

Toepassing van bodemscans voor precisielandbouw

Vergelijking van bodemscans in Lemelerveld



Ferry Tigchelhoff
Sylvan Nysten
Corné Kempenaar
Johan Booij

13 juli 2021
Definitief



Toepassing van bodemscans voor precisielandbouw

Een bodemscanvergelijking op zandgrond

Datum:
13 juli 2021

Plaats:
Dronten, Flevoland, Nederland

Opgesteld door:
Ferry Tigchelhoff, Onderzoeksassistent
Corné Kempenaar, Lector precisielandbouw
Sylvan Nysten, Docent-onderzoeker
Aeres Hogeschool Dronten

Mede auteur:
Johan Booij, Onderzoeker
Wageningen Research

Opgesteld voor:
Nationale Proeftijd Precisielandbouw (NPPL)

Met dank aan:
Misset uitgeverij B.V.
Huetink lelies en bloembollen B.V.



Samenvatting

Vanuit de ondernemers van Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL) kwam de vraag om verschillende sensorsystemen voor het maken van bodemscans/-kaarten te vergelijken op één en hetzelfde perceel. De vraag speelt met name in op wat de nauwkeurigheid van de bodemscans is en wat mogelijke toepassingen van de verkregen bodeminformatie zijn. Aanbieders van bodemscans gebruiken momenteel verschillende sensorsystemen. Wat de precieze nauwkeurigheid is van deze systemen, is niet altijd duidelijk voor de eindgebruikers. Door op één perceel de sensorsystemen te vergelijken, is getracht om dit in een praktijksituatie inzichtelijk te maken. Door in drie achtereenvolgende jaren het onderzoek te repliceren op verschillende grondsoorten, is geprobeerd de nauwkeurigheid van de verschillende bodemscans in verschillende gebieden van Nederland in kaart te brengen. Hierbij zijn de volgende sensorsystemen en leveranciers van bodemscans/-kaarten meegenomen, op een zelfde wijze als in een onderzoek in 2018 en 2019:

- BioScope remote sensing (BioScope)
- Drone / satellite imaging (Aurea Imaging / Dronewerkers)
- SoilXplorer (CNH)
- Passieve gamma-straling bodemscanner (Loonstra & van der Weide)
- Dualem 21 S bodemscanner (Soil Masters)
- Veris MSP3 bodemscanner (Vantage Agrometius)

Om de nauwkeurigheid van de bodemscans te analyseren, zijn er in maart 2020 op een zandgrondperceel in Lemelerveld (Overijssel) een aantal bodemscans uitgevoerd. Daarbij is de leveranciers gevraagd om, indien mogelijk, digitale kaarten van de ruimtelijke variatie in organische stof, lutum en pH op te leveren. In dezelfde periode zijn op het perceel grondmonsters genomen en deze zijn geanalyseerd op organische stof, lutum en pH in een bodemanalyse-laboratorium. De nauwkeurigheid van geleverde kaarten is bepaald met regressieanalyse. De data van de bodemscans is vergeleken met de data van de referentiemonsters. Per kaart zijn twee statistische parameters bepaald: de RMSE en R^2 . Aan de hand van deze parameters plaatsen we de nauwkeurigheid van de bodemscankaarten in perspectief.

Vier van de zes sensorsystemen zijn normaliter in staat om zowel pH, lutum als organische stof kaarten aan te leveren. Vanwege de lage lutumgehalten in het perceel in Lemelerveld heeft in 2020 slechts één bedrijf een lutumkaart aangeleverd. De resultaten van de vergelijking tonen dat het proefperceel in Lemelerveld het verband tussen bodemscan en referentiemonster middels de R^2 slecht tot matig aantoonbaar is. De locaties van de vijftig referentiemonsters waren random verdeeld over het perceel, maar niet gelijkmatig. Dit heeft ertoe geleid dat er weinig tot zeer weinig referenties in de lage organische stofklasse beschikbaar zijn en dit waarschijnlijk tot een lager R^2 en hogere RMSE heeft geleid voor de organische stofkaarten van de bodemscans in vergelijking tot de referentiemonsters.

De R^2 voor de organische stofkaarten van Aurea Imaging, Loonstra en Vantage Agrometius lag op respectievelijk 0.05, 0.07, 0.25 met een RMSE van respectievelijk 0.91, 1.63 en 1.75. De R^2 voor de pH kaarten lagen voor diezelfde aanbieders op respectievelijk 0.04, 0.00 en 0.48 met een RMSE van respectievelijk 0.19, 0.20 en 0.15 pH-punt.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1.	Bodemfactoren & precisielandbouw	5
1.2.	Bodescanmethodes & bodemkaarten	5
1.3.	Onderzoeksvraag	8
2	Materiaal en methode	9
2.1.	Ligging en bodem van het proefperceel	9
2.2.	Vergelijkingsmethode	10
3	Resultaten	12
3.1.	Referentiemonsters	12
3.2.	Bioscope	14
3.3.	Dronewerkers	14
3.3.1.	pH	14
3.3.2.	Organische stof	15
3.4.	Loonstra & Van der Weide	16
3.4.1.	pH	17
3.4.2.	Organische stof	18
3.4.3.	Lutum	18
3.5.	Vantage Agrometius	19
3.5.1.	pH	19
3.5.2.	Organische stof	20
3.6.	Samenvattingstabellen statistiek	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4	Overige resultaten Elektromagnetische inductie scanners	23
4.1.	CNH Industrial	23
4.1.1.	Vergelijking	23
4.1.2.	Resultaat	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2.	Soil Masters	26
4.2.1.	Werkwijze	26
4.2.2.	Wat wordt er opgeleverd	27
4.2.3.	Vervolgonderzoek	29
5	Discussie	30
5.1.	Kaartmethoden	30
5.2.	Lutumkaarten	32
5.3.	Verdeling referentiemonsters	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
6	Conclusie en aanbevelingen	33
7	Referenties	35

1 Inleiding

Nederland is de tweede grootste [NS1]landbouwexporteur van landbouwproducten ter wereld dankzij o.a. een zeer productieve en efficiënte landbouwsector. Het overgrote deel van de productie wordt geëxporteerd. En zo draagt de Nederlandse land- en tuinbouw bij aan wereldwijde voedselzekerheid. Maar er is een keerzijde. Om in de toekomst ook voldoende opbrengst van percelen te kunnen halen, en tegelijkertijd de ongewenste neveneffecten van de productie omlaag te brengen, is het noodzakelijk om o.a. efficiënter om te gaan met de hulpmiddelen, emissies te minimaliseren en biodiversiteit te optimaliseren. Precisielandbouw [NS2] (PL) is hierbij een belangrijke pijler om te komen tot de gewenste situatie van kringlooplandbouw (KLL). PL is een bedrijfs-managementconcept waarmee zo goed mogelijk op de ruimtelijke en temporele variatie binnen een perceel of gewas gestuurd wordt binnen bedrijfseconomische en maatschappelijke kaders.

Om de variatie in bodems en/of gewassen in kaart te brengen, zijn nauwkeurige en kosteneffectieve sensorsystemen nodig. Een voorbeeld van dergelijke sensorsystemen zijn bodemscansystemen die o.b.v. metingen met sensoren en slim datagebruik bodemkaarten leveren. Al enkele jaren zijn deze systemen op de markt, maar er zijn ook nog veel vragen over de kwaliteit, bruikbaarheid, inpasbaarheid, kosten en baten. Het project Nationale Proeftuin Precisielandbouw (NPPL) heeft in 2018 in een veldproef een eerste vergelijkend warenonderzoek gedaan op zavel grond aan producten van leveranciers van bodemkaarten (Nysten & Kempenaar, 2019). In 2019 is het onderzoek herhaald op een andere grondsoort, te weten kleigrond met een zandkop. In 2020 is het onderzoek nogmaals op zelfde wijze herhaald op zowel dalgrond in Valthermond als zandgrond in Lemelerveld. De resultaten en bevindingen van het zandgrond perceel in Lemelerveld worden in dit rapport beschreven.

1.1. Bodemfactoren & precisielandbouw

Om gewasgroei op percelen te optimaliseren, is het belangrijk om alle bodemfactoren ruimtelijk en in de tijd goed in kaart te hebben. Hier kan namelijk op ingespeeld worden met bijvoorbeeld invulling van plantdichtheid, onkruidbestrijding en bemesting. Om inzicht te krijgen in de variatie in de bodem zijn er verschillende meetmethodes c.q. bodemscansystemen op de markt. De oudste en meest gangbare meetmethode is het nemen van grondmonsters van het perceel en deze als mengmonster te laten analyseren met een klassieke chemische analysemethode in een laboratorium. Hierbij wordt er globaal per 5 ha een grondmonster 'geprik't en als mengmonster geanalyseerd. Het aantal te nemen monsters per ha is situatie- en regelgeving-specifiek. Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de bodem van een perceel, kan er gebruik worden gemaakt van grid-bemonstering en sensoren/scanners (Heijting et al., 2010). Hierbij wordt het perceel opgedeeld in kleinere blokken (grids) en wordt er per grid een monster genomen en geanalyseerd. Meer en dus kleinere grids per perceel levert vaak een nauwkeuriger beeld van het perceel. Het nadeel van het toepassen van veel grids (> 10) is dat de kosten snel kunnen oplopen per perceel. Een tussenweg is grondmonsters verzamelen in 3 – 5 homogene eenheden/zones binnen het perceel. Om deze zones in kaart te brengen kan bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van een bodemscan of satellietbeelden. Dergelijke scans zijn in deze vergelijking ingezet. Zo kan je met zone-specifieke bemonstering en geo-statistiek in veel gevallen kosten-effectiever een voldoende nauwkeurige bodemkaart maken. Zonering kan met kennis van de boer, maar dat is moeilijk te objectiveren. In plaats daarvan worden steeds vaker de bodemscan-sensoren gebruikt om zonering te doen voor de bemonstering. Ieder bedrijf kiest daar vaak een eigen methode voor. De gekozen methode is afhankelijk van hoe nauwkeurig het perceel in kaart dient te worden gebracht.

