegepast kan worden om de structuur van verzilte landbouwpercelen te verbeteren (W. Nieuwenhuizen, 2003). Een bekend voorbeeld van het gebruik van gips na de watersnoodramp van 1953 in zuidwest Nederland. Verzilting van landbouwgronden neemt toe maar niet overal in dezelfde mate. Bovendien zijn er volgens akkerbouwer Hubrecht Janse uit het Zeeuwse Wolphaartsdijk pleksgewijs verschillen. Hij wijst op plaatselijk verslechterde bodemstructuur en de bewerkbaarheid (Tiggelen, 2014). Beregenen kan hetzelfde effect veroorzaken als verzilting vanuit het grondwater afhankelijk van de zoutconcentratie in het irrigatiewater wat afhankelijk is van de oorsprong van het water. Kleideeltjes in de bodem spelen een belangrijke rol in relatie tot verzilting. Een bodem met een goede structuur heeft een hoge calcium bezetting in de cation exchange capacity (CEC). Dit zorgt ervoor dat er goede bindingen ontstaan tussen kleine kleideeltjes waardoor grotere deeltjes (aggregaten) ontstaan. Bij verzilting kan natrium en magnesium, calcium verdringen waardoor de verbindingen tussen bodemdeeltjes minder sterk wordt. Dit kan leiden tot het dichtslaan van de bodem. Het is bekend dat gips toegepast kan worden om de structuur van verzilte landbouwpercelen te verbeteren (W. Nieuwenhuizen et al., 2003). Een bekend voorbeeld van het gebruik van gips na de watersnoodramp van 1953 in zuidwest Nederland.

Zoutstress wordt door planten op verschillende manier geuit. Door een hoge concentratie zout in de bodem kan de plant minder makkelijk water opnemen omdat de osmotische waarde buiten de wortels hoger is dan dat de plant zou willen. Hierdoor vindt een ophoping van zout plaats rondom de wortels. Ook zal de plant meer natrium en chloride ionen opnemen en daardoor de balans van essentiële nutriënten zoals kalium en calcium in mindere mate worden opgenomen. Daarnaast zullen de huidmondjes van de plant sluiten vanwege het mindere opname van water waardoor er minder transpiratie plaatsvindt. Hierdoor kan de plant minder goed afkoelen en zal de blad temperatuur stijgen. De schadedrempel bij verschillende gewassen is per plant verschillend (A.M. van Dam et al., 2007). Wintertarwe heeft een hoge schadedrempel van 3947 mg Cl/l terwijl aardappelen een schadedrempel hebben van 756 mg Cl/l. Figuur 1 laat de electroconductivty (ECe) waardes uitgedrukt in ds/m en opbrengstverlies zien van verschillende gewassen.

Figuur 1*Drempelwaarde en helling voor verschillende gewassen*

Precisielandbouw met plaats specifieke teeltmanagement neemt een vlucht en vele akkerbouwers beschikken inmiddels over de benodigde apparatuur om dit toe te passen. Hiermee kunnen tot op microniveau opbrengst en bodem- en plantcondities worden bepaald op basis waarvan de teler beslissingen kan nemen. Beslissingen die leiden tot het minimaliseren van grond- en hulpstoffen door de plaatselijke variatie mee te nemen in de dosering. Door de condities veelvuldig te meten kunnen de teelthandelingen met een grotere nauwkeurigheid op het juiste moment worden toegepast om kwaliteit- of opbrengstschade te beperken. Hetzelfde vindt ook steeds vaker plaats bij toenemende toepassing van irrigatie of beregening door de droge zomers vanwege de klimaatsverandering. De watervraag wordt groter en de zoetwatervoorraad op cruciale momenten is soms nijpend. De noodzaak om zuinig om te gaan met zoetwater is daardoor van groot belang. Voldoende water van goede kwaliteit in de wortelzone zorgt voor een optimale groei. Bij een neerslagtekort gaat het grondwater een rol spelen en juist in de kustgebieden speelt verzilting hierbij een rol spelen. Beregening is dan een uitkomst maar als ook het oppervlaktewater of water in de bron van minder kwaliteit is, dan moet het beregeningregime wellicht worden aangepast of moeten andere teeltmaatregelen worden genomen om schade te voorkomen.

De vraag is of met precisielandbouwtechnieken opbrengstderving in akkerbouwgewassen als gevolg van verzilting kunnen voorkomen en schade kunnen beperken. Hier spelen sensoren een belangrijke rol bij.

Sensortechniek

Drone

Drones worden steeds vaker gebruikt in onze maatschappij. Ze kunnen meerder functies verrichten. Een drone, oftewel een onbemand luchtvaartuig wordt op een afstand bestuurd. Zo kunnen ze gebruikt worden voor het leger, GIS (wegennet, waterwegen, bruggen etc.), journalistiek, cinematografie, remote sensing en uiteraard de landbouw. Zoals eerder vermeld is precisielandbouw een landbouwtechniek om zo planten (en dieren) met behulp van technologie, heel nauwkeurig de problemen te vinden en te behandelen. In plaats van een heel veld te behandelen kan je plaats specifiek een behandeling toepassen. De drone wordt gebruikt om diverse sensoren onder te hangen (zie hieronder).

De DJI phantom 4 pro v2 was aangeschaft met een accucapaciteit van 5870 mAh, 15,2V. Vliegduur is maximaal 30 minuten en weeg 13375 gram. Er hangt een uitstekende RGB camera onder met een videokwaliteit van 4K. Het is een gebruiksvriendelijke drone (figuur 2).

Figuur 2

DJI phantom 4 pro v2



Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

De NDVI kwantificeert de vegetatie door het verschil te meten tussen de NIR (near infra red) en rood licht. NIR wordt door de plant sterk gereflecteerd en rood licht wordt geabsorbeerd. Rood licht zit in de Photosynthetic Active Radiation (PAR) wat het lichtspectrum is tussen de 400 en 700 nanometer. Dit spectrum van licht gebruikt de plant om te fotosynthetiseren. NIR ligt tussen de 780 tot 2500 nm in het lichtspectrum. Een hoge mate van rood licht absorptie betekend dat er veel licht gebruikt wordt voor fotosynthese waardoor de plant meer groeit en in de landbouw hogere producties gehaald kan worden.

Voor dit project is een bNDVI Agrocampa PRO camera gebruikt die het blauwe licht en het NIR vastlegt (figuur 3). De adsorptie en reflectie van rood en blauw licht hebben dezelfde trend aangezien blauw licht ook in het PAR spectrum zit wat gebruikt wordt tijdens fotosynthese.

Figuur 3

bNDVI camera van Agrocampa



Infrarood camera (warmtebeeld)

Een rapport van het ILVO meldt dat er een 4°C opwarming van het blad plaats kan vinden op gronden waar verzilting een probleem is rapport (Swaef, n.d.). Ivushkin et al., (2019) heeft ondervonden dat temperatuur significant omhoog ging bij quinoa planten die zout irrigatie kregen toegediend ten opzichte van quinoa planten die zoet geïrrigeerd werden. Een warmtebeeldcamera is daarom aangeschaft met een hoge thermische gevoeligheid. De FLIR VUE PRO R 640 9 mm 30 HZ met een thermische gevoeligheid van <0,05 °C (figuur 4).

Figuur 4

Warmtebeeldcamera FLIR VUE PRO R 640 9 mm 30 HZ



Zoutbepaling

Dit onderzoek is opgezet om te toetsen of camerabeelden kunnen worden gebruikt om plantstress als gevolg van verzilting in beeld te brengen. Om verzilting in het perceel te bepalen is gebruik gemaakt van de Teros 12 bodensensor en de Fieldscout Soil Sensor Reader. De laatste heeft een pen van 20 cm waarmee metingen in de wortelzone plaatsvinden (figuur 5).

Figuur 5

Fieldscout Soil Sensor Reader



Proefopzet

Het detecteren van verzilting in aardappelen werd bepaald door middel van diverse indexen. De indexen die in het vorige hoofdstuk besproken zijn zullen worden toegepast op verschillende percelen in de noordelijke Kleischil. De geleidbaarheid (EC), vocht en temperatuur van de bodem zullen tijdens de verschillende meetmomenten ook worden gemeten om te valideren dat de stress die de planten ervaren inderdaad door zoutstress komt. Hittestress in planten laat namelijk dezelfde symptomen zien als zoutstress. Als het verkeerde advies wordt gegeven aan de agrariër, dan kan het de problemen alleen maar erger maken. Het is daarom belangrijk een onderscheid te kunnen maken wanneer een plant hittestress ervaart en wanneer zoutstress.

Ook zal er gekeken worden naar wat voor handelingen de akkerbouwer kan uitvoeren om verzilting tegen te gaan. Om uit te zoeken wat voor handelingen de akkerbouwer kan uitvoeren wordt gerefereerd naar het project “Boeren meten water”. In dat project wordt ook gekeken naar verzilting en wat voor handelingen boeren kunnen toepassen om verzilting tegen te gaan. Dit wordt in de conclusie besproken.

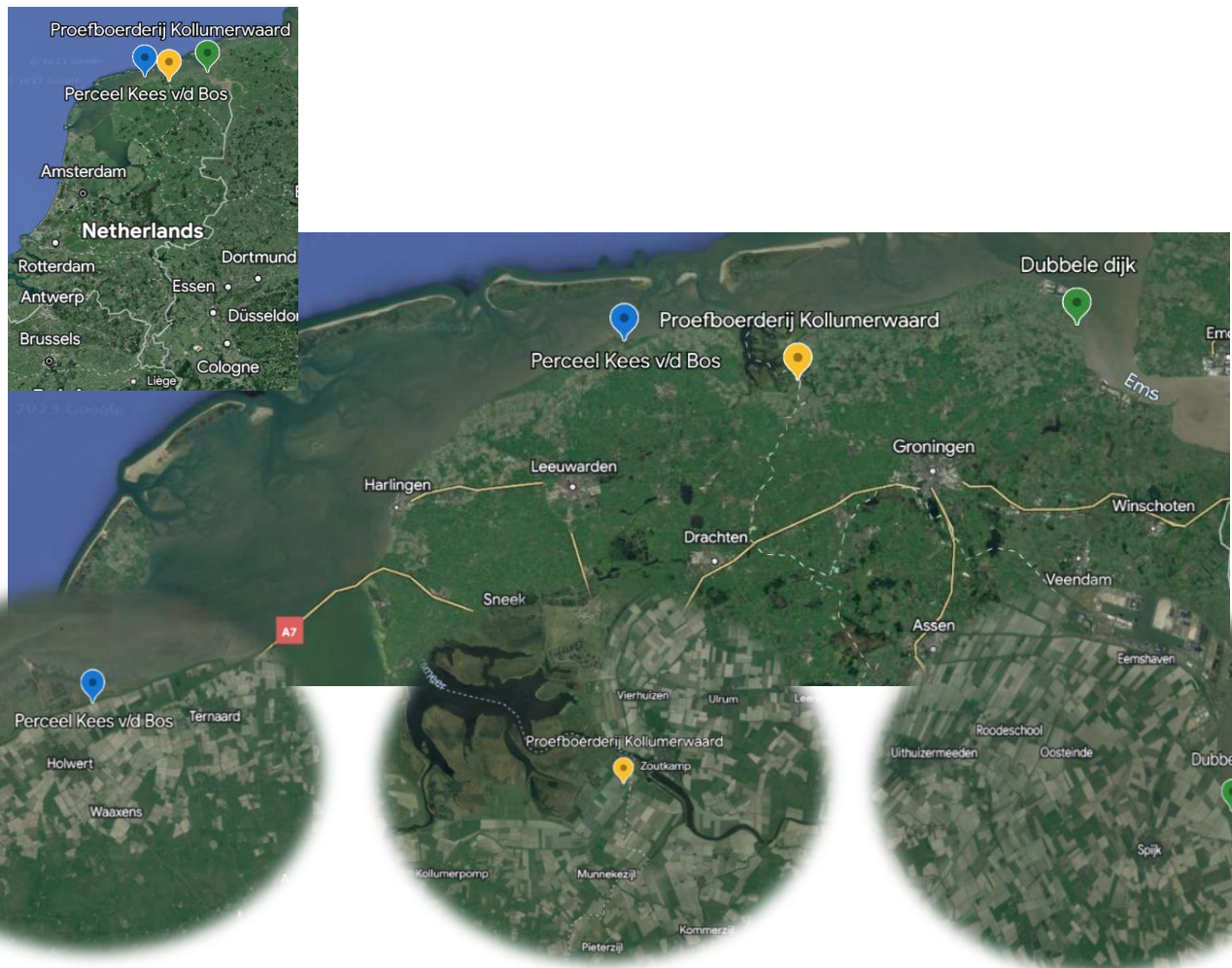
Daarbovenop is het een doel om bestaande informatie in kaart te zetten en verder bouwen op de bestaande informatie om een meer compleet overzicht te creëren van verzilting en de handelingsperspectieven in de noordelijke Kleischil.

Door middel van een drone worden diverse camera's (hoofdstuk sensortechniek) over een veld gevlogen om beelden te maken.

Op 3 verschillende plekken is met drone gevlogen om data te verzamelen over verzilting: Stichting Proefboerderij Noorderlijke Akkerbouw (SPNA), mts. Kees v/d Bos en Dubbele Dijk (figuur 6). Met de drone zijn meerdere vluchten genomen om de verschillende indexen te bepalen. Er werd ook op verschillende hoogtes gevlogen afhankelijk van de toestand van het gewas: 2,5, 5 en 10 meter. Ook werd er een foto genomen op 100 meter hoogte.

Figuur 6

Locaties percelen Kees v/d Bos, Proefboerderij Kollumerwaard (SPNA) en de Dubbele Dijk in de noordelijke kleischil

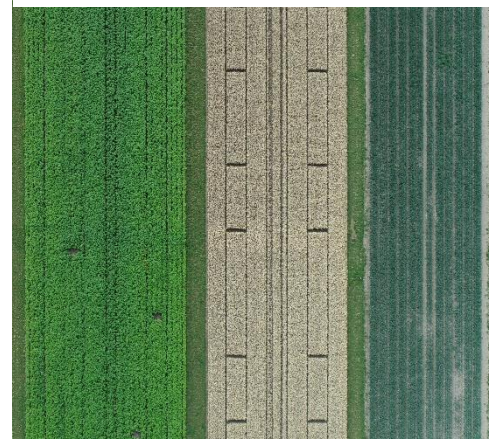


Drone

Op de 3 verschillende percelen is er gevlogen en zijn er diverse metingen verricht. Bij SPNA waren ze al bezig om hun percelen actief te verzilten met zout irrigatie in de bodem, bij de dubbele dijk was de rijksuniversiteit Groningen (RUG) bezig om fysiologische effecten van planten te bekijken omdat ze verwachtte dat de grond daar verzilt was. Bij Kees v/d Bos werd er gevlogen omdat hij een akkerbouwer is en uit nieuwsgierigheid wilde weten of er zoutschade aanwezig was en of dat gedetecteerd kon worden. Er werd voornamelijk gevlogen bij SPNA aangezien we daar zeker wisten dat er een stuk van een perceel actief werd verzilt en de andere deel van het perceel actief met zoet water werd geïrrigeerd (figuur 7). In de lengterichting is de perceel halverwege verdeeld. De oostelijke helft wordt geïrrigeerd met zoetwater de westelijke helft met verziltwater van EC 15 mS/cm. In de dwarsrichting op het perceel worden verschillende gewassen geteeld waaronder aardappelen.

Figuur 7

Proefperceel verzilting en strokenteelt bij SPNA met RGB camera op 50 meter. Links aardappelen, midden tarwe en rechts uien



Bij Kees v/d Bos werd er in 2022 drie keer gevlogen en in 2023 niet. Dit omdat er in 2022 geen sprake was van verzilting. Bij de Dubbele Dijk werd zowel in 2022 en 2023 één keer gevlogen. De data van die twee locaties zal niet worden meegenomen in dit verslag. Bij SPNA werd er in 2022 vier keer en in 2023 twee keer gevlogen. Data van 16 juni 2022 en 4 juli 2023 zullen worden behandeld omdat dit een vroege stadium is van de aardappel. Het voorjaar van 2023 was nat en daarom werden de aardappels later gepoot.

De NDVI camera werd ingesteld zodoende dat om de 5 seconden een foto gemaakt werd. De drone vloog rustig het veld over. De warmtebeeldcamera had geen timer en elk foto moest handmatig genomen worden door middel van de FLIR UAS 2 © app. Om de 10 meter werd er op 2,5 en 10 meter hoogte een foto gemaakt. Drie foto's werden genomen en geanalyseerd met SPSS v. 29.0.1.0 op significante verschillen.

Satelliet

Naast het vliegen met de drone om data te verzamelen gaat er ook met data van satellietbeelden gewerkt worden. Om de zoveel dagen vliegt een satelliet rond de aarde die foto's maakt van de oppervlakte. Een van deze satellieten is de sentinel-2 die een innovatieve breedbeeld multispectrale beeldvormer heeft met hoge resolutie en 13 spectrale banden om zo een nieuw perspectief te geven van de oppervlakte (land en vegetatie) van de aarde. Copernicus Esa Sentinel hub deelt de data en met GIS (ArcMap 10.8) zal de data geanalyseerd worden om de NDVI-index te bepalen. Dit kan op een nauwkeurigheid van 10 meter. Het moet onbewolkt zijn (max. 10% bewolking) voordat een foto geanalyseerd kan worden.

Kasproef

Tijdens het project werd er ook een proef gedaan in de kas om het effect van zout op aardappelen te volgen. In de kas kan je goed de omgevingsfactoren controleren en daardoor gericht de aardappelen behandelen. Deze kasproef was ook onderdeel van een ander project (SALAD). Hier werden aardappelen geteeld in potten die verschillende zoutconcentraties toegediend kregen (0, 3, 6 en 9 EC). De data van die proef zal ook worden meegenomen in dit verslag omdat het in een goede referentiekader is voor wat verzilting doet in aardappelen.

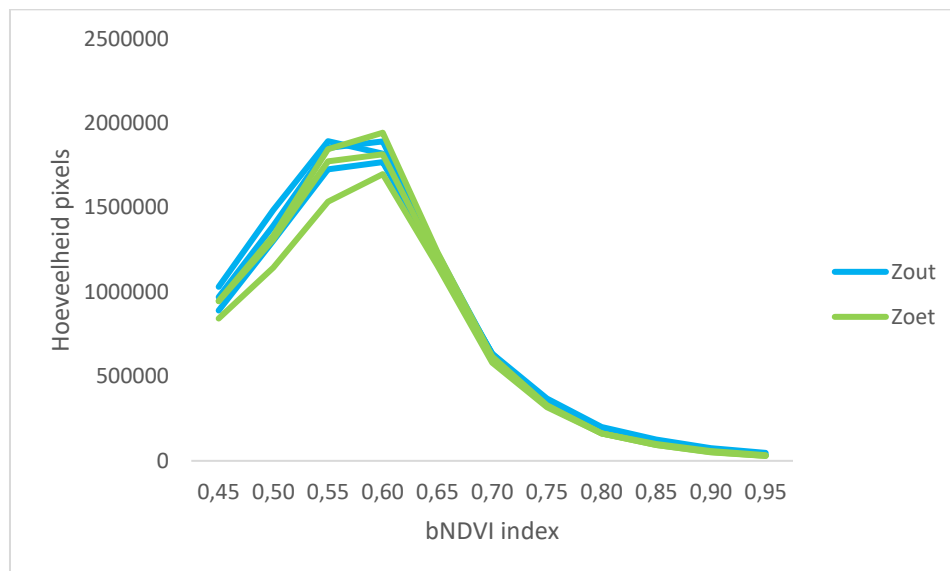
Resultaten

bNDVI

Drie beelden per behandeling werden geanalyseerd om de NDVI-index te bepalen. Door het combineren van twee banden (band 1 (NIR) en band 3 (blauw)) van de Agrocams en de data te reorganiseren kunnen de hoeveelheid pixels geteld worden. De data was niet normaal verdeeld, significantie tussen behandelingen werd uitgerekend door de Mann-Whitney U test in SPSS. De NDVI-indexen tussen zoet en zout geïrrigeerde aardappels in 2022 was niet significant ($p=0,631$; figuur 8). Figuur 9 geeft links een foto weer van de bNDVI Agrocams en rechts een foto van de RGB-camera van de aardappelen in 2022.

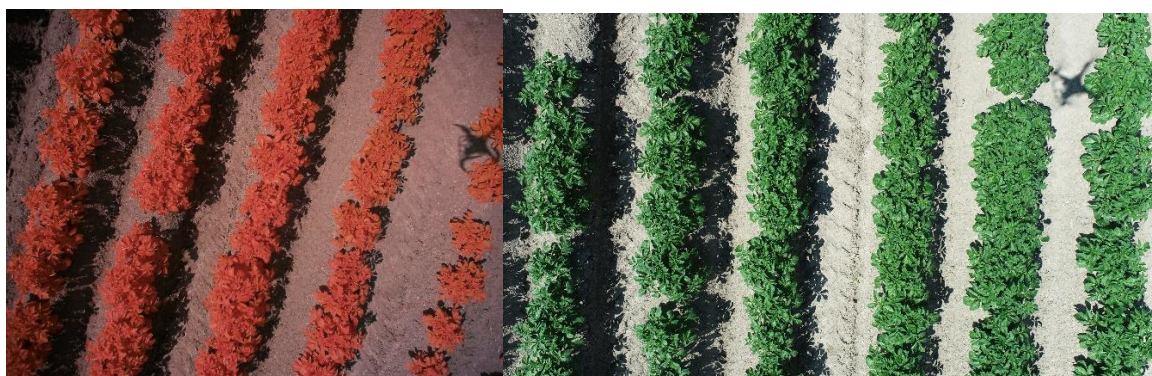
Figuur 8

bNDVI aardappelen waargenomen op 16 juni 2022. Zoet (groen) en zout (blauw). bNDVI index waarden staan op de x-as en de hoeveelheid pixels voor een bepaalde NDVI index waarde staan op de y-as



Figuur 9

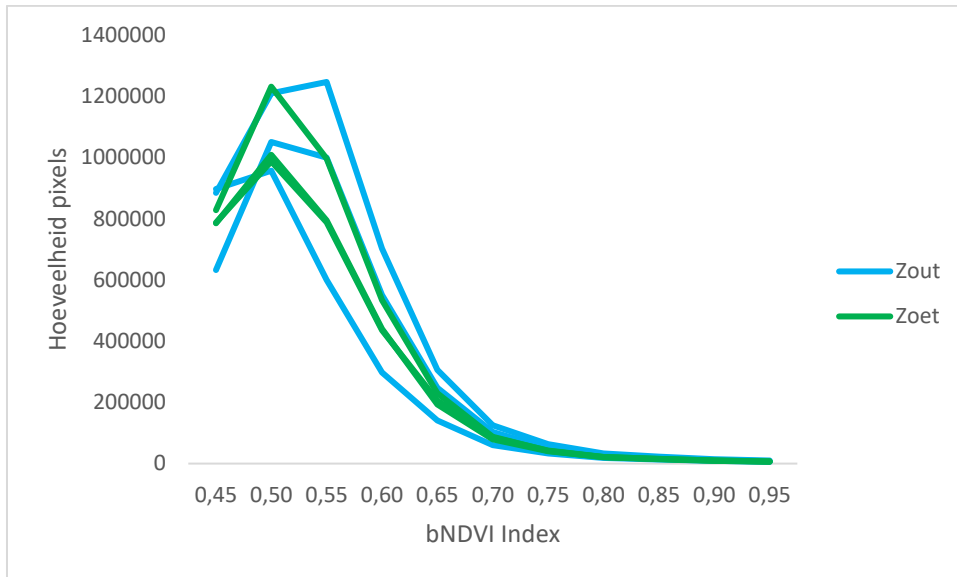
Links een foto van de Agrocams (NDVI) en een foto genomen met de RGB-camera onder de drone genomen op 2,5 meter hoogte op 16 juni 2022.