1.2. Bodemscanmethodes & bodemkaarten

Er zijn verschillende bodemscanmethodes op de markt (Kempenaar et al, 2018). Sensorsystemen die over het veld rijden en van dichtbij meten werken over het algemeen op basis van één of meerdere van de volgende meetprincipes [NS3]: elektrische geleidbaarheidsmetingen, gamma straling, spectrale-

reflectiemetingen of een zuurgraad-meting (de pH van het bodemvocht). Sensorsystemen die op grotere afstand meten, zoals drone- of satellietwaarnemingen, werken over het algemeen met standaard kleurencamera's of met multi-spectrale camera's die spectrale-reflectie ook buiten het zichtbare gebied meten. Vanuit de meetwaarden van de sensoren (de ruwe sensordata) kunnen via rekenregels kaarten gemaakt worden die informatie over ruimtelijke variatie van organische stof, lutum of pH geven. Sommige aanbieders bieden andere parameters aan. In dit onderzoek richten we ons op de parameters organische stof, lutum en pH. Als er meer parameters aangeboden worden, dan maken we daar kort melding van in dit rapport.

Vanuit de deelnemers van NPPL kwam in 2018 de vraag om de verschillen tussen en nauwkeurigheid van bodemscansystemen te onderzoeken. Het onderzoek moet een beter beeld geven van de verschillende scanmethodes en welke het beste gebruikt kunnen worden op specifieke grondsoorten. Opvolgend op de in 2018 uitgevoerde proef op een perceel met zavelgrond in Ens (Nysten & Kempenaar, 2019; NPPL, 2018), hebben we de proef^[NS4] in 2019 op eenzelfde wijze uitgevoerd op een kleigrondperceel in Slootdorp. Het perceel in Ens was een lichte zavelgrond in de Noordoost Polder. Het onderscheidend vermogen van de proef in Ens was gering omdat er relatief weinig variatie was in de bodemparameters binnen het perceel. De proef is in 2019 daarom herhaald op een kleigrond met meer variatie in de Wieringermeer. Om de scanresultaten voor heel Nederland te kunnen generaliseren, zijn in 2020 wederom verschillende bodemscans op dezelfde wijze vergeleken op een dalgrondperceel in Valthermond (Drenthe) én een zandgrondperceel in Lemelerveld (Overijssel). In 2020 worden de volgende bodemscansystemen vergeleken (met tussen haakjes de leverancier):

- Drone sensing (Aurea Imaging / Dronewerkers)
- BioScope remote sensing (BioScope)
- SoilXplorer (CNH)
- Passieve gamma-straling bodemscanner (Loonstra & van der Weide)
- Dualem 21 S bodemscanner (Soil Masters)
- Veris MSP3 bodemscanner^[NS5] (Vantage Agrometius)

Hieronder worden de verschillende sensorsystemen kort toegelicht.

Dronewerkers / Aurea Imaging **drone sensing** heeft de optie om een dronevlucht uit te voeren of gebruik te maken van historische satellietbeelden. Voor het perceel in Valthermond is een dronevlucht over het perceel uitgevoerd. Voor het scannen wordt een Parrot sequoia multispectraal sensor gebruikt. De vier multispectraal banden in de sensor zijn 550nm (groen), 660nm (rood), 735nm (Red Edge) en 790nm (Nabij infrarood, NIR).

Het bedrijf BioScope levert een seizoen lang informatiekaarten voor een perceel gebaseerd op **satelliet- en dronebeelden**. Onderdeel van de BioScope service is een bodemzone kaart. Op basis van een selectie aan winter-satellietbeelden van de kale bodem wordt o.a. met infrarood een analyse van de bodem gemaakt die vervolgens bewerkt worden tot bodemzonekaarten. De bodemzone kaart zoals die geleverd wordt, geeft inzicht in de ruimtelijke variatie in bodemstructuur^[NS6] binnen het perceel en kan daarmee gebruikt worden voor variabele dosering van bodem-gerelateerde behandelingen als bodemherbicide-spuiten, compost toedienen of plaats specifiek zaaien en poten. Ook kan er gekozen worden om met behulp van de bodemzone kaart per zone grondmonsters te nemen of een profielkuil te graven. Door middel van referentiemonsters kunnen bodemkaarten geleverd worden die informatie geven over ruimtelijke variatie in het klei, organische stof, CEC, Kalium en pH mits deze waarde een duidelijke ruimtelijk structuur kennen.

De **SoilXplorer** van CNH is een scanner die elektromagnetische geleidbaarheid van de bodem meet. De scanner meet de bodem op 4 verschillende dieptes: 0-0.25, 0.15-0.60, 0.55-0.95 en 0.85-1.15 meter. Bij deze scanner wordt er van uitgegaan dat de geleidbaarheid van de bodem hoger wordt naarmate er meer klei, vocht, organische stof (o.s.) en/of zouten in de bodem aanwezig zijn. De scanner hangt ongeveer 30 tot 40 centimeter boven het bodemoppervlak in de hef (voor of achter) en kan daarom bij een bewerking op het land scannen terwijl een andere werkzaamheid wordt uitgevoerd. De SoilXplorer is ISO-bus

compatibel en daarmee ook in staat om real-time een werktuig aan te sturen. CNH levert geen kaarten die de pH, o.s. of lutumgehalten direct weergeven. De SoilXplorer is alleen in staat om de geleiding in de bodem in kaart te brengen. CNH levert kaarten van geleidingsmeting op de vier genoemde dieptes plus een Depth to Interface kaart (aanduiding op welke diepte een verdichting of verandering in de bodemstructuur zit), een Tillage kaart, welke de optimale bewerkingdiepte bepaald, een kaart die het relatieve watergehalte weergeeft en een zoneringskaart, waarbij de gebruiker zelf het aantal zones kan bepalen. CNH levert geen pH, lutum en organische-stofkaarten.

Voor het inzichtelijk krijgen van de bodem maakt het bedrijf Loonstra & van der Weide gebruik van de **Passieve Gamma sensor**. De resultaten van de sensoren worden gekalibreerd door middel van vier grondmonsters per perceel. Tijdens het scannen meet de bodemscanner de gammastraling van de bodem in het bereik van 0-3 Mega elektron Volt (MeV). Deze methode van scannen is een voortzetting van de scanner "De Mol" zoals die in 2001 door "The Soil Company" is ontwikkeld. Hoe hoger de meetwaarde, hoe hoger het organische^[NS7]-stof en/of lutum-gehalte. De sensor hangt doorgaans in de hof achter van een trekker ca. 30-40 cm boven het grondoppervlak. De rapportage die geleverd wordt door Loonstra & van der Weide met behulp van de scanner geeft informatie over de hoogteligging van het perceel, de grondsoort en de gemeten gammastraling. Verder bevat de rapportage kaarten van de variatie in nutriënten, de textuur en risico's zoals uitspoelingsgevoeligheid of slempgevoeligheid.

Soil Masters maakt gebruik van een **Dualem 21 S** systeem. Dit systeem kan worden gezien als een sensor op een slee die achter een trekkend voertuig door het veld getrokken wordt. De sensor bestaat uit een magneet die geleidbaarheid meet. De geleidbaarheid wordt gemeten op verschillende dieptes, namelijk op 0.25m, 0.50m, 0.75m en 1.50m diepte. Deze scan levert voor kleigrond geen directe pH, organische stof en lutum kaarten (meer). Wel wordt een hoogtekaart van het perceel, een extremen kaart, een histogram met de frequenties van de gemeten geleiding en een EC-bodemkaart geleverd. De EC-bodemkaart dient als input voor het genereren van de zonekaart bestaande uit vier zones. Per zone wordt één grondmonster gestoken welke wordt geanalyseerd bij Kinsey-Albrecht. De gemeten EC waarden correleren naar eigen zeggen goed met de bodemparameters van de Kinsey-Albrecht analyses.^[NS8] Belangrijk doel is het bodemvruchtbaarheidsniveau en homogeniteit van het perceel te verhogen door correctie van vooral, maar niet alleen, de calcium- en magnesiumbezetting aan het klei-humus complex (CEC).

De **Veris MSP3** bodemscanner is in Nederland geïntroduceerd door Vantage Agrometius. Deze bodemscanner kan in één werkgang via drie verschillende sensoren bodemvariabelen meten en de hoogteligging van een perceel in kaart brengen. De scanner is als het ware een werktuig wat in de hef van de trekker hangt en over het land getrokken wordt. Er kan met een snelheid van 8-10 km/h gereden worden. De bodemtextuur wordt in kaart gebracht door de elektrische geleidbaarheid van de bodem te meten. Dit gebeurt op twee verschillende dieptes, namelijk van 0-30cm en 0-90cm. De geleidbaarheid (EC) van de grond is afhankelijk van een aantal factoren in de bodem. Over het algemeen is de geleidbaarheid hoger naarmate er meer klei, vocht, o.s. en zouten in de grond zitten. Aan de hand van de geleidbaarheid levert Veris een lutumkaart. De Veris MSP3 bodemscan is tevens uitgerust met een sensor die pH kan meten. Hierbij wordt steeds een stuk grond tegen de sensor gehouden voor een bepaalde tijd. De derde sensor is een NIR-sensor waarmee organische stof (o.s.) bepaald kan worden. Op basis van de resultaten van de scan kunnen een aantal kaarten geleverd worden. Voor kleigronden zijn dat kaarten met het o.s. gehalte, lutumgehalte, hoogtekaart, CEC en de EC van 0-30 cm diepte en van 0-90 cm diepte. Op zandgronden wordt daarnaast de pH kaart geleverd. De variatie wordt geduid via zonekaarten van de betreffende parameters.

1.3. Onderzoeksvraag

In dit project is ervoor gekozen om, net zoals in de voorgaande proeven in 2018 en 2019, te focussen op beoordeling van hoe goed de bodemscansystemen de variatie binnen een perceel op het gebied van lutum, pH en organische stof in kaart brengen. Het resultaat van ons onderzoek moet als basis kunnen dienen voor het inschatten van de kwaliteit van de sensorsystemen.

Doordat dit project een herhaalonderzoek is, is dezelfde onderzoeksvraag als in het vorige onderzoek gebruikt:

Welk bodemscansysteem levert de meest betrouwbare en bruikbare informatie voor precisielandbouw?

Bij iedere bodemscanmethode is er geanalyseerd wat de nauwkeurigheid is van de aangeleverde kaarten van pH, organische stof en lutum. Dit betreft de sensorsystemen van Aurea Imaging, Loonstra & van der Weide, Vantage Agrometius en Bioscope (zie voor resultaten hoofdstuk 3). Niet alle systemen konden deze kaarten leveren. In dat geval hebben we voor die sensoren een overzicht gegeven van de kaarten die ze wel leveren. Bioscope heeft voor de bodemscanvergelijking in Lemelerveld de kaarten teruggetrokken, omdat onvoldoende beeldmateriaal beschikbaar was om representatieve kaarten uit op te maken. Soil Masters heeft de pH, lutum en organische stof kaarten op basis van nieuwe bedrijfsstrategie teruggetrokken. Ook CNH levert deze kaarten niet. Wel heeft CNH de door hen gegenereerde kaarten opgeleverd ter vergelijking met indringingsweerstand. De toepassing, eventuele kaarten of vergelijkingsmateriaal van Soil Masters en CNH staan in hoofdstuk 4 van dit rapport.

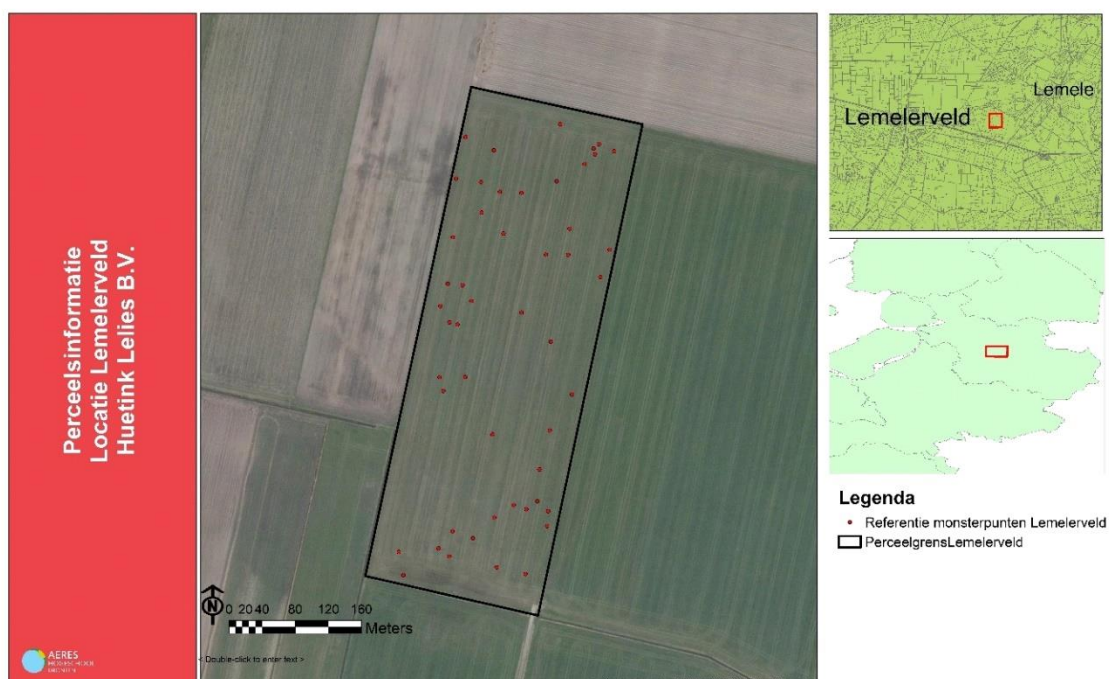
De analysemethode is [NS9]zo veel mogelijk gelijk gehouden aan die van de eerste proef binnen deze reeks bodemscanvergelijkingen. De onderlinge vergelijkbaarheid doen we dus alleen op basis van de nauwkeurigheid van geleverde pH, lutum en organische stof kaarten.

2 Materiaal en methode

De vergelijking is uitgevoerd op een zandperceel van ca 5 ha groot. Het perceel ligt bij Lemelerveld en is in gebruik door NPPL deelnemer Huetink Lelies B.V. Op 30 maart en 1 april 2020 zijn vier fysieke bodemscans uitgevoerd en hebben drie overige bedrijven op een ander moment het perceel in kaart gebracht. In dezelfde periode zijn op het perceel vijftig grondmonsters genomen ter validatie van de kaarten van de bodemscans. In november is er een dronevlucht uitgevoerd over het perceel en is gebruik gemaakt van satellietbeelden van het perceel. De ligging van het perceel en de locaties van monsternamen zijn te zien Figuur 1. De monsterlocaties zijn met simple random sampling geografisch verdeeld en met een RTK-gps in het veld uitgezet. De monsters zijn in een straal van 1 meter rondom de locatie gestoken (mengmonster van 15 steken tot 25 cm diep).

2.1. Vooronderzoek ligging en bodem van het proefperceel

In het gebied waar dit perceel gelegen is komt vooral leemarm, fijn zand aan de oppervlakte voor, het zogeheten jonge dekzand. In de ondergrond gaat dit over in het oude dekzand dat wat lemiger kan zijn met soms een tussenlaag van grof zand. Mogelijk komt er in de ondergrond keileem voor, echter afgaand op de bodemkaart is dat op dit perceel niet de verwachting. Daarnaast is er in de omgeving van het perceel op diverse plekken veen te vinden, soms ook (lokaal) in de ondergrond. De stuwwal van de Lemelerberg bevat bovendien grof zand/grind en door verspoeling in het verleden kan dit in de omgeving terecht gekomen zijn.



Figuur 1 Ligging van het onderzoeksperceel met de locaties van de grondmonsters ter referentie van de betrouwbaarheid van de verschillende bodemscans

Op de hoogtekartaat is verder duidelijk te zien dat er rondom die stuwwal een 'gordeldekzandrug' aan de oostkant is ontstaan die wat hogere en drogere zandgronden heeft gevormd. Die lijkt voor het perceel niet van belang, maar het gebied kenmerkt zich in het algemeen wel door een, voor Nederlandse begrippen, onrustig reliëf met ook nog veel stuifzand uit het recente verleden. Voeg

daar de plaggenbemesting, die in dit gebied sterk varieerde, uit het verleden aan toe en het is duidelijk dat de grond in dit gebied sterk kan variëren in grondsoort, organisch stofgehalte en de dikte van die laag met organische stof.

Op de bodemkaart van Nederland wordt de bodem aangeduid met de code Hn21 VI/VII. Dit wijst erop dat de grond als bodemtype een veldpodzol is. Dat is in dit geval een leemarme, fijne zandgrond waarin een bodemvormend proces heeft plaatsgevonden waardoor de bodem van nature relatief voedselarm en zuur is, en een inspoelingslaag van humus bevat. Dat laatste zorgt ervoor dat de beworteling beperkt kan zijn. Door plaggenbemesting of de aanwezigheid van veen kan de grond mogelijk toch wat organisch stofrijker zijn. De grondwatertrap laat zien dat deze gronden (ten tijde van de bodemkartering in elk geval) in de winter relatief nat zijn, maar in de zomer juist diepe grondwaterstanden hebben.

Via bodemdata.nl is een beschrijving van de bodemopbouw opgevraagd van een perceel in de omgeving van het onderzoeksperceel (zie tabel 2.1). Door de afstand ten opzichte van het perceel kunnen hier niet veel conclusies aan verbonden worden. Hieruit valt wel af te lezen dat er in de omgeving inderdaad veldpodzolgronden voorkomen met een storende laag (Bhe in de tabel) en in dit geval een venige bovenlaag. Op het onderzoeksperceel valt die venige laag minder snel te verwachten, dit boorpunt is namelijk genomen meer ten westen ten opzichte van de onderzoekslocatie. Desondanks geeft dit een indicatie van de te verwachten bodemklassen in de regio van het perceel.

Tabel 1 Profielbeschrijving van een boorpunt in de buurt van het onderzochte perceel.

Boor punt	laag nr	boven-grens	onder-grens	hor. code	geo info	org. stof %	lutum %	leem %	M50
		cm-mv	cm-mv						um
PFB.2497 jaar: 1985 X - Y: 221080 - 496680	1	0	25	Ap	Antropogeen	69 m	2.20 m	9.1 m	170 m
	2	25	45	Bhe	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	6 m		11	170
	3	45	60	BCu	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	0.5		9	175
	4	60	110	Cu	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	1.9 m	2 m	2.9 m	160 m
	5	110	120	Cu	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	2		14	140

[bodemdata.nl](https://www.bodemdata.nl)

Door diverse leveranciers zijn bodemscans of remote-sensing beelden van het betreffende perceel gemaakt. Daarbij is gevraagd om, indien mogelijk, kaarten van de pH, het organische stofgehalte en het lutumgehalte op te leveren.

2.2. Vergelijkingsmethode

De beoordeling van de nauwkeurigheid van de bodemkaarten van de verschillende bodemscansystemen is uitgevoerd door middel van een vergelijking van data uit de kaarten met data van de referentie grondmonsters. De op het proefperceel verzamelde referentie grondmonsters zijn geanalyseerd door het Eurofins Agro lab in Wageningen. De referentiemonsters werden verzameld op 30 maart 2020. De analyseresultaten zijn in een Excel-file aangeleverd bij Aeres voor gebruik in de analyse.

De fysieke scans zijn op 30 maart 2020 of 1 april 2020 uitgevoerd. De niet-fysieke bodemscans zijn later in het jaar uitgevoerd, naar eigen inzicht van de scanbedrijven. De bodemscanbedrijven hebben vervolgens de bodemkaarten gemaakt via hun eigen methodieken. De kaarten zijn in het voorjaar of de zomer van 2020 als shapefile, *Tagged Image File (TIFF)* [NS10]Format of ISO-XML file aangeleverd bij Aeres voor gebruik in de analyse. Dit kan een vlakkenkaart, puntenkaart of zonekaart betreffen, afhankelijk van de keuze van de leverancier.

Vervolgens zijn de kaarten en bijbehorende gegevens in de periode juni 2020 tot en met oktober 2020 geanalyseerd en vergeleken. De statistiek onder de analyse is gebaseerd op regressie analyse. De absolute [NS11]nauwkeurigheid van de bodemscansystemen wordt bepaald door de afwijking van de kaart van het scansysteem te bepalen ten opzichte van de referentiemonsters via de RMSE statistiekparameter.