In 2023 waren er geen significante verschillen te ontdekken tussen zoet en zout geïrrigeerde aardappelen ($p=0,852$; figuur 10). Data is niet normaal verdeeld Shapiro Wilk test, dus Mann-Whitney U test uitgevoerd met SPSS. Figuur 11 laat een beeld zien hoe de aardappels erbij stonden.

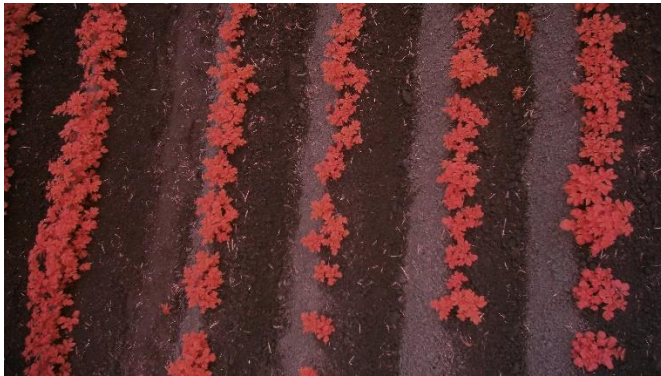
Figuur 10

bNDVI van aardappelen op 7 juli 2023. Verschil tussen zoet (groen) en zout (blauw). NDVI-index staat op de x as. Hoeveelheid pixels voor een bepaalde NDVI-waarde staan op de y as



Figuur 11

bNDVI foto van 2,5 meter hoogte genomen met Agrocarn op 7 juli 2023.

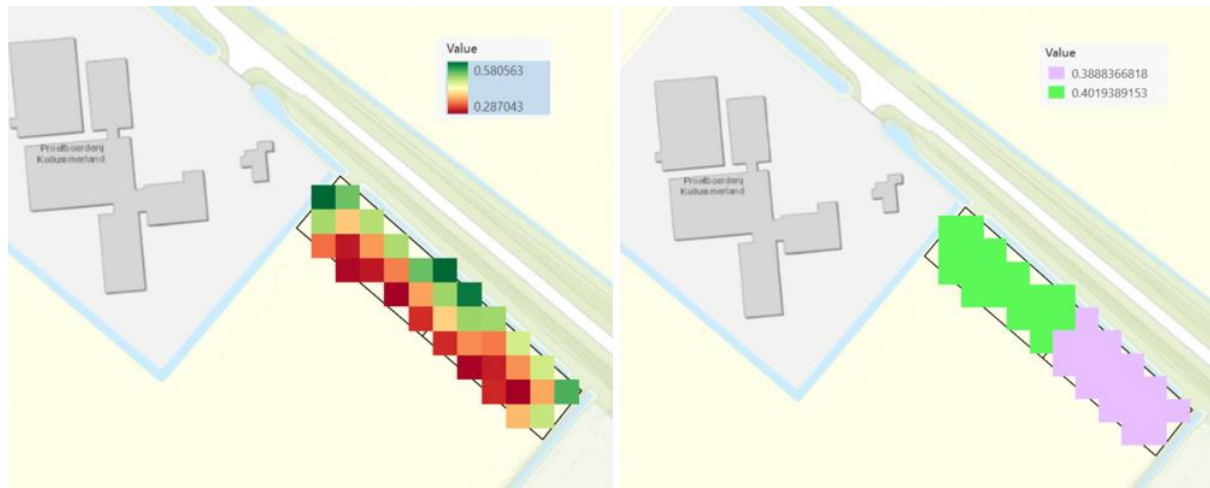


NDVI-satelliet

De gemiddelde NDVI-waarde van aardappelen geïrrigeerd met zout water was hoger ten opzichte van de aardappelen geïrrigeerd met zoet water (figuur 12). Er is niet getest of dit verschil significant is.

Figuur 12

Links een geanalyseerde satellietfoto van 11 juni 2022 dat de NDVI-index waardes laat zien op een nauwkeurigheid van 10 x 10 meter. Rechts de gemiddelde waardes van de behandelingen (zout=groen; zoet=paars). Foto geanalyseerd met ArcMap 10.8.

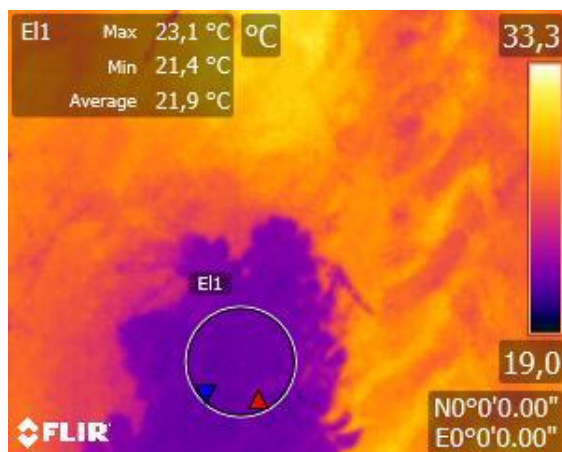


Warmtebeeld

Een warmtebeeldfoto voorbeeld genomen op 16 juni 2022 met de FLIR camera is te zien in figuur 13. De aardappelen die met zout water geïrrigeerd werden was gemiddeld 23,56 °C terwijl de aardappelen die met zoet water geïrrigeerd werden een gemiddelde temperatuur had van 21,47 °C ($p=0,05$; figuur 14). Aardappelen die met zout water geïrrigeerd werden waren dus ongeveer 1,99 °C warmer.

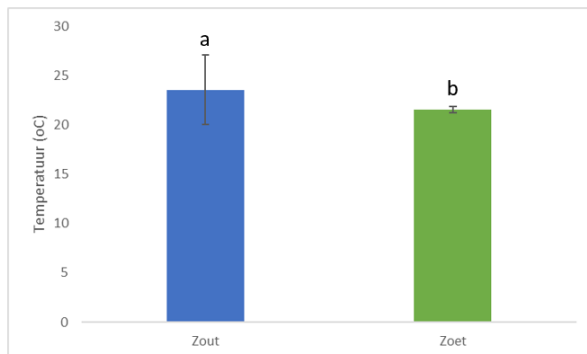
Figuur 13

Warmtebeeldfoto van FLIR camera (2,5 meter-ingezoomd)



Figuur 14

Temperatuur van aardappelen op 16 juni 2022



Noot: Verschil tussen zoet (groen) en zout (blauw). Temperatuur staat op de y as. Data is normaal verdeeld Shapiro Wilk test, dus one-way ANOVA test uitgevoerd met SPSS. Data tussen behandelingen (zoet vs zout) is significant ($p=0,05$)

Een warmtebeeldfoto voorbeeld genomen op 04 juli 2023 met de FLIR camera is te zien in figuur 15. De aardappelen die met zout water geïrrigeerd werden was gemiddeld $19,87^{\circ}\text{C}$ terwijl de aardappelen die met zoet water geïrrigeerd werden een gemiddelde temperatuur had van $19,01^{\circ}\text{C}$ ($p<0,01$; figuur 16). Aardappelen die met zout water geïrrigeerd werden waren dus ongeveer $0,86^{\circ}\text{C}$ warmer.

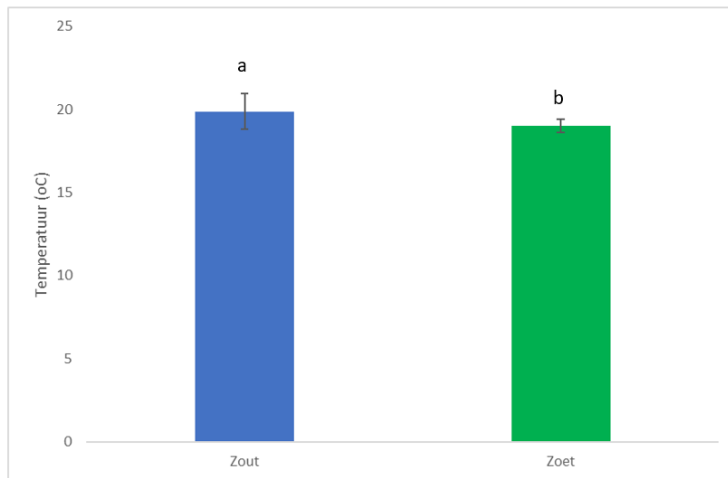
Figuur 15

Warmtebeeldfoto van aardappelplant rug. Foto genomen op 04 juli 2023 op 2,5 meter hoogte.



Figuur 16

Temperatuur van aardappelen op 7 juli 2023 tussen zoet (groen) en zout (blauw)



Noot: Verschil tussen zoet (groen) en zout (blauw). Temperatuur staat op de y as. Data is normaal verdeeld Shapiro Wilk test, one-way ANOVA test uitgevoerd met SPSS. Data tussen behandelingen (zoet vs zout) is significant ($p < 0,01$)

Kasproef

Aardappelen werden in de kas met vier verschillende zilte omstandigheden geteeld (figuur 17). Een opname van een warmtebeeld toont een verschil van de planttemperatuur aan van 3,6 °C oplopend bij een verhoogde zoutgehalte (figuur 18).

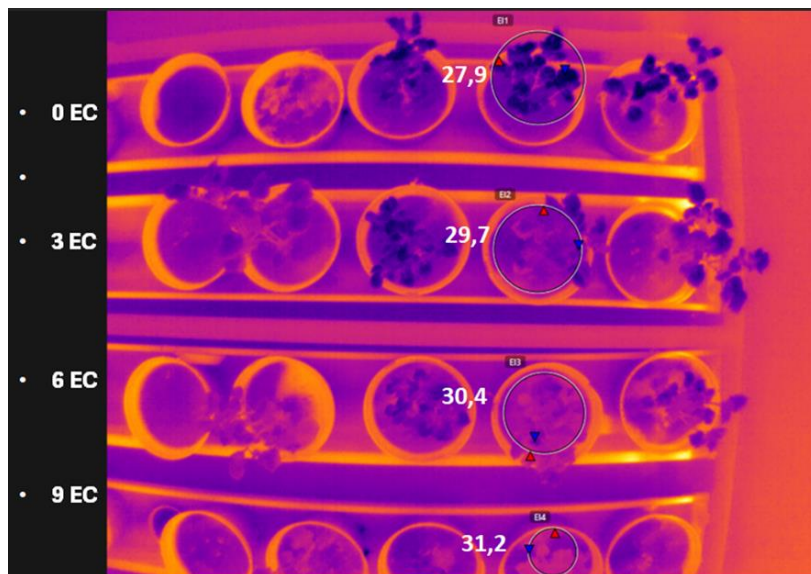
Figuur 17:

Aardappelen in potten in de kas



Figuur 18

warmtebeeld camera laat de temperaturen zien van de aardappelplanten in verschillende zout concentraties (EC 0, EC 3, EC 6 en EC 9).



Conclusie

In beide jaren waren dat er bij SPNA gevlogen werd waren er geen verschillen in NDVI-waardes tussen de zoet en zout geïrrigeerde percelen. Wel waren er voor zowel de praktijkproef bij SPNA en de kasproef verschillen in blad temperatuur van aardappelplanten. In 2022 was dit verschil 1,99 °C en in 2023 0,86°C. Deze bevindingen komen overeen met de literatuur. Er was te weinig data verzameld van de satellietbeelden om van de beelden conclusies te trekken. Het lijkt erop dat de NDVI-waardes van de zoute percelen hoger waren dan de zoete percelen maar hiervoor zullen meer metingen verricht moeten worden.

Discussie

Het was een leerzaam onderzoek voor zowel de onderzoekers, docenten en studenten. Dit onderzoek heeft mooie data opgeleverd wat de literatuur ook laat zien dat planten die groeien in een zoute omgeving warmer zijn dan planten die onder gunstiger omstandigheden groeien. Wel waren er een paar knelpunten in het ophalen van de data. Ten eerste is de drone die we hebben uitgekozen gebruikersvriendelijk, dit heeft voor- en nadelen. Een nadeel was dat we de camera's niet direct konden koppelen aan de drone. Vooral voor de FLIR (warmtebeeld camera) was dit een probleem omdat we een andere energiebron nodig hadden. Daarvoor hebben we een kleine powerbank aangeschaft om mee te liften met de camera. Ook moest je binnen een bepaald aantal meter van de drone aanwezig zijn om een foto te maken met de camera i.v.m. bluetooth connectie. Soms viel de connectie halverwege de vlucht weg. In 2023 hebben we ervoor gezorgd dat we een stelling hebben gemaakt van twee RVS stokken en daar de camera opgehangen op +- 2,5 meter. Hierdoor schommelde de camera minder en was de camera + telefoon altijd binnen bereik.

De drone deed in sommige gevallen niet wat die moest doen. De drone vloog namelijk af en toe weg. We hadden een drone die veel met sensoren werkt, wat handig kan zijn als je niet tegen een gebouw aan wilt vliegen maar wat minder praktisch als je de camera's onder de drone monteert. Hierdoor was de drone vaak in de war. De sensoren konden gelukkig uitgeschakeld worden om dit te voorkomen.

De NDVI-camera deed het in 2022 heel goed en maakte goede beelden die heel nauwkeurig waren. In 2023 waren de foto's een stuk minder duidelijk. Een deel van de foto's konden namelijk niet goed geanalyseerd worden vanwege de exposure van de camera. De exposure was aangepast waardoor de NDVI-formule niet werkte i.v.m. andere waardes in de golflengtes. Hierdoor kon de analyse die uitgevoerd werd moeilijk de grond van de plant onderscheiden.

Aanbevelingen voor de praktijk

Met het meten van blad temperatuur is het mogelijk om verzilting te detecteren in het perceel. Er wordt daarnaast ook aangeraden om naar de plek toe te gaan in het perceel en met een Fieldscout (of een ander instrument) het zoutgehalte in de bodem te bepalen. Als er inderdaad een hoge zoutconcentratie is op die plek kan er pleksgewijs met zoetwater geïrrigeerd worden om het zout terug te dringen.

Om verzilting tegen te gaan kunnen verschillende beheerstrategieën toe worden gepast (een overzicht staat in tabel 1; van het project Boeren Meten Water):

- **Land nivelleren** (vlak maken), om zo een gelijkmatige verdeling van het bodemvocht over het perceel te garanderen, zodat regen en beregeningswater uniform de bodem kan infiltreren.
- **Verhoogde bedden**. Dit verbetert de afwatering (in zwaardere gronden) en vermindert zoutophoping in de wortelzone.
- **Mulchen**; het vermindert de verdamping en helpt een stabiel bodem (zout) vochtgehalte te behouden
- **Drainagesysteem**, waardoor het makkelijker wordt zouten uit de wortelzone te spoelen.
- **Fytoremediatie**, specifieke plantensoorten die tolerant zijn voor zout, helpen het zoutgehalte van de bodem te verlagen, de bodemstructuur te verbeteren en de algehele gezondheid van de bodem te verbeteren.
- **Minimale grondbewerking**, zoals niet-ploegen of minder diep ploegen de waterinfiltratie en drainage verbeteren door de bodemstructuur te behouden en bodemverdichting te verminderen.
- **Gips en/of kalk** kan helpen, door natriumionen te verdringen, overtollige zouten uit te spoelen en omdat het een bron van calcium is.
- **Polysulfaat**, is nuttig vanwege het uitgebalanceerde gehalte aan voedingsstoffen, wat ook helpt om de bodemstructuur te verbeteren.
- **Organische (humus)zuren**, producten die calcium en organisch materiaal combineren die natrium, calcium en magnesium oplosbaar maken en het klei-hum-complex verbeteren
- **Compost** en **mest** zijn rijke bronnen van organisch materiaal. Beide helpen de bodemstructuur, het watervasthoudend vermogen en het vasthouden van voedingsstoffen te verbeteren.
- Verschillende **micro-organismen kunnen aan de bodem worden toegevoegd** om de gewasontwikkeling onder zoute omstandigheden te verbeteren.

Tabel 1

overzicht van de effecten in de tijd van de verschillende strategieën om bodemverziltig aan te pakken

		Termijn van effectiviteit	
		Korte termijn	Lange termijn
Grondbewerking	Mulching		
	Verhoogde bedden		
	Drainage		
	Grond nivelleren		
	Phytoremediatie		
	Minimale grondbewerking		
Irrigatie	Planning		
	Doorspoelen		
Grond toevoegingen	Gips		
	Polysulphate		
	Kalk additieven		
	Humuszuren		
	Compost		
	Mest		
	Microorganismen		

Ras keuze is ook een manier om minder last te hebben van verziltig. Sommige soorten en rassen doen het beter in verzilte omstandigheden vergeleken met andere.

Bibliografie

- Blom-Zandstra, M. (2017). Zilte landbouw: Wat zijn de mogelijkheden? *Bodem*, 27(4), 14-17. <https://edepot.wur.nl/423049>
- De Boer, H. C., & Radersma, S. (2011). *Verzilting in Nederland: oorzaken en perspectieven* (No. 531). Wageningen UR Livestock Research.
- Colombani, N., Osti, A., Volta, G., & Mastrocicco, M. (2016). Impact of climate change on salinization of coastal water resources. *Water resources management*, 30, 2483-2496.
- Cuevas, J., Daliakopoulos, I. N., del Moral, F., Hueso, J. J., & Tsanis, I. K. (2019). A review of soil-improving cropping systems for soil salinization. *Agronomy*, 9(6), 295.
- van Dam, A. M., Clevering, O. A., Voogt, W., Aendekerk, Th. G. L., & van der Maas, M. P. (2007, August). Zouttolerantie van landbouwgewassen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. <https://edepot.wur.nl/27637>
- Hackl, H., Baresel, J. P., Mistele, B., Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2012). A comparison of plant temperatures as measured by thermal imaging and infrared thermometry. *Journal of agronomy and crop science*, 198(6), 415-429.
- Henik, J. J. (2012). *Utilizing NDVI and remote sensing data to identify spatial variability in plant stress as influenced by management*. Iowa State University.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Franceschini, M. H., Kramer, H., ... & Finkers, R. (2019). UAV based soil salinity assessment of cropland. *Geoderma*, 338, 502-512.
- Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z., & Song, S. (2019). Quinoa: In perspective of global challenges. *Agronomy*, 9(4), 176.
- Li, J., Pu, L., Han, M., Zhu, M., Zhang, R., & Xiang, Y. (2014). Soil salinization research in China: Advances and prospects. *Journal of Geographical Sciences*, 24, 943-960.
- Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30.
- Nieuwehuizen, W., Wolfert, H. P., Higler, L. W. G., Dijkman, M., Huizinga, H. J., Kopinga, J., Makaske, A., Nijhof, B. S. J., Olsthoorn, A. F. M., & Wosten, J. H. M. (2003). Strandaardmethode Schade aan LNC-waarden als gevolg van overstromingen; methode voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen voor de aspecten opgaande begroeiing, vegetatie, aquatische ecosystemen en historische bouwkunde. <https://edepot.wur.nl/41320>
- Ondrasek, G., & Rengel, Z. (2021). Environmental salinization processes: Detection, implications & solutions. *Science of the Total Environment*, 754, 142432.
- Paulissen, M. P. C. P., Schouwenberg, E. P. A. G., Velstra, J., & Wamelink, G. W. W. (2007). Hoe gevoelig is de Nederlandse natuur voor verzilting. *H2O: tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling*, 2007(18), 40-44.
- Rengasamy, P. (2016). Soil salinization. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Proeftuin precisielandbouw. (2021, januari 10). Opgehaald van <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/>
- Silva, M. R. S., Eger, R. A., Rosenfeldt, Y. A. Z., & Loch, C. (2018). Testing DJI Phantom 4 Pro for urban georeferencing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 407-411.
- Stoyanova, M., Kandilarov, A., Koutev, V., Nitcheva, O., & Dobрева, P. (2021). Unmanned drone multispectral imaging for assessment of wheat and oilseed rape habitus. *Bul. J. Agric. Sci*, 27, 875-879.
- Swaef, T.D. (sd). Opgeroepen op 10 9, 2023, van <https://ivlo.vlaanderen.be/nl/dossiers/droogtetolerante-teelten>
- van Tiggelen, E. (2014). Verzilting is erger voor bodem dan voor gewas. <https://edepot.wur.nl/310007>
- Verhagen, A., Blom, M., Kuikman, P. J., den Belder, E., Brandenburg, W. A., Elderson, J., ... & Waalwijk, C. (2009). *Naar een klimaatbestendiger landbouw in Nederland: quickscan en agendering van onderzoek* (No. 613). Plant Research International, Wageningen UR.