De analysewaarden van de referentiemonsters worden in deze vergelijking als de werkelijke waarden gezien in deze vergelijking. Er zijn op basis van een 'simple random sampling' bepaling vijftig GPS locaties in het proefperceel uitgezet. De GPS locaties zijn middels een RTK-GPS tijdens de dag van de uitvoering van de bodemscans door medewerkers en studenten van Aeres Hogeschool Dronten opgezocht en bemonsterd. Zie Figuur 1 voor een projectie van de GPS locaties van de referentiemonsters. Het bemonsteren is gebeurd door handmatig 15 goed gevulde gutsen van 25 centimeter lengte in een straal van één meter rondom de GPS locatie te steken. Deze 15 gutssteken zijn in een monsterzak inclusief codering de dag na het steken ter analyse aangeboden aan Eurofins Agro laboratorium.

De analyse van de referentiemonsters is voor de organische stof en lutum gehalten met een NIRS (TSC) analyse bepaald. De pH is met een nat chemische (pH-CaCl₂) methode bepaald.

De verwerking van de gegevens wordt gedaan in drie stappen. Na ontvangst zijn de bodemscankaarten ingeladen in ArcGIS (een geografisch verwerking programma) om de kaarten te kunnen bekijken en om de scankaarten te beoordelen op de locaties waar de referentiemonsters zijn genomen. Onder beoordelen wordt verstaan dat op de locaties van de referentiemonsters handmatig, in ArcGIS, is bepaald welke waarde op de locatie van de referentiemonsters door de scankaarten is opgegeven of, wanneer de kaart volledig dekkend is, er gebruik is gemaakt van de functie 'Extract (multiple) values to points'. Wanneer een bedrijf een puntenkaart aan heeft geleverd, worden de vier dichtstbijzijnde punten rondom het referentiemonster gemiddeld tot de vergelijkingswaarde. In het geval van de extract functie is dit handmatig middelen niet nodig en wordt de onderliggende waarde gebruikt in de vergelijking. De gevonden waarden worden ingevoerd in Excel. Dit geldt voor elke scanwaarde dat door de scanbedrijven is aangeleverd.

Vervolgens zijn de kaartwaarden van de scanbedrijven op de locaties van de referentiemonsters vergeleken met de analyse uitslagen van de referentiemonsters. Hiervoor is een lineaire regressie toegepast tussen de sensorwaarden en de referentiewaarden voor pH, organische stofgehalte en lutumgehalte. Uit de lineaire regressie volgt het determinatiecoëfficiënt (R^2), die aangeeft hoe goed het verband tussen beide variabelen is. Dit levert een waarde tussen 0 en 1, waarbij 1 een perfect verband tussen beide variabelen aangeeft.

Hoe hoger de R^2 , des te beter de bodemscan in staat is om de waarden in de referentiemonsters te bepalen. In deze vergelijking wordt uitgegaan van vier ranges in de beoordeling van het verband. Een R^2 van lager dan 0,3 betekent dat de scanresultaten niet relevant zijn. Een R^2 van tussen 0,3 en 0,6 betekent dat er een overeenkomst tussen scan en referentiemonsters is, maar dat deze niet of nauwelijks bruikbaar is. Een R^2 tussen 0,6 en 0,8 geeft aan dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de bodemscan en de referentiemonsters, maar dat deze nog niet overtuigend kunnen worden aangetoond. En wanneer de R^2 gelijk is aan of hoger uitvalt dan 0,8 wordt gesteld dat de scan zeer goed bruikbaar is voor het bepalen van de bodemwaarde.

Naast de R^2 geeft de regressieanalyse ook de kans aan dat er een lineair verband is. Als deze kans binnen het betrouwbaarheidsinterval van 95% valt, dan is er een lineair verband te vinden. We hanteren daarom een grenswaarde van 5% onzekerheid, oftewel een P-waarde < 0,05. [NS12]

Tot slot is de gemiddelde afwijking van de scanwaarden ten opzichte van de lineaire regressielijn bepaald met de Root Mean Square Error (RMSE). De afwijking wordt in dit rapport weergegeven met absolute waarden. Hiermee kunnen de bodemscansystemen worden gerankt naar nauwkeurigheid in het leveren van ruimtelijke data voor precisielandbouw.

3 Resultaten

Om de data als lezer op een juiste manier te kunnen beoordelen en interpreteren zal eerst een algemeen beeld worden gegeven van de gemeten waarden in het perceel. In Tabel 2 zijn de algemene gegevens op het moment van bemonsteren uiteengezet voor de pH, organische stof en lutum. Op basis van deze gegevens kan worden gesteld dat het perceel een redelijk vlak pH-beeld [NS13] laat zien, terwijl de verdeling van o.s. kan worden gezien als bond. De verdeling van lutum is ook vlak, wat kan worden verklaard doordat het lutumgehalte in het perceel laag is.

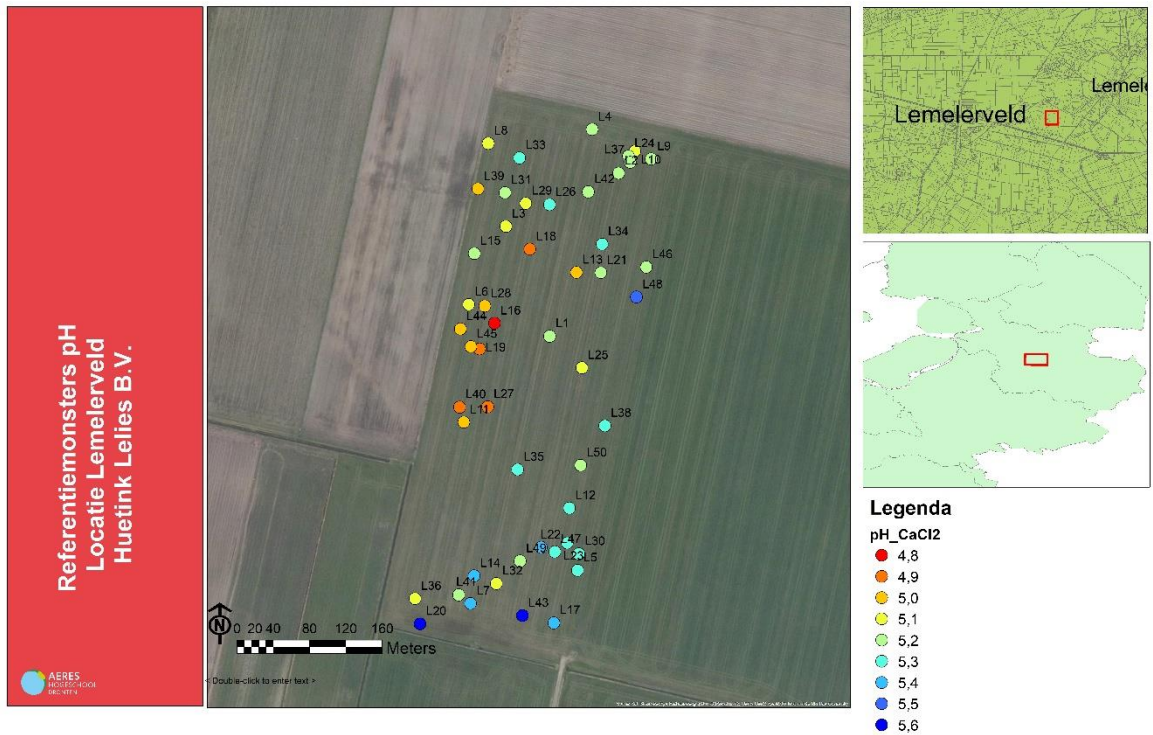
3.1. Referentiemonsters

Voor dit vergelijkingsonderzoek zijn 50 referentiemonsters gestoken in het proef perceel. Deze referentiemonsters worden in dit rapport als maatstaaf voor de bodemscankarten genomen. In Tabel 2 zijn de resultaten van de pH, organische stof en lutum in een tabel samengevat. De referentiemonsters zijn niet genomen om het perceel in kaart te brengen, al zal het gemiddelde nagenoeg overeenkomen met de daadwerkelijke perceelgemiddelden.

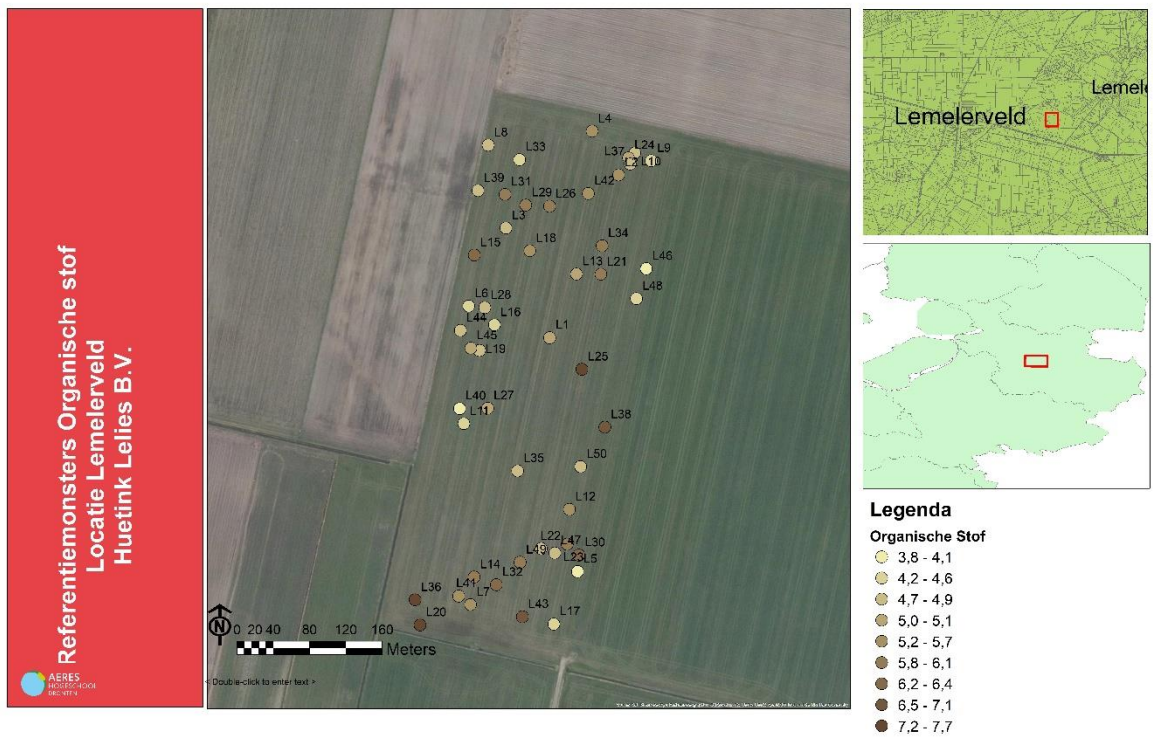
Tabel 2 Algemene meetwaarden perceel Lemelerveld gebaseerd op referentiemonsters gemiddelden