5. Sensortechniek: Monitoring van de Biodiversiteit

Auteurs: Nelleke Kreike, Frank van der Helm en Sonia Jillings

Inleiding

De focus bij Inholland ligt op sensorontwikkeling voor biodiversiteitsmonitoring. Aan de hand van eDNA analyses kan de microbiële gemeenschap in kaart gebracht worden. De groei van de plant wordt beïnvloed door de microbiële samenstelling van de bodem en vice versa. In dit werkpakket is de voornaamste taak het optimaliseren, verbinden en toepassen van de verschillende methodieken die nodig zijn om de microbiële gemeenschap via eDNA analyse in de bodem met Next Generation Sequencing technieken (NGS) aan te kunnen tonen. Nieuw is het gebruik van Nanopore sequencing waardoor bestaande methodieken aangepast moeten worden.

De verkregen informatie over de samenstelling van microbiële gemeenschappen levert nieuwe gegevens op over de correlatie tussen de behandeling van de bodem en de aanwezigheid van bepaalde micro-organismen. Tevens is onderzoek uitgevoerd om de functionaliteit van de aanwezige micro-organismen in de bodem te achterhalen. Met deze informatie kan in de toekomst een behandelingsperspectief geboden worden aan de telers om de bodem te verbeteren of om gewassen weerbaarder te kunnen telen.

De micro-organismen die onderzocht worden in dit project zijn voornamelijk bodembacteriën en er is een begin gemaakt met de analyse van de aanwezige schimmels in de bodem.

Er is onderzoek gedaan aan een 3-tal percelen van een Hyacintenkwekerij, die verschillen in de behandeling van de bodem qua bolontsmetting en bemesting. Per perceel is er vier keer per jaar een grondmonster genomen in 2022. Op de in totaal 56 grondmonsters uit 2022 is een microbiom biodiversiteit onderzoek uitgevoerd.

Sensortechniek

In dit werkpakket is de voornaamste taak het optimaliseren en stroomlijnen van de methodieken die nodig zijn om de microbiële gemeenschap via eDNA analyse in de bodem met Next Generation Sequencing technieken (NGS) aan te kunnen tonen. Voor dit onderzoek hebben we een nieuwe Next Generation Sequencing techniek (NGS) geoptimaliseerd en toegepast: Oxford Nanopore Sequencing. Het analyseren van het microbiom via eDNA techniek wordt nog niet standaard toegepast omdat de oudere technieken zeer kostbaar zijn. De nieuwe Oxford Nanopore sequencing techniek is nieuwer, goedkoper en eenvoudiger te gebruiken dan de standaard Illumina Mi-seq sequencing, en kan tegenwoordig met vergelijkbare betrouwbaarheid uitgevoerd worden. Al met al een zeer interessant alternatief om toe te kunnen passen in het HBO-onderzoek.

Met Oxford Nanopore sequencing is het mogelijk om high throughput, ultra lange DNA-moleculen, in real time te analyseren. Het apparaat dat nodig is voor Oxford nanopore sequencing is een flow cel waarin een electro-resistent membraan aanwezig is waarin heel veel hele kleine gaatjes zitten (nanoporien) waar precies 1 DNA molecuul doorheen kan. Elke nanoporie heeft een eigen electrode die in verbinding staat met een sensorchip. Deze chip meet de elektrische stroom die door de nanoporie stroomt. Wanneer een DNA-molecuul door de nanoporie heen beweegt, wordt de stroom onderbroken. De aard van de onderbreking hangt af van de nucleotide die de sensor passeert. Daarmee is later de stroomonderbreking per nucleotide om te zetten in een basecalling signaal

(bepaling van de nucleotide: A, G, C of T) waardoor de sequentie van het DNA bepaald kan worden. De flowcel wordt eenvoudig aangesloten op een computer, die de data registreert.

Naast het optimaliseren en toepassen van het DNA sequencen en basecallen zullen ook de voorbereidende stappen, zoals DNA-isolatie uit bodemsamples, opschonen van het DNA en klaarmaken van het DNA voor het sequencen, geoptimaliseerd moeten worden. Na het basecallen en bepalen van de nucleotide volgorde van de DNA-moleculen moet er een bio-informatica pipeline opgezet worden om te kunnen achterhalen van welke organismen het DNA in het bodemmonster is.

Samenvattend bestaat de workflow van het laboratorium onderzoek uit 2 onderdelen, namelijk DNA sequencing en Data analyse, beiden bestaan weer uit verschillende stappen, hieronder aangegeven. In dit onderzoek is voornamelijk naar de aanwezige bacteriën in de bodemsamples gekeken. Daartoe is er voorafgaand aan het sequencen een PCR-amplificatie uit te voeren op het 16S rDNA dat aanwezig is in bacteriën. Voor schimmels is een ITS-2 PCR amplificatie uitgevoerd.

DNA sequencing



Data analyse



De classificatie wordt gedaan met Kraken2 en de Silva2022 database.

De resultaten worden gevisualiseerd door middel van Krona Pie charts

Opzet van de workflow

Bij Hyacint teler Hoogervorst zijn 3 percelen uitgekozen, waar verschillende behandeling zijn uitgevoerd (zie hieronder bij bol en perceel behandelingen) waarvan het eDNA bepaald gaat worden, 4 x per jaar. Hiertoe zijn in totaal 56 bodemmonsters gestoken op verschillende plekken in de percelen (zie hieronder bij monsternamen). Deze bodemmonsters worden in de vriezer bewaard.

Uit het bodemmonster wordt DNA geïsoleerd, dat wordt opgeschoond en er wordt een PCR (16S en ITS) mee uitgevoerd. Aan de verschillende DNA-monsters wordt een aparte barcode gehangen en dan wordt het DNA gesequenced met de nanopore sequencing techniek. Na het sequencen wordt de data gebasecalled en opgeschoond en getrimd, waarnaar het klaar is om vergeleken te worden met de bestaande databases voor bacteriën en schimmels, zodat de aanwezigheid van de micro-organismen bepaald kan worden. De output van deze analyse wordt weergegeven in Krona-pie charts.

Vervolgens is er onderzoek gedaan naar de functies van de aanwezige micro-organismen en is er indeling gemaakt naar de ecologische functiegroepen om de samenstelling van bacteriën in het bodemmicrobioom te kunnen bepalen.

Doelstelling

Hogeschool Inholland heeft binnen het project PreciSIALandbouw gewerkt aan het ontwikkelen van een systeem, waarbij op basis van microbioom bepalingen de gezondheid en weerbaarheid van een

gewas en de bodem gemonitord kan worden. De term ‘microbioom’ is te definiëren als de samenstelling van alle organismen, zoals schimmels en bacteriën, in de grond of op de plant. Dit onderdeel van het project is samen te vatten in de onderstaande doelstelling:

“Het identificeren van indicatorsoorten en/of groepen voor functies van het bodemleven, zodat bollentelers een beter beeld hebben van de biologische bodemkwaliteit van hun perceel, om zo het bodembeheer te optimaliseren en het gebruik van bestrijdingsmiddelen te verminderen door het analyseren van het microbioom in bodem- en wortelmonsters met verschillende DNA-sequencing technieken en de gevonden organismen in functiegroepen in te delen op basis van informatie uit literatuuronderzoek.”

DNA sequencing en Data analyse voor Nanopore sequencing

Biomonitoring van de bodem kan op verschillende manieren. Wij hebben gekozen dit te doen met behulp van Nanopore sequencing; een relatief nieuwe sequencing techniek die zich snel blijft ontwikkelen. Hier beschrijven wij de methode voor DNA-extractie, amplificatie, sequencing en data-analyse. Vanwege de snelle ontwikkeling van de techniek wordt de laatst gebruikte versie beschreven.

Het verzamelen van de bodemonsters is beschreven in 1.3.3. Monsters zijn bewaard bij -20°C.

DNA is geëxtraheerd uit 250mg bodem materiaal met behulp van de DNeasy Powersoil Pro kit van Qiagen. Voor de cel lysis stap zijn de monsters met behulp van een Tissuelizer tweemaal voor 5 minuten bij 25 Hz geschud. DNA is geëluëerd in 50µL C6 buffer door de kolom 2 minuten bij kamertemperatuur de laten incuberen voor het afdraaien.

De zuiverheid van het DNA-monster is gecontroleerd door de 260/280 waarden te meten met behulp van de Nanodrop. De integriteit van het DNA is visueel bepaald door middel van gel-elektroforese. De DNA-concentratie is gemeten met de Invitrogen Qubit dsDNA High Sensitivity Quantification Kit op de Invitrogen Qubit 4 Fluorometer.

Om de bodemkwaliteit te bepalen zijn bacteriën en schimmels in kaart gebracht aan de hand van DNA-merkers 16S en ITS2. Het DNA is gebruikt om deze merkers te amplificeren met PCR, waarna de amplicons zijn gesequenced met behulp van Nanopore sequencing. Sequencing is uitgevoerd op de MinION Mk1B van Oxford Nanopore Technologies.

De 16S-merker is geamplificeerd, gebarcodet en gesequenced met behulp van de Nanopore 16S Barcoding Kit 1-24 (SQK-16S024).

ITS2 is geamplificeerd met primers uit Tedersoo et al. 2020, gevolgd door kwaliteitscontrole van de amplicons op gel met gel-elektroforese. De amplicons zijn opgeschoond met Agencourt AMPure XP Beads van Beckman Coulter volgens bijhorende protocol voor PCR-purificatie. De amplicons zijn geënd-prepped, gebarcodet en gesequenced volgens het Nanopore Ligation sequencing amplicons protocol met de Native Barcoding (SQK-NBD112.24) kit.

Per monster is een andere barcode gebruikt, om de monsters samen te voegen voor het sequencen, en tijdens de data-analyse te kunnen scheiden. Voor 16S barcoding zaten deze verschillende barcodes aan de 16S primer vast. Voor ITS2 zijn deze er na de amplificatie aan geligeerd.

Voor het sequencen zijn flowcellen met R9 chemistry gebruikt. De MinKnow software van Nanopore is gebruikt voor het sequencen, voor het basecallen van de sequence data en voor het demultiplexen (scheiden op barcode) van de data. De kwaliteit van de data is gecontroleerd met behulp van de tools 'seqkit stats' en 'NanoPlot'. De data is vervolgens opgeschoond en getrimd met de tool 'NanoFilt' op een minimale q score van 9 en een lengte van 1200 tot 2000 voor 16S en 150 tot 1000 voor ITS2.

De opgeschoonde en getrimde DNA reads zijn geclassificeerd met de tool 'Kraken2' met behulp van de SILVA database voor 16S, en de UNITE database voor ITS2. De classificatie data is gevisualiseerd in een KRONA Pie Chart, en gebruikt om functionele groepen in de bodem te onderzoeken. Verschillen in microbiële samenstelling tussen monsters kunnen aangetoond en onderzocht worden.

Onderzoekslocatie

Er is nog weinig kennis van veranderingen van het microbiom gedurende het teeltseizoen en variatie binnen een perceel. In dit onderzoek is bewust gekozen om een aantal percelen te bemonsteren (Figuur). Perceel1 is een onderzoeksperceel van een Hyacintenkwekerij, hierin zijn meerdere plekken bemonsterd die aansluiten bij proeven van de kweker waarvan deze invloed verwachtte op het bodemleven (bolontsmetting en bemesting). Per perceel is er vier keer per jaar een grondmonster genomen in 2022. Er is in 2022 ook een wortelmonster genomen.