Lemelerveld	pH	Organische stof (%)	Lutum (%)
Minimum	4,8	3,8	1,0
Maximum	5,6	7,7	2,40
Gemiddelde	5,19	5,36	1,38
Mediaan	5,20	5,10	2,0
Standaarddeviatie	0,17	0,92	0,61

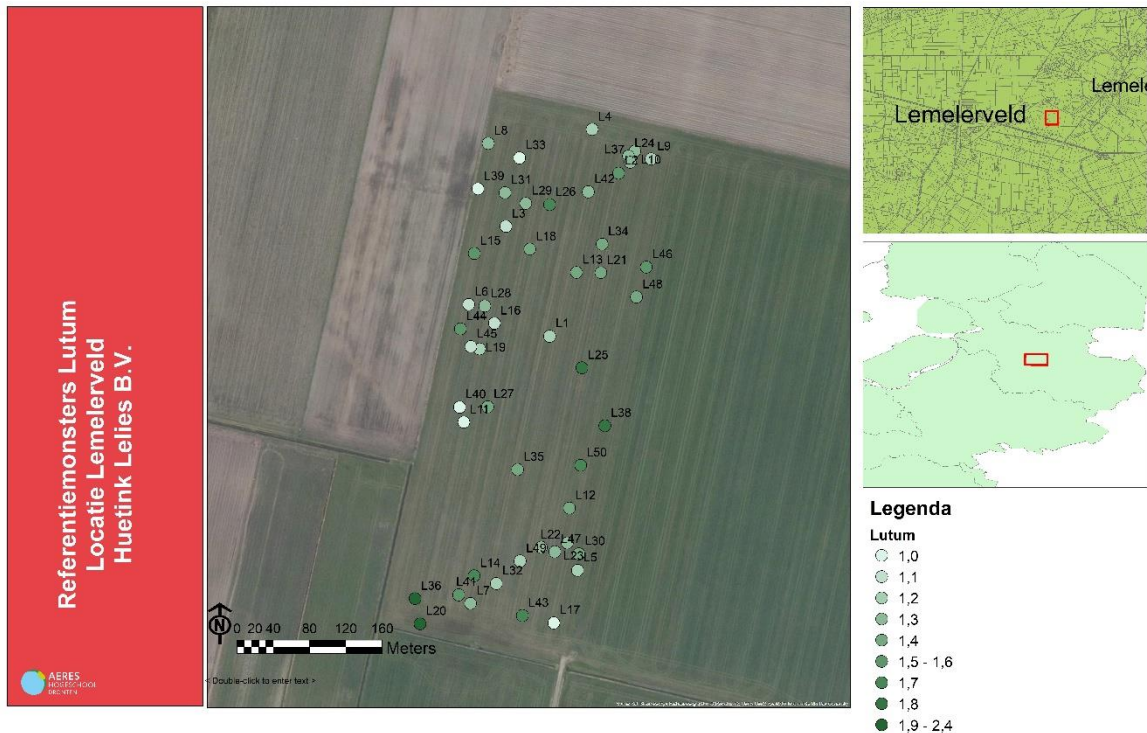
De gegevens uit Tabel 2 zijn gevisualiseerd zoals weergegeven in Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 in de vorm van een puntenkaart [NS14].



Figuur 2 Referentiemonsters pH puntenkaart



Figuur 3 Referentiemonsters organische stof puntenkaart



Figuur 4 Referentiemonsters lutum puntenkaart

Paragraaf 3.2 tot en met 3.5 geven de resultaten van de regressieanalyse van de aangeleverde kaarten van Bioscope, Aurea Imaging, Loonstra & Van der Weide en Vantage Agrometius weer. Paragraaf 3.6 vat de resultaten van deze scans samen betreffende de R^2 en RMSE.

3.2. Bioscope^[NS15]

Bioscope gebruikt voor het maken van de bodemkaarten satellietbeelden van een perceel. Het perceel in Lemelerveld is gescand middels meerdere jaren satellietbeelden en daarop zijn zones te onderscheiden. Beelden met wintergewassen zijn niet meegenomen. Aangezien dit perceel in Lemelerveld een blijvend grasland-perceel betrof waren er geen beelden van kale grond van voorgaande jaren beschikbaar. De hele analyse is dus gebaseerd op een beperkte set satellietbeelden. De analyse wijst uit dat de resultaten niet representatief zijn. De resultaten zijn daarom niet meegenomen in de rapportage van het perceel in Lemelerveld.

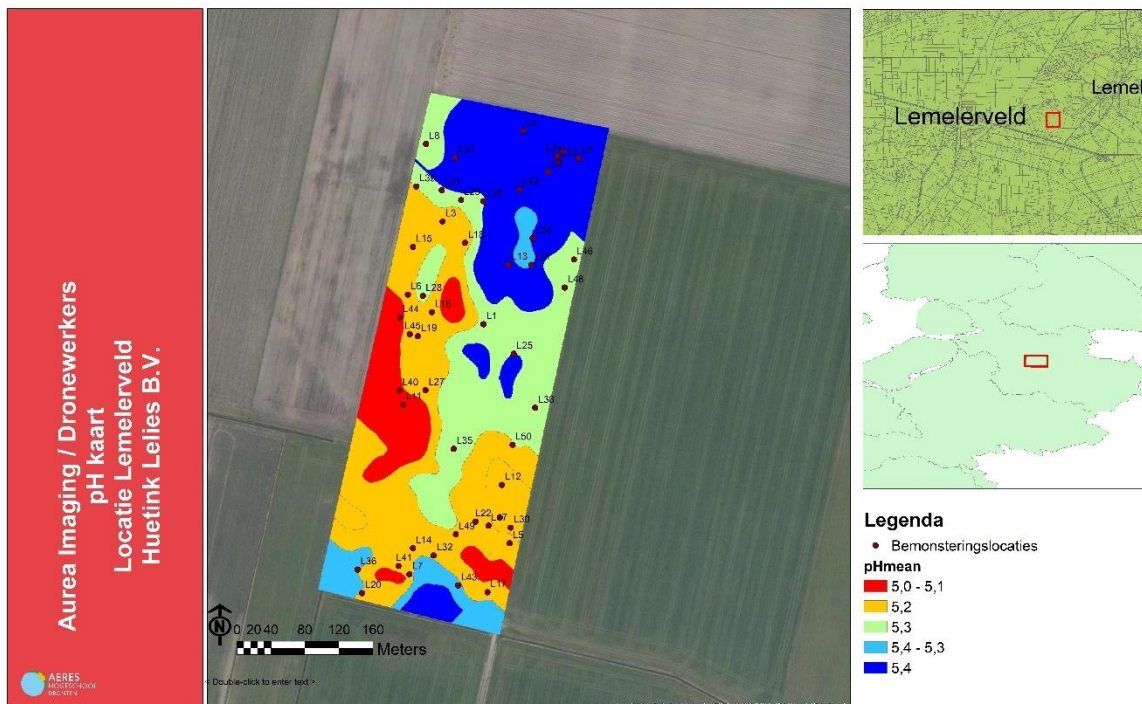
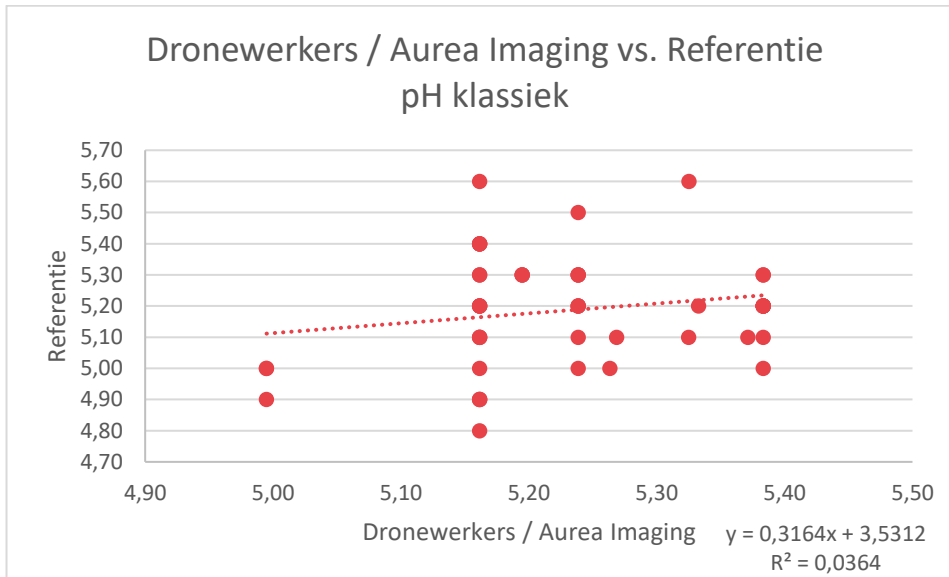
3.3. Aurea Imaging / Dronewerkers satellietbeelden

Om de pH en organische stof kaart van het proefperceel in Lemelerveld te maken, is er gebruik gemaakt van historische satellietbeelden van dit perceel. De beelden zijn verwerkt tot een pH en organische stof kaart. Voor de pH kaart vergelijking dient de kanttekening in acht te worden genomen dat vanwege het gebrek aan bruikbare satellietbeelden de pH kaart normaliter niet zou worden aangeboden in verband met een verminderde betrouwbaarheid. De vergelijkingsresultaten worden in deze paragraaf uiteengezet.

3.3.1. pH

De vergelijking van de pH kaart van Aurea Imaging / Dronewerkers met de referentiemonsters, geeft een R^2 van 0,04 met een bijbehorende absolute RMSE van 0,19. Op basis van de referentiemonsters is een gemiddelde pH 5,19 berekend met een standaard afwijking van 0,17. Vergelijking 1 geeft de spreidingsgrafiek van de vergelijking weer. Figuur 5 laat de pH zonekaart van het perceel in Lemelerveld zien.

Vergelijking 1 pH Dronewerkers / Aurea Imaging vs. referentiemonsters [NS16]



Figuur 5 pH zonekaart Dronewerkers / Aurea Imaging. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

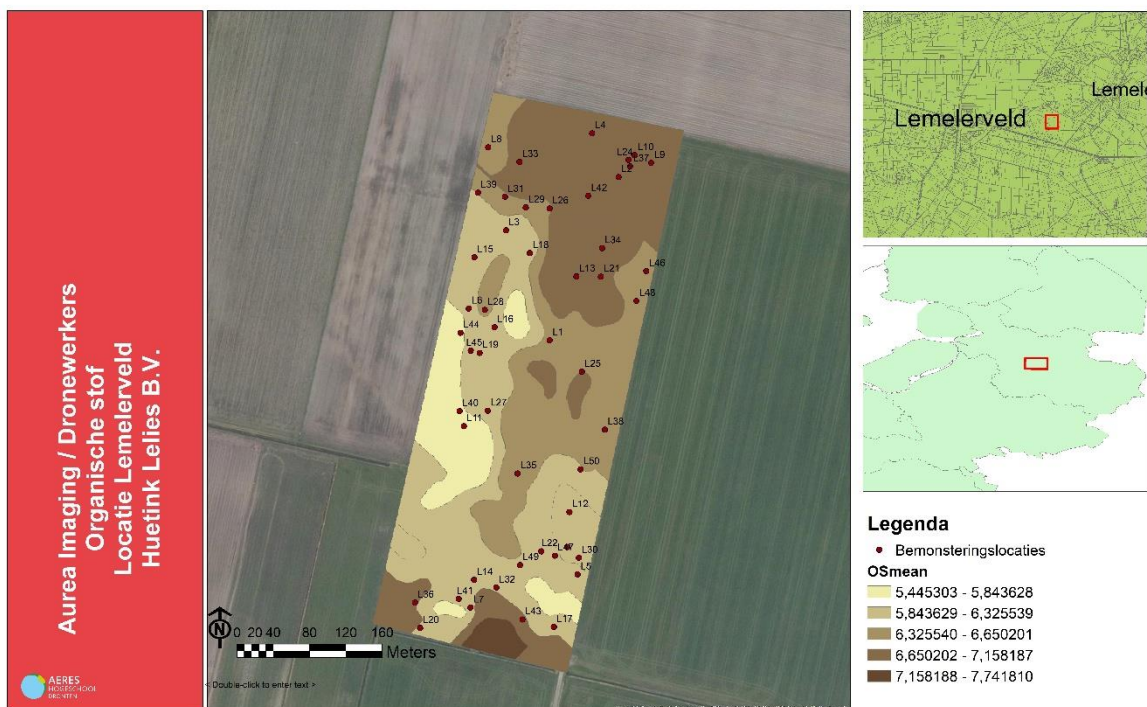
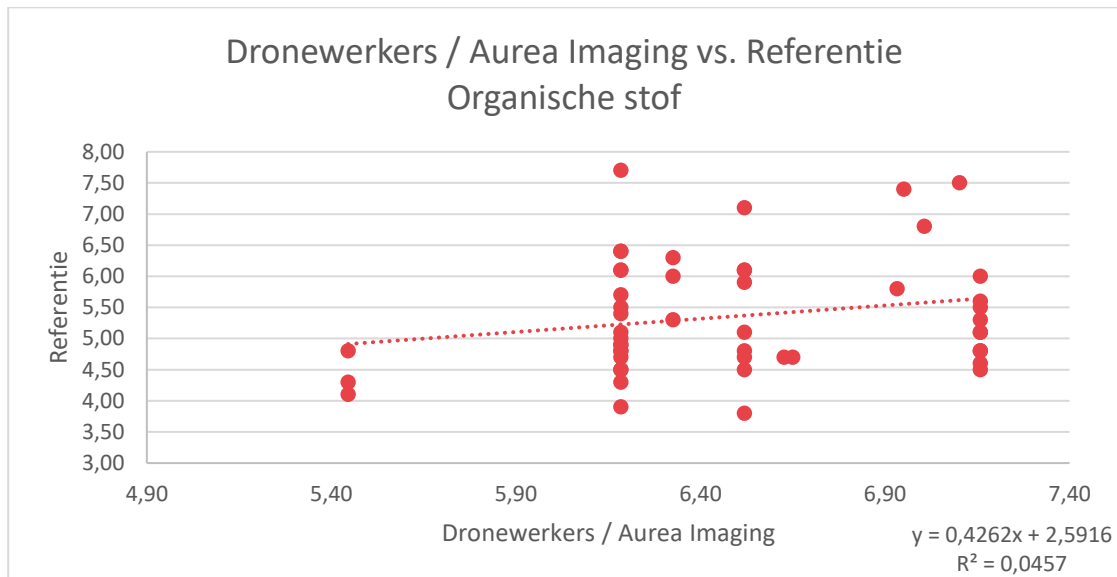
Aangezien in dit rapport de bodemscans worden vergeleken met 50 referentiemonsters, werd voor de resultaten van de vergelijking met deze zonekaart(en) de opmerking geplaatst of het vanwege de zonekaart niet beter is om de zongemiddelden van de referentiemonsters te vergelijken met de scanresultaten per zone. De vergelijking tussen referentiegemiddelden en scangemiddelden per zone is uitgewerkt in hoofdstuk 5 discussie van dit rapport [NS17].

3.3.2. Organische stof

In Vergelijking 2 wordt de spreidingsgrafiek van de vergelijking met de organische stof kaart van Dronewerkers / Aurea Imaging met de referentiemonsters weergegeven. Figuur 6 bevat de organische stof zone kaart. De vergelijking geeft een R^2 van 0,04 met een absolute RMSE van 0,16 als resultaat. Het

perceelgemiddelde voor de organische stof is uit de referentiemonsters berekend op 5,36% organische stof met een standaardafwijking van 0,92.

Vergelijking 2 Organische stof Dronewerkers / Aurea Imaging vs. referentiemonsters



Figuur 6 Organische stof zonekaart Dronewerkers / Aurea Imaging. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

3.4. Loonstra & Van der Weide

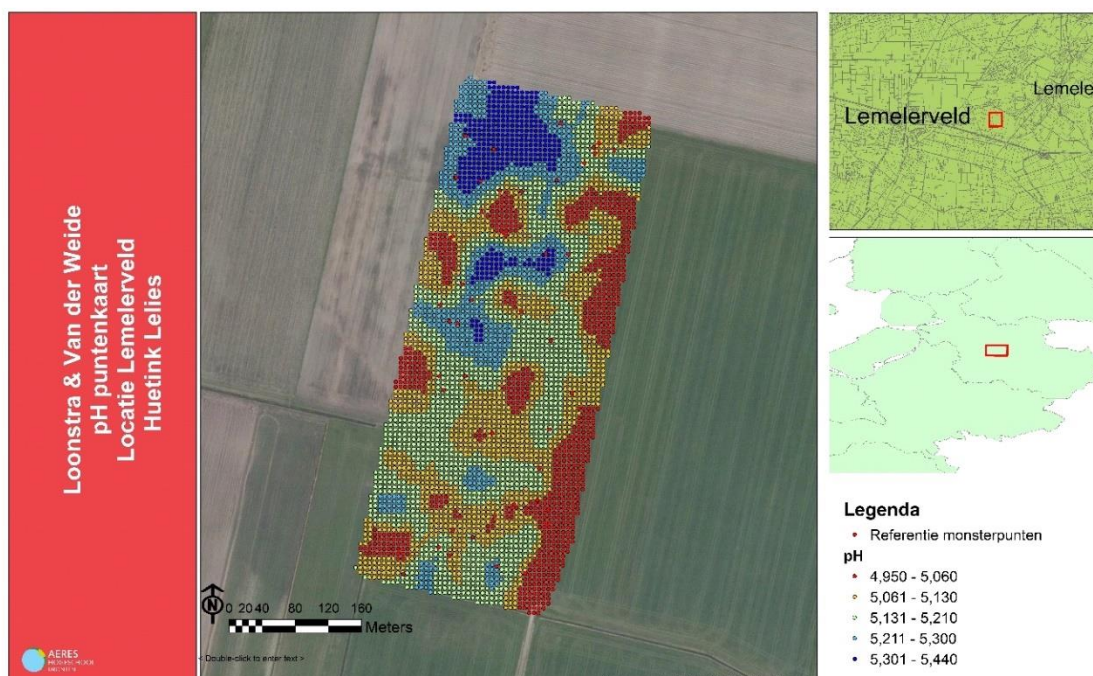
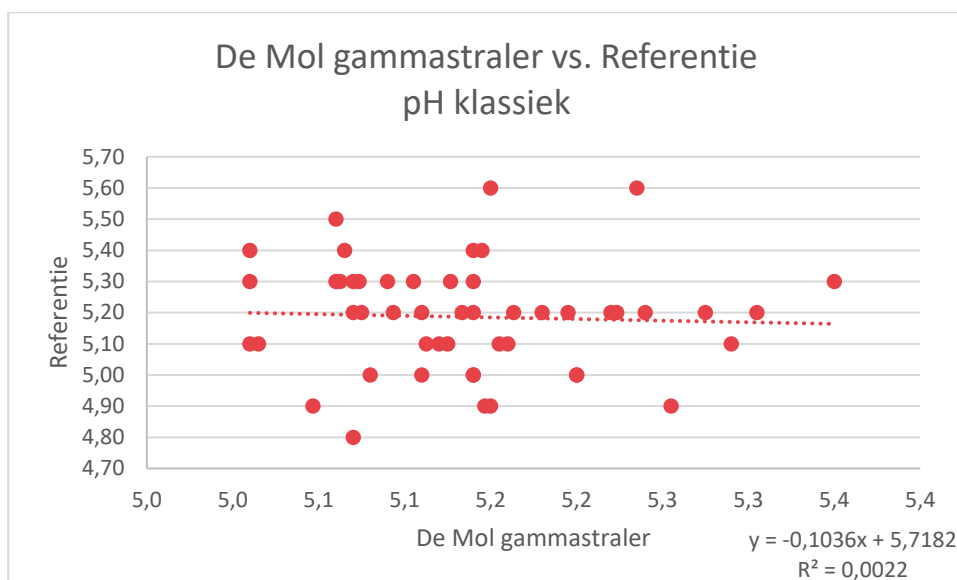
Het door Loonstra & Van der Weide uitgevoerde bodemonderzoek is uitgevoerd met de Mol Bodemscanner en heeft als doel het in kaart brengen van de heterogeniteit van de bodem in textuur en nutriënten. Het uitgevoerde bodemonderzoek bestaat uit het maken van een beschrijving van de bodem aan de hand van de bodemkaart van Nederland en het maken van een vlakdekkende bodemscan van de toplaag (0-30 cm) met de Mol Bodemscanner. Voor de kalibratie van de bodemscan zijn grondmonsters

genomen door Loonstra & Van der Weide zelf. De vergelijkingen met de door Loonstra & Van der Weide aangeleverde pH, organische stof en lutum kaarten zijn in onderstaande paragrafen nader uitgewerkt.