Figuur 19

Overzicht van percelen waarin objecten bemonsterd zijn in seizoen 2021/2022 en 2022/2023. Het seizoen loopt van nov tot juli



De plekken die bemonsterd zijn worden in dit rapport zeer kort toegelicht. In de studentenverslagen is een uitgebreide beschrijving te vinden van de percelen en bemonstering. (Lijster en Meeuwisse, 2022) en (Heijde, 2023)

Percelen in 2021-2022

- Perceel 1 – **Bolontsmetting 2021-2022**: Chemisch, biologisch en onbehandelde bollen zijn geplant en bemonsterd op velden van 1 meter bed. Monsternamen per behandeling zijn 3x (nr 1,2,3) en er is een mengmonster (nr 4). In totaal zijn er 12 samples genomen: chem1-4, bio1-4 en onb1-4
- Perceel 2 – **Teeltfrequentie**: Teeltfrequentie 1:4, 4 jaar geleden voor het laatst hyacinten gestaan en 1:10 dat er 10 jaar geleden hyacinten hebben gestaan. Er is 1 mengmonster per teeltfrequentie genomen. Er zijn 2 samples: 1:4 en 1:10

- Perceel 3 – **Totaal gewas aanpak**: Een mengmonster van bedden 13 t/m 15 is onderzocht omdat deze bedden door Agrifirm intensief gevolgd worden voor het project totaal gewas aanpak, er is 1 sample TGA

Behandeling van bollen en percelen in 2022

- Perceel 1
 - **Groenbemester**: in dit deel van het perceel groeien hyacintbollen die onbehandeld zijn 2021-2022 is opnieuw bemonsterd toen werd er een groenbemester geteeld. (sample 1-2022)
 - **Bolontsmetting 2022-2023**: Chemisch, biologisch en onbehandelde bollen zijn geplant en Bemonsterd (sample 2, 3 en 4, - 2022)
 - **Vivisol**: Een perceel bemest met vivisol is vergeleken met een controle waarop geen vivisol is gebruikt. (sample 5 en 6 - 2022)
- Perceel 2 – **Teeltfrequentie**: de velden met teeltfrequentie 1:4 en 1:10 hyacint uit 2021-2022 zijn opnieuw bemonsterd. Het gewas was nu tulp. (sample 7 en 8 -2022)
- Perceel 3 – **Totaal gewas aanpak**: De bedden uit het onderzoek totaal gewas aanpak uit 2021-2022 zijn opnieuw bemonsterd met nu het gewas narcis. (sample 9 - 2022)

De monsternamen zijn uitgevoerd volgens een voor dit doel ontwikkeld protocol.

- Het steken is gedaan met een grondboor (60 cm niet verzinkte guts met diameter 30mm) op een diepte van 15-45cm in 2022 gedaan en op 0-30 cm in 2023. In 2023 zijn in maart ook extra 15-30 cm monsters gestoken om de invloed van steekdiepte te onderzoeken.
- Richtlijn aantal keer steken per perceelgrootte: 10x steken voor klein object, 20x steken voor groot object of bij gebruik van dunne grondboor: 20x steken voor klein object, 40x steken voor groot object
- De monsters zijn genomen in het midden van het bed, dus kopeinden en plekken dichtbij rijpaden zijn vermeden, omdat deze grond over het algemeen van mindere kwaliteit is dan de plekken middenin het bed door bodemverdichting door tractoren en machines.
- Bij het steken van monsters draagt de monsternemer latex handschoenen en na elke object wordt de guts ontsmet met 70% isopropyl alcohol. Voldoende droogtijd is in acht gehouden.
- De grondmonsters worden in zakken gedaan die gevuld zijn met een gewicht van ongeveer 500 tot 800 gram. Deze zakken zijn direct naar Hogeschool Inholland in Delft of meteen naar Amsterdam gebracht, om ze daar in een vriezer te plaatsen bij een temperatuur van -20°C.

Grondmonsters zijn genomen op onderstaande momenten:

1. Oktober (groenbemester, alleen in 2022)
2. Februari/maart
3. April/mei
4. Juni (rooien)

Resultaten

Veldwerk

Het onderzoek is uitgevoerd over de periode van twee teeltseizoenen. Tussen de twee teeltseizoenen in is verder gewerkt aan methode ontwikkeling op gebied van DNA-sequensen, bio-informatica en interpretatie van het resultaat. We bespreken de veldwerkresultaten daarom in drie fases:

- Fase 1: jan 2022 tot juli 2022
- Fase 2: sept 2022 tot feb 2023
- Fase 3: feb 2023 tot sept 2023

Het veldwerk in Fase 1 (jan 2022 tot juli 2022) is vastgelegd in het studentenrapport “Biomonitoring van bodemleven in de bollenteelt” (Lijster en Meeuwisse, 2022). Er zijn geen statistisch betrouwbare verschillen gevonden.

Laboratorium werk

Naamgeving van de bodemmonsters voor eDNA analyse:

In dit project hebben we over de periode van 1 jaar een totaal van 56 bodemmonsters gestoken van de 3 verschillende percelen en daarvan hebben we het microbiom gesequenced en geanalyseerd. De samples zijn op 4 momenten in het jaar genomen om het verloop van het microbiom door het jaar heen te volgen en we hebben momenten gekozen die voor, tijdens en na de hyacintenteelt liggen, te weten op 16 februari, 13 april, 15 juni en 23 september. Deze monsternames, worden batches genoemd en aangeduid met **B1, B2, B3 en B4**, resp.

Van deze monsters is het bacteriële microbiom bepaald door voorafgaand aan het sequencen een **16S** amplificatie uit te voeren. Daarnaast is ook het schimmel microbiom gesequenced en deze monsters worden met de code **ITS** aangeduid.

Voor **Batch 1,2 en 3** zijn bodemmonster verzameld van verschillende percelen:

- 1) Bolontsmetting:
 - **Onbehandeld**
 - **Biologische bol ontsmetting**
 - **Chemische bol ontsmetting**
- 2) Teeltfrequentie:
 - **1:4** rotatieteelt
 - **1:10** rotatieteelt
- 3) Totaal Gewas Aanpak (**TGA**)

Tevens hebben we in Batch 1,2 en 3 een 4tal monsters genomen per bolbehandeling, als herhaling om de variatie binnen een bolbehandeling te kunnen meten. Deze samples worden aangeduid met **onb1-4, bio1-4, chem1-4**.

In Batch 4 hebben we mengmonsters genomen van alle behandelingen, aangeduid als **mix**. Daarnaast is van Batch 4 op de verschillende bolbehandelingen een Whole Genome Sequencing methode toegepast om al het DNA in de bodem te sequencen en daarna met een metagenomics database (de KRaken2 PlusPFP) is de aanwezigheid van het bacteriële microbiom geïnventariseerd. Dit wordt aangegeven met **WGS**. Dit stelt ons in staat om 2 verschillende sequencing procedures, 16S en WGS met elkaar te vergelijken.

Een voorbeeld van de aanduiding van een monstername is dan **B1 16S onb1**. Dit staat voor Batch 1, bacterieel microbiom, onbehandelde bol en het eerste van de 4 samples van de herhaling.

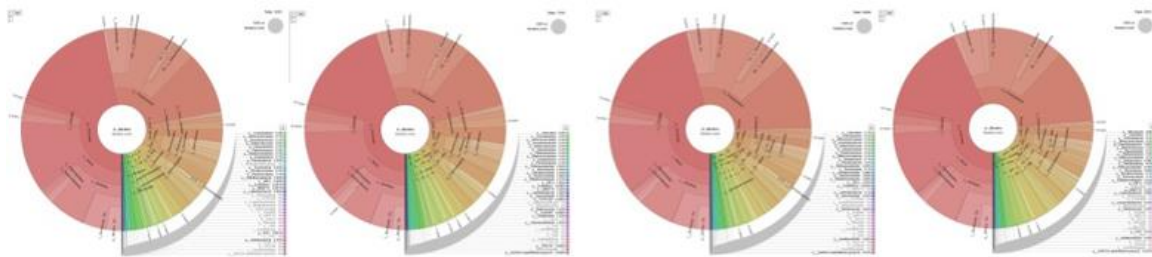
De resultaten van sequencing, classificatie en visualisatie worden weergegeven in KRONA Pie Charts. Alle afzonderlijke microbiom analyses zijn weergegeven in de bijgevoegde ppt **Bodem_KRONA Pie Charts batch 1 2 3 4v20231102.pptx**

Enkele opmerkelijke resultaten uit dit onderzoek zijn:

- De microbiom analyses laten zien dat de bacteriële samenstelling van de verschillende herhalingen binnen dezelfde bolbehandeling maar heel weinig van elkaar verschillen.

Verschillende herhalingen binnen de bolbehandeling chemisch

B2 16S chem1– 4 (dias 29,30,31,32)

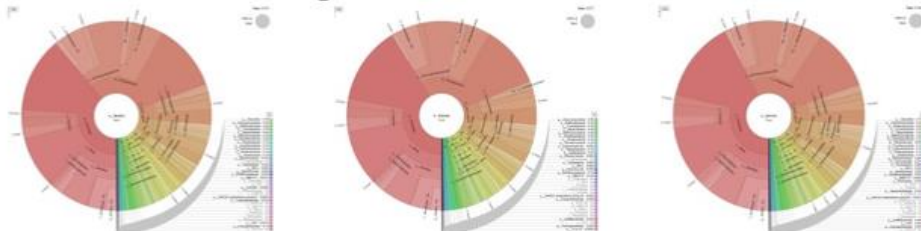


- De microbiom analyses laten zien dat de bacteriële samenstelling tussen verschillende bolbehandelingen maar heel weinig van elkaar verschillen.

Verschillende bolbehandelingen Batch 2 : B2 16S onb1, biol1, chem1 (dias 21,25,29)



Verschillende bolbehandelingen Batch 3: B2 16S onb2, biol2, chem2 (dias 41,45,49)

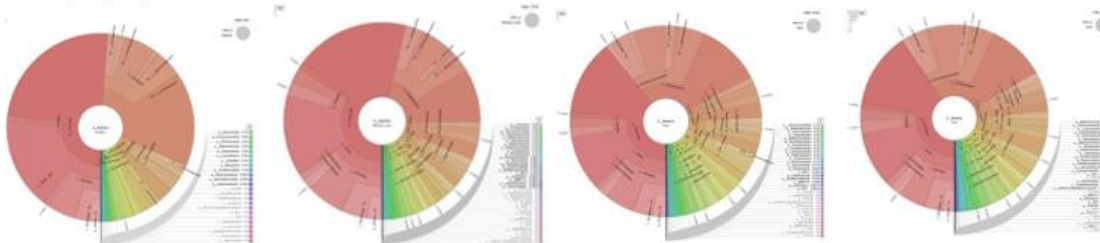


- Gedurende het jaar zijn er verschillen te zien in de bacteriële samenstelling tussen de batches 1-4 van de verschillende bolbehandelingen. Te zien is dat het aantal Proteobacteriën toeneemt gedurende het jaar en het aantal Firmicutes afneemt.

Wel moet opgemerkt worden dat het aantal reads van Batch 1 aan de lage kant is vergeleken met B2, 3 en 4. De gegevens van B1 zijn daarom minder betrouwbaar.

Jaarrond, B1, B2, B3, B4 16S onb1

dias 3, 21, 40, 54



Jaarrond, B1, B2, B3, B4 16S chem4

dias 14, 32, 51, 56



- Er zijn verschillen gevonden in bacteriële samenstelling tussen de verschillende veldbehandelingen TGA, 1:4 en 1:10. In het TGA veld is een hoger aantal Proteobacteriën gevonden.

Veldbehandeling, TGA, 1:4 en 1:10 in B1 (boven) en B2 (beneden)

B1 dias 15,16,17 en B2dias: 33, 34, 35

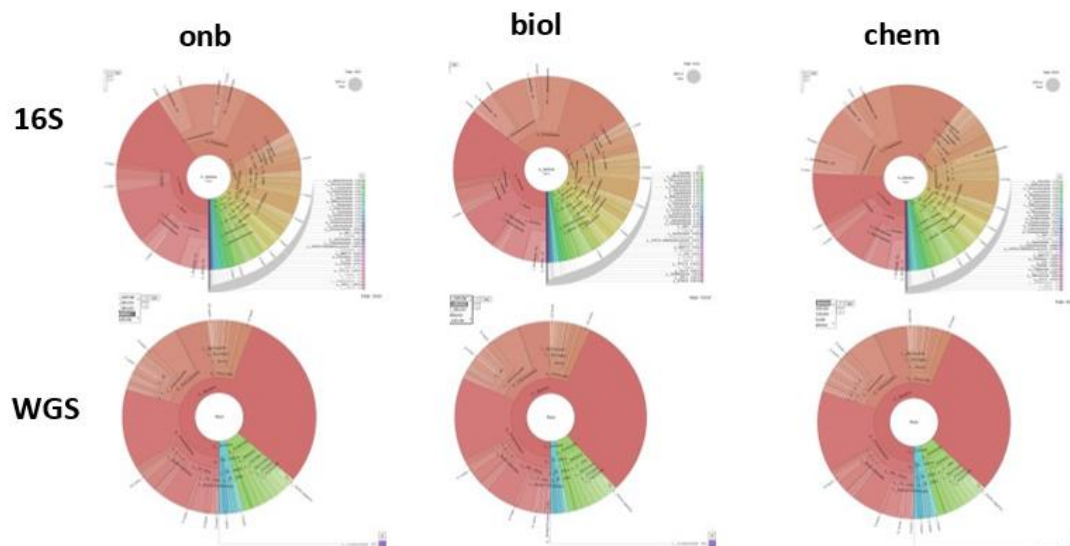


De verschillende sequencing procedures 16S en WGS geven beiden een ander beeld van de bacteriële samenstelling van de bodemmicrobioom. In grote lijnen komen de

samenstellingen wel overeen, maar het is duidelijk dat bij 16S sequencing meer verschillende bacteriële soorten geïdentificeerd kunnen worden. Wat betreft de aantallen en verhoudingen tussen de bacteriële soorten is de WGS meer betrouwbaar omdat er geen bias gecreëerd wordt door een PCR amplificatie die sommige bacteriesoort kan bevoordelen of benadelen.

Vergelijking 16S PCR amplificatie (boven) met WGS (onder) in Batch 4, onb, biol en chem

16S dias 54,55,56 en WGSdias 58,59,61



- Gedurende het project is de read count (het aantal DNA moleculen dat gesequenced is, enorm toegenomen wat de betrouwbaarheid van de identificatie van bacteriesoorten enorm verbeterd heeft. In de eerste Batch de aantal bacteriën dat geïdentificeerd kon worden nog aan de lage kant is, < 5000 reads. In de loop van het project is onze expertise en de methode aanzienlijk verbeterd en zijn deze aantallen verhoogd in Batch 2 naar 10.000 -20.000 reads, en in Batch 3 en 4 naar 20.000- 30.000 reads. De WGS monsters hebben zelfs aantallen van 50.000- 100.000 reads.

Functionele analyse van het bodemmicrobioom

Om de functies van de verschillende micro-organismen te onderzoeken en hun rol in het bodem microbiom te kunnen bepalen heeft een groepje van 5 Green Junior studenten van Inholland, Delft, onderzocht wat de functies van de meest voorkomende bacterie soorten zijn door middel van een literatuurstudie. Dit is te vinden in het verslag: Analysis of the microbiome in Hyacinth cultivation. Daarna heeft Christiaan van de Heide (student Landscape & Environment Management, Inholland Delft) voor zijn afstudeerproject de bacteriën ingedeeld in 4 verschillende ecologische functiegroepen, die voor de bodem van belangrijke zijn.

De definitie van een ecologische functiegroepen is als volgt:

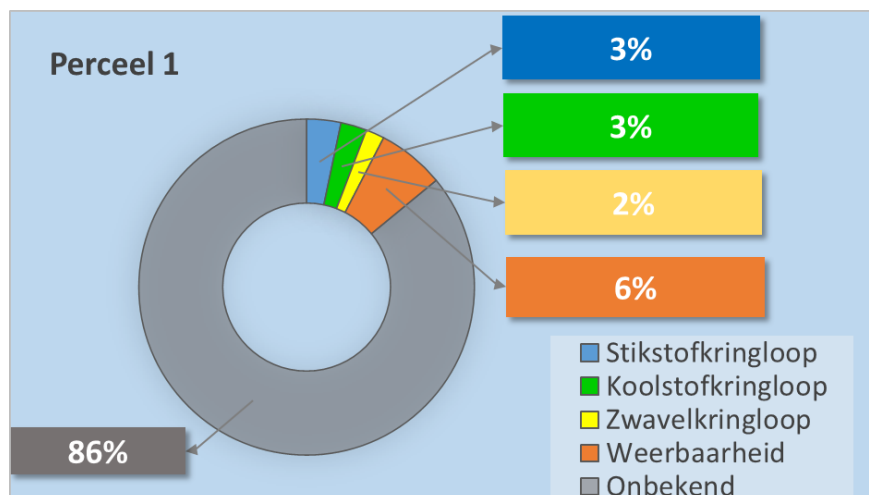
“Ecologische functies zijn relevant voor de processen in een ecosysteem, zoals primaire productie, afbraak, nutriëntenkringloop en emergente eigenschappen die volgen uit de interacties tussen soorten en de complexe interacties tussen de biotische en abiotische onderdelen van het systeem”

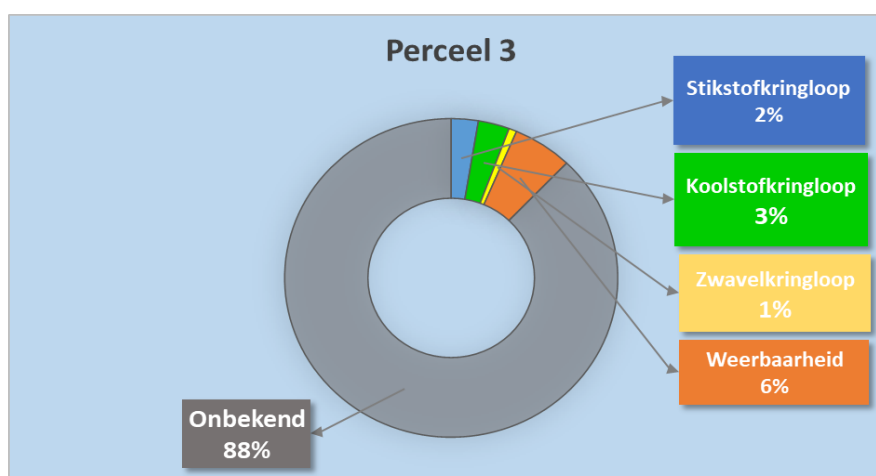
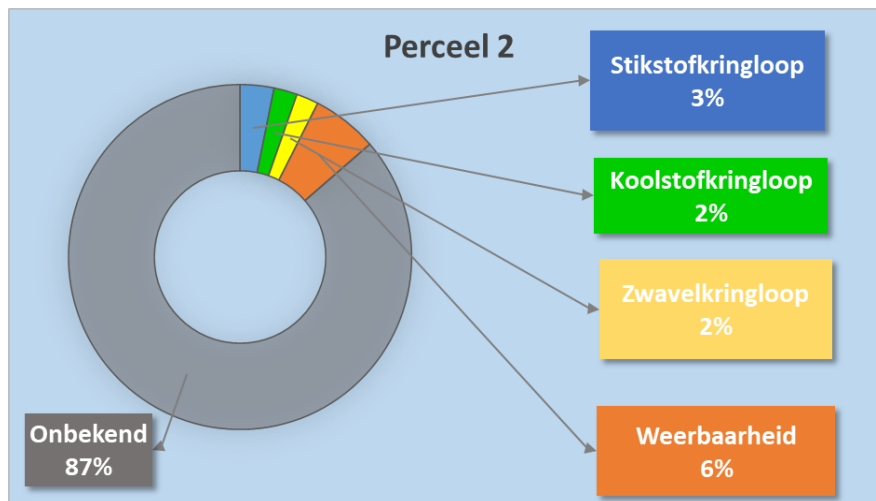
De aanwezige bacteriën zijn in de volgende 4 ecologische functiegroepen ingedeeld en daarin zijn ook weer aparte functies te onderscheiden:

1. Stikstofkringloop
 - Stikstoffixatie
 - Nitrificatie
 - Denitrificatie
2. Koolstofkringloop
 - Afbraak organisch materiaal
 - Koolstofvastlegging
3. Zwavelkringloop
 - Zwavelreductie
4. Bodemweerbaarheid
 - PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria)
 - Antimicrobieel
 - Antischimmel
 - Ziektewering

Voor deze functionele analyse zijn de microbiom gegevens van Batch1 van een Perceel1 , 2 en 3 per perceel onderzocht en gemiddeld. Op het oog verschilden de bacteriële gemeenschappen binnen een perceel niet erg van elkaar en op deze manier kon er een inschatting gemaakt worden van de aanwezige bacteriën binnen een geheel perceel. De locaties van de 3 verschillende percelen is aangegeven in figuur 20. Voor Perceel 1 zijn de microbiom gegevens van de onbehandelde bollen, biologisch behandelde bollen en de chemisch behandelde bollen samengevoegd. Voor Perceel 2 zijn de microbiom gegevens van de teeltfrequenties 1:4 en 1: 10 samengevoegd. Perceel 3 bevat alleen de gegevens van de Totaal Gewas Aanpak. Dit levert een totale hoeveelheid bacterie soorten in Perceel 1 op van: 5.696, in Perceel 2 van 8.191 en Perceel 3 van 10.038 reads.

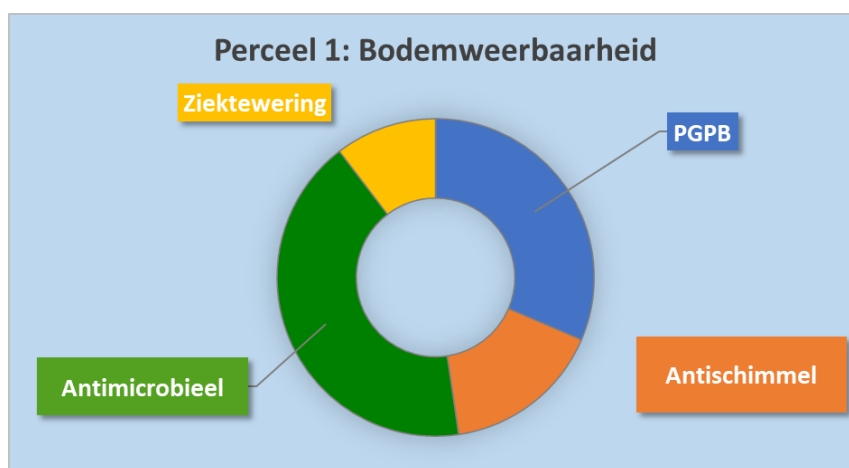
De verdeling van de aantallen bacteriën die aan de hierboven benoemde ecologische functiegroepen voldoen zijn hieronder weergegeven voor perceel 1, 2 en 3. Het aantal bacteriën dat in deze ecologische functiegroepen valt is bescheiden in relatie tot de gehele populatie (totaal 12- 14%). De functies van de overige bacteriën in de dataset zijn nog niet bekend of niet relevant voor deze analyse.