3.4.1. pH

Vergelijking 3 geeft de vergeleken waarden ten opzichte van elkaar weer in een spreidingsgrafiek. De vergelijking van de pH waarden op de referentielocaties in het perceel met de door Loonstra & Van der Weide bepaalde pH waarden op dezelfde locaties in het perceel geeft een R^2 van 0,00 en een RMSE van 0,20. Figuur 7 toont de visuele puntkaart welke is gebruikt in de vergelijking.

Vergelijking 3 pH Loonstra & Van der Weide vs. referentiemonsters

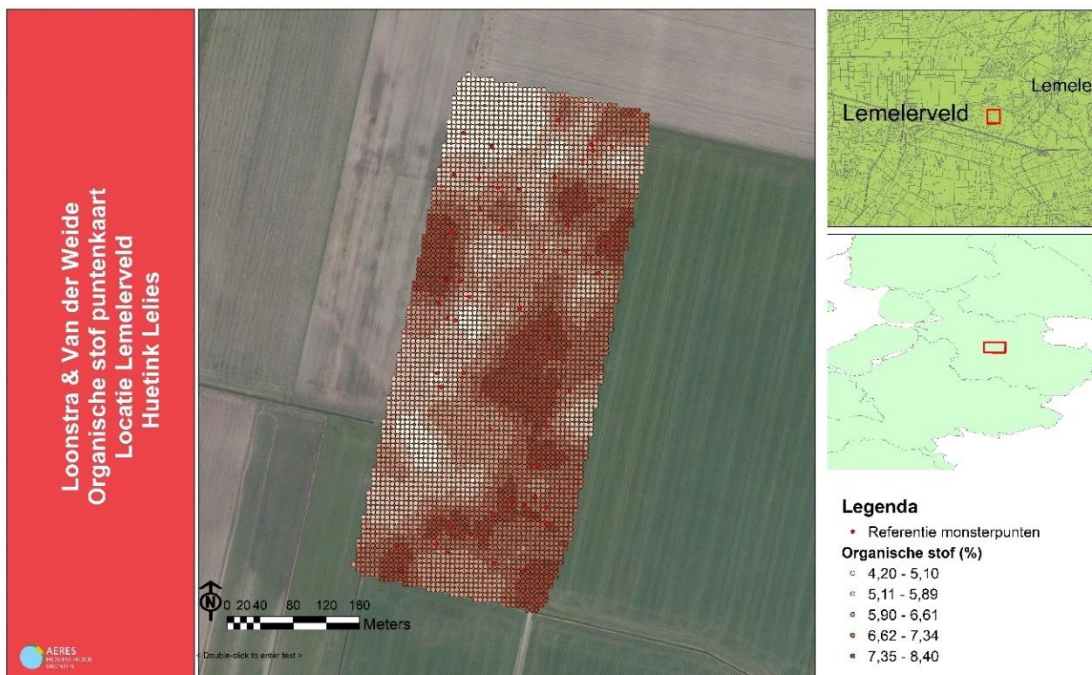
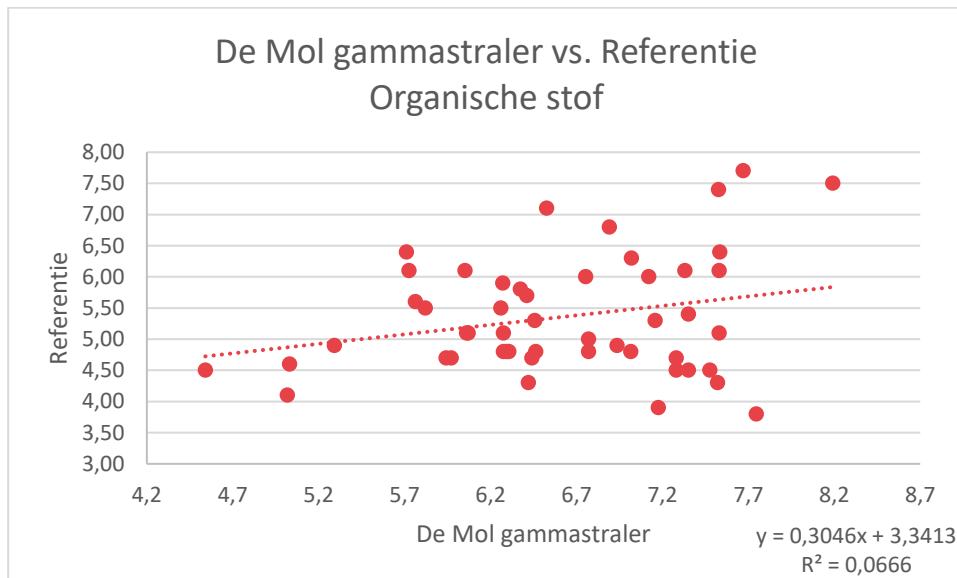


Figuur 7 pH puntenkaart Loonstra & Van der Weide. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

3.4.2. Organische stof

Vergelijking 4 geeft de vergeleken organische stof waarden weer. Figuur 8 is een visuele weergave van de organische stof puntenkaart. Het vergelijken van de organische stof gehalten volgens de kaart van Loonstra & Van der Weide met de referentiemonsters levert een R^2 van 0,07 als resultaat. De RMSE komt uit op een absolute afwijking van 1,63 procentpunt organische stof. .

Vergelijking 4 Organische stof Loonstra & Van der Weide vs. referentiemonsters

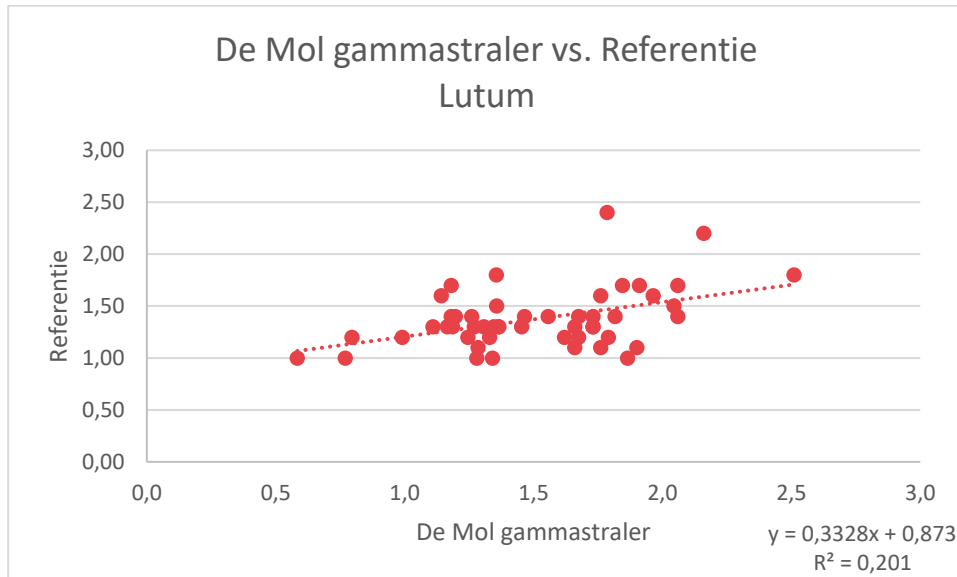


Figuur 8 Organische stof puntenkaart Loonstra & Van der Weide. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

3.4.3. Lutum

Voor de lutumvergelijking tussen de lutum kaart van Loonstra & Van der Weide en de lutumgehalten van de referentiemonsters geldt een R^2 van 0,20 en een RMSE van 0,38%. In Vergelijking 5 worden de in de vergelijking gebruikte punten ten opzichte van elkaar weergegeven. Figuur 9 toont de lutum puntenkaart.

Vergelijking 5 Lutum Loonstra & Van der Weide vs. referentiemonsters



Figuur 9 Lutum puntenkaart Loonstra & Van der Weide. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