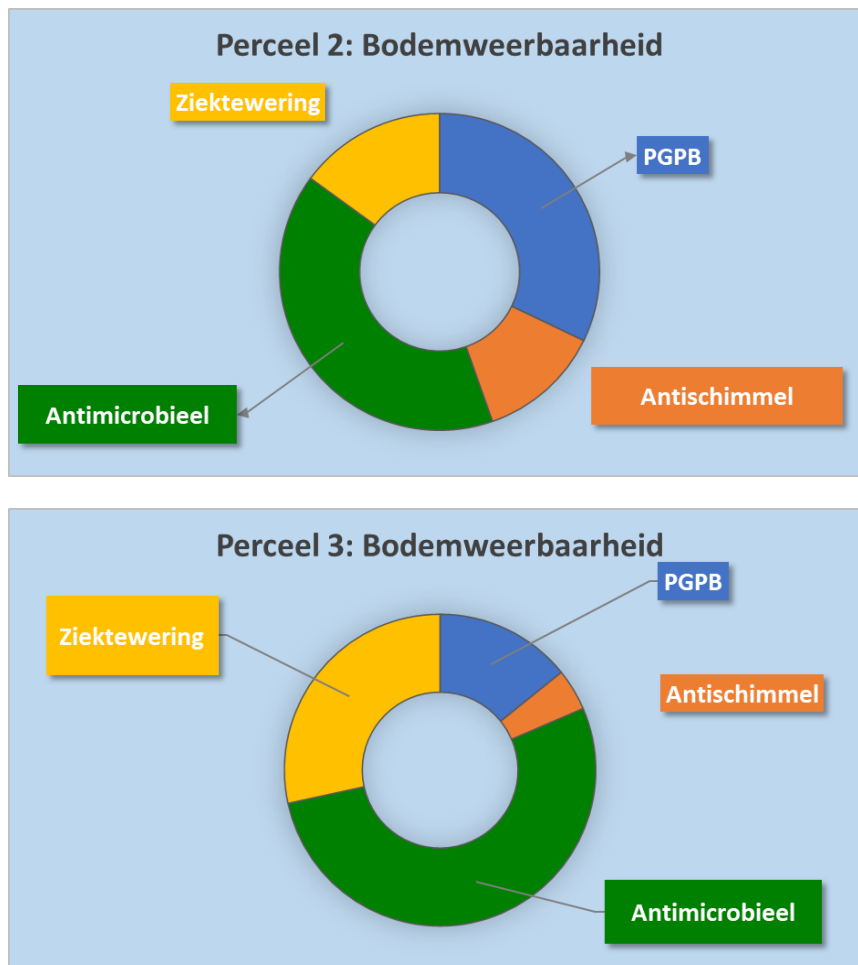




We zien tussen de percelen kleine variaties in het percentage bacteriën binnen de ecologische functiegroepen van hooguit 1% en omdat onze 16S sequencing methode niet kwantitatief is, is dit verschil verwaarloosbaar. Wat wel duidelijk is, is dat het % bacteriën die in de classificatie bodemweerbaarheid vallen, in alle 3 de percelen rond de 6% ligt en daarmee duidelijk hoger is dan de andere 3 ecologische functie groepen.

Als we echter verder inzoomen op de onderverdeling van ecologische functies in de functiegroep bodemweerbaarheid zien we toch meer duidelijke verschillen in de aantallen bacteriën betrokken bij ziektevering, PGPB, antimicrobieel- en antischimmel-werking tussen de 3 percelen.





Perceel 1 en 2 hebben een nagenoeg hetzelfde profiel, echter in Perceel 3, dat de behandeling totaalgewas aanpak (TGA) heeft is het aantal bacteriën met een ziekteverende werking duidelijk groter. Dat gaat ten koste van het aantal bacteriën met een PGPB en antischimmel werking. Ook het aantal bacteriën met een antimicrobiële werking lijkt hoger in Perceel 3.

Het is nog te vroeg om deze andere verhoudingen in het bodemweerbaarheidsprofiel van Perceel 3 toe te kunnen schrijven aan de behandeling van Perceel 3, maar het is zeker een trend om in de gaten te houden in vervolgonderzoek.

Discussie

Tijdens het onderzoek kwamen de volgende discussiepunten naar voren:

- De reads van alle monsters van B1 en van B3 16S bio1 en B3 16S bio3 zijn aan de lage kant, tussen de 50 en 6026 reads en beschouwen we nu niet meer als heel betrouwbaar en hebben we zoveel mogelijk buiten de resultaten bespreking gehouden.
- Er is nog discussie over de voor- en nadelen van het gebruik van 16S PCR amplificatie en WGS voor de identificatie van bacteriële gemeenschappen. WGS is een meer kwantitatieve methode en de aantallen bacteriën in een sample kunnen met elkaar vergeleken worden. Daarbovenop kan je met WGS sequencing ook, zonder opnieuw te hoeven sequencen, de schimmel gemeenschap en eukaryoten gemeenschap identificeren en analyseren. Dat scheelt tijd als je in meerdere microbiomen geïnteresseerd bent. Met 16S sequencen kan je echter meer soorten bacteriën identificeren, en de data analyse is sneller.
- Vaststaat dat de technieken voor 16S en WGS niet door elkaar gebruikt kunnen worden omdat ze beiden een ander profiel te zien geven. Het is wel mogelijk om verschillende

percelen behandelingen/samples met behulp van een van beide methoden te analyseren en te vergelijken.

- Het gebruikersgemak voor de uitvoer van een methode en de kosten die gemaakt worden voor een bepaalde methode en de tijd die het duurt om deze methode uit te voeren worden dan belangrijke factoren. Ook wordt dan de vraag welke microbiomen (bacterieel, schimmel of eukaryoot) van belang zijn in een 'gezonde' (tuinbouw) bodem, belangrijk. Dit is nog niet voldoende bekend en vraagt om nader onderzoek.
- Er is een begin gemaakt met de data analyse en identificatie van de schimmel populatie in de bodem monsters. Van alle samples is wel de ITS PCR uitgevoerd en deze zijn gesequenced, maar de data analyse kan nog niet naar tevredenheid uitgevoerd worden. De pipeline voor het gebruik van de bestaande schimmeldatabase is voor deze identificatie nog niet voldoende. Er is discussie om zelf een database op te gaan zetten. Dat kost echter veel tijd en konden we niet meer realiseren in dit project.
- Met de toewijzing van bacteriën uit het bodemmicrobioom aan 4 ecologische functiegroepen hebben we een belangrijke stap voortuit gezet naar de duiding van het aanwezige microbiom en om daarmee de teler inzicht te geven in de gesteldheid van de bodem. Met dit inzicht kunnen we handelingsperspectief aan de teler geven. Dat handelingsperspectief kan gebaseerd zijn op het anders behandelen van de bodem, bv rotatieteelt of gewas aanpak; andere (bol) ontsmetting/ ziektebestrijding toe te passen; of door biostimulanten aan de bodem toe te voegen die het microbiom beïnvloeden. Wat de effectiviteit is van deze verschillende behandelingen kunnen we nog niet inschatten, daarvoor is meer onderzoek nodig.

Conclusie

Het doel van dit project was het opzetten van een methode om de biodiversiteit van het microbiom in de bodem in kaart te brengen via next generation sequencing met Nanopore en om een functionele analyse van het bodem microbiom te maken. Dat is gelukt.

- We hebben een goede en betrouwbare methode opgezet om DNA uit grondmonsters te isoleren.
- We hebben goede protocollen en primers ontwikkeld om een 16S PCR amplificatie op bodemsamples uit te voeren om DNA van bacteriën te vermeerderen.
- We hebben goede protocollen en primers ontwikkeld om een ITS PCR amplificatie op bodemsamples uit te voeren om DNA van schimmels te vermeerderen.
- We hebben goede protocollen en procedures opgezet om DNA te sequencen met Nanopore technologie met behulp van de MinION.
- We hebben een goede pipeline ontwikkeld om het gesequencede DNA te analyseren en te inventariseren met de Silva database voor classificatie en visualisatie van de bacteriële samenstelling van de bodem.
- Er is een begin gemaakt met de indeling van het bacteriële microbiom van een perceel in ecologische functiegroepen. Wij hebben daarvoor 4 functiegroepen gedefinieerd: Stikstof kringloop, Koolstofkringloop, Zwavelkringloop en Bodemweerbaarheid. Met daarin weer onderscheid voor verschillende functies binnen een kringloop.
- De ecologische functiegroepen indeling vormt het startpunt voor het geven van handelingsperspectief voor telers.

Bibliografie

Berkhof, F., de Kleer, D., Lunenburg, R., Yang, T., & van der Heijde, C. (2023). *Analysis of the microbiome in hyacinth cultivation*. Delft: Hogeschool Inholland.

De Coster, W., D’Hert, S., Schultz, D. T., Cruts, M., & Van Broeckhoven, C. (2018). NanoPack: visualizing and processing long-read sequencing data. *Bioinformatics*, 34(15), 2666–2669. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty149>

De Coster, W. & Rademakers, R. (2023). NanoPack2: population-scale evaluation of long-read sequencing data. *Bioinformatics*, 39(5). <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btad311>

de Lijster, S., & Meeuwissen, P. (2022). *Biomonitoring van bodemleven in de bollenteelt*. Delft: Hogeschool Inholland.

Heijde, C. (2023). *Monitoring van het microbiom in de bollenteelt*. Delft: Hogeschool Inholland.

Quast, C., Pruesse, E., Yilmaz, P., Gerken, J., Schweer, T., Yarza, P., Peplies, J., & Glöckner, F. O. (2012). The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Research*, 41(D1), D590–D596. <https://doi.org/10.1093/nar/gks1219>

Shen, W., Le, S., Li, Y., & Hu, F. (2016). SeqKit: a Cross-Platform and ultrafast toolkit for FASTA/Q file manipulation. *PLOS ONE*, 11(10), e0163962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163962>

Tedersoo, L., Bahram, M., Põlme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., Villarreal-Ruiz, L., Vasco-Palacios, A. M., Thu, P. Q., Suija, A., Smith, M. E., Sharp, C., Saluveer, E., Saitta, A., Rosas, M., Riit, T., Ratkowsky, D. A., Pritsch, K., Põldmaa, K., . . . Abarenkov, K. (2014). Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346(6213). <https://doi.org/10.1126/science.1256688>

Wood, D. E., Lu, J., & Langmead, B. (2019). Improved metagenomic analysis with Kraken 2. *Genome Biology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13059-019-1891-0>

Dit project is mede mogelijk gemaakt door:



Alm Regio 15 B.V.

Binn'ndieks

Maatschap M. & G.J. Oosterhuis



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