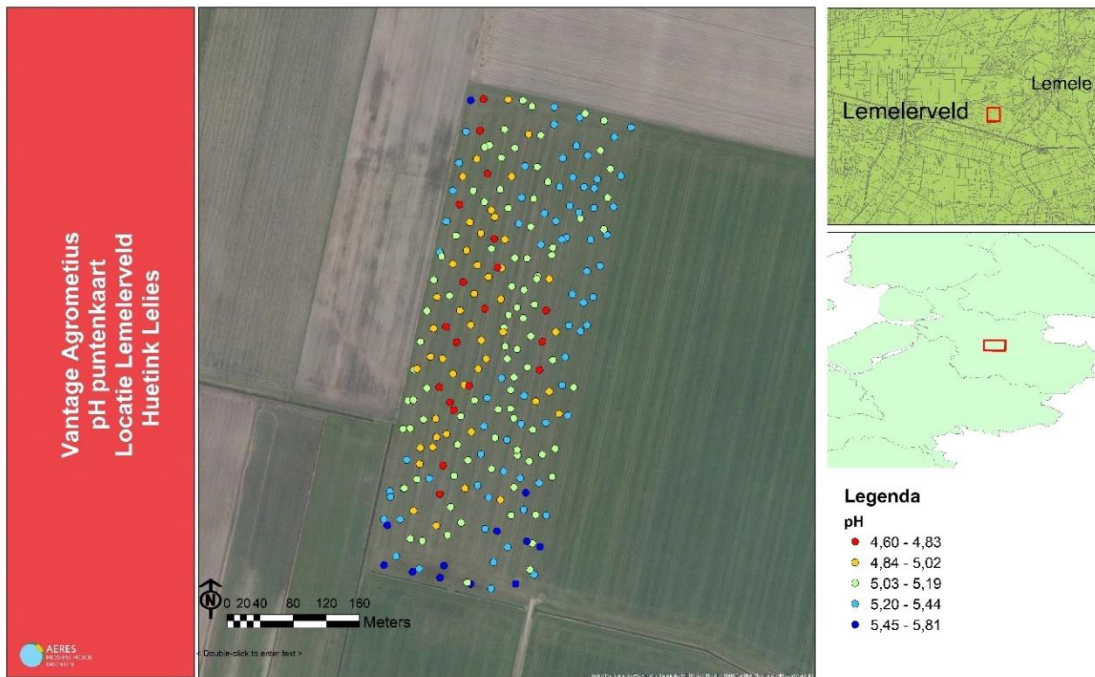
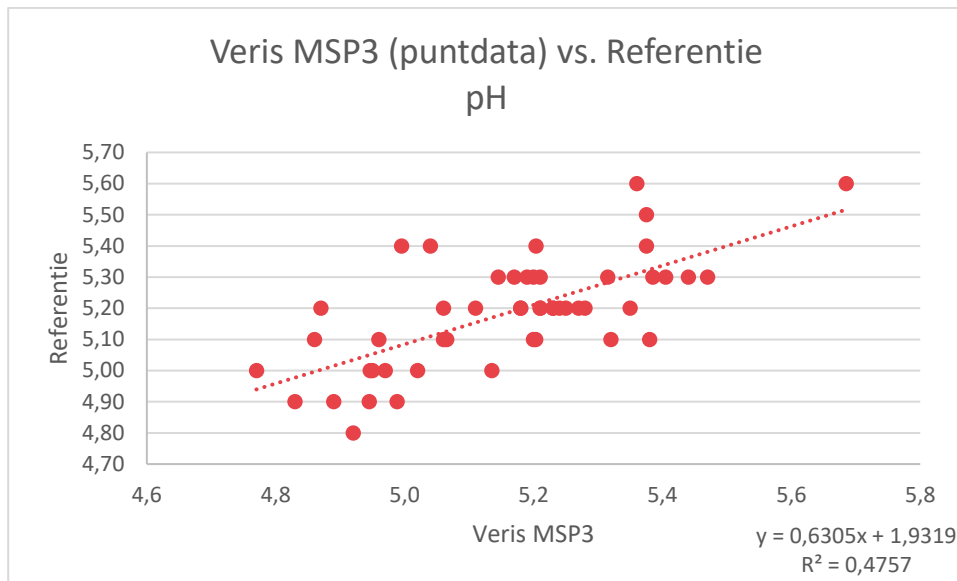
3.5. Vantage Agrometius

De Veris MSP3 bodemscan is door Vantage Agrometius ingezet om de pH en organische stof gehalten van het perceel in Lemelerveld in kaart te brengen. Een lutumkaart is niet opgeleverd, omdat een zandperceel geen of nauwelijks lutum bevat. Daarmee zijn door Agrometius voor het perceel in Lemelerveld alleen de kaarten van pH en organische stof meegenomen in de vergelijking.

3.5.1. pH

In Vergelijking 6 worden de gebruikte waarden in de vergelijking ten opzichte van elkaar weergegeven in een spreidingsgrafiek. In Figuur 10 is de voor de vergelijking gebruikte puntenkaart visueel weergegeven. In de vergelijking met de puntenkaart van Veris ten opzichte van de gemeten pH in de referentiemonsters, komt de R^2 uit op 0,48 met een p-waarde van 0,00 en een RMSE van 0,15.

Vergelijking 6 pH Vantage Agrometius vs. referentiemonsters

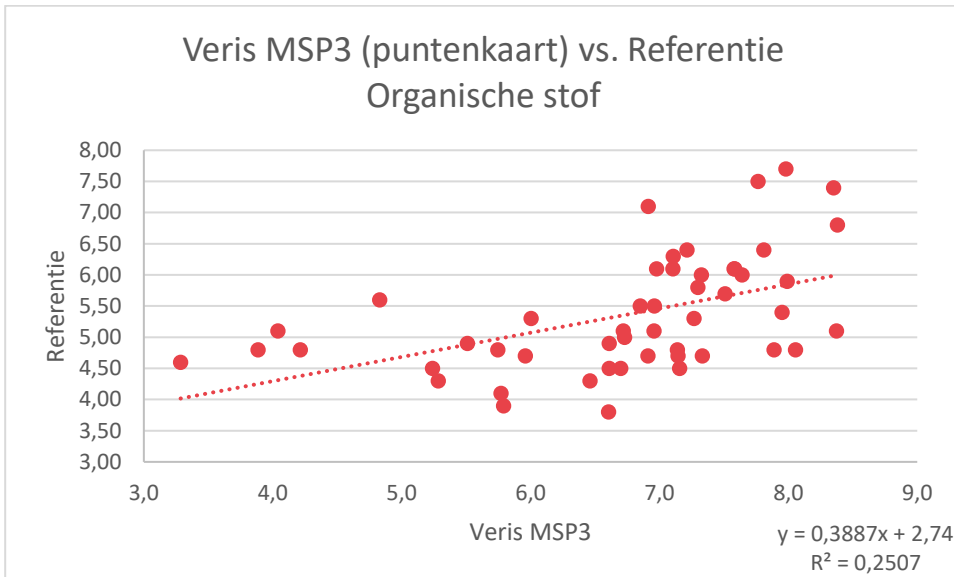


Figuur 10 pH puntenkaart Vantage Agrometius. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

3.5.2. Organische stof

Vergelijking 7 laat de organische stof waarden van de bodemscan en referentiemonsters ten opzichte van elkaar zien. In Figuur 11 wordt de organische stof puntenkaart weergegeven. De vergelijking van de organische stof kaart met de referentiemonsters levert een R^2 op van 0,25 en een RMSE van 1,75 procentpunt organische stof.

Vergelijking 7 Organische stof Vantage Agrometius vs. referentiemonsters



Figuur 11 Organische stof puntenkaart Vantage Agrometius. Door Aeres opgemaakte layout in ArcMap

3.6. Samenvattend

Om de in hoofdstuk drie getoonde resultaten overzichtelijk weer te geven, is middels Tabel 3 (pH), Tabel 4 (organische stof) en Tabel 5 (lutum) een samenvatting gemaakt van de resultaten per bodemparameter. De resultaten zullen worden beargumenteerd en bediscussieerd in hoofdstuk 5 Discussie.

Tabel 3 Samenvattingstabel pH statistiek

pH (CaCl ₂)	Mengmonster	Aurea Imaging / Dronewerkers	Loonstra	Vantage Agrometius
R ²		0,04	0,00	0,48
RMSE	St.dev. 0,17	0,16	0,20	0,15

Tabel 4 Samenvattingstabel organische stof statistiek

O.S.	Mengmonster	Aurea Imaging / Dronewerkers	Loonstra	Vantage Agrometius
R ²		0,04	0,07	0,25
RMSE	St. dev. 0,92	0,16	1,63	1,75

Tabel 5 Samenvattingstabel lutum statistiek

Lutum	Mengmonster	Loonstra
R ²		0,20
RMSE	St.dev. 0,28	0,38

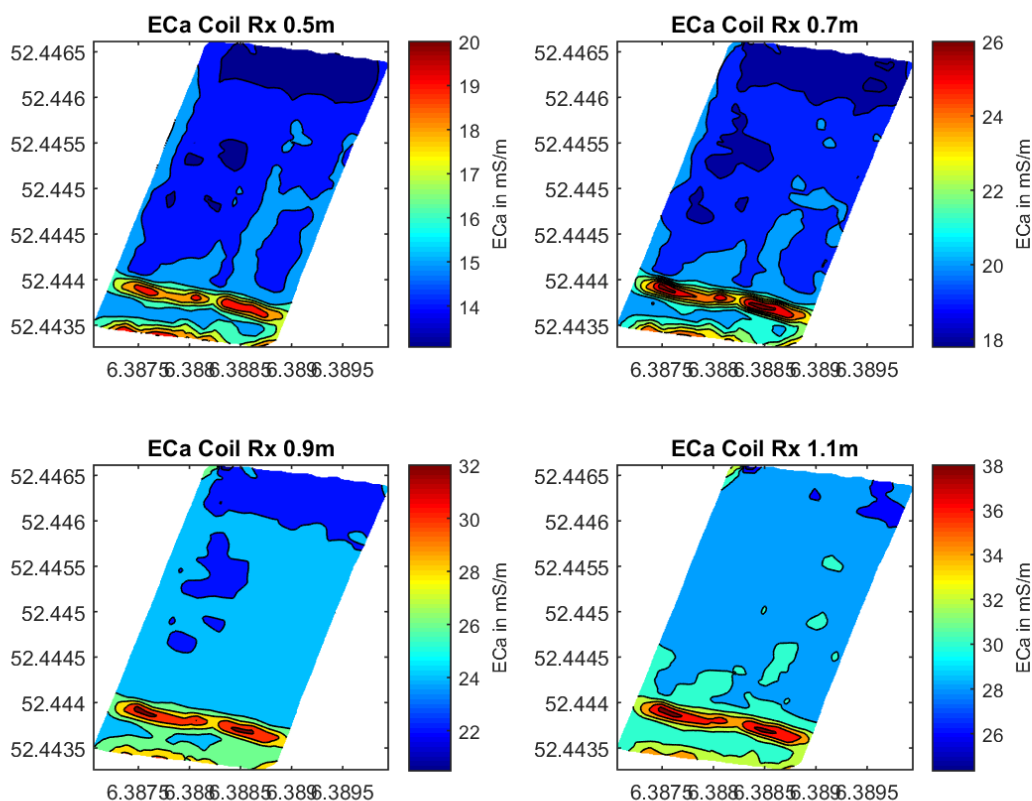
4 Overige resultaten

Elektromagnetische inductie scanners

Naast de scanners welke kunnen worden vergeleken op basis van de pH, organische stof en lutumkaarten, hebben ook twee bedrijven deelgenomen aan de vergelijking die elektrische geleidingskaarten opleveren. Anders dan de kaarten voor pH, organische stof en lutum wordt op basis van de elektrische geleiding ook relevante data verkregen welke kan worden ingezet voor precisielandbouw doeleinden. Om deze bodemscanners ook een plaats te geven in de bodemscanvergelijkingsrapporten, worden deze twee bodemscanners uitgelicht in hoofdstuk 4 Overige resultaten.

4.1. CNH Industrial

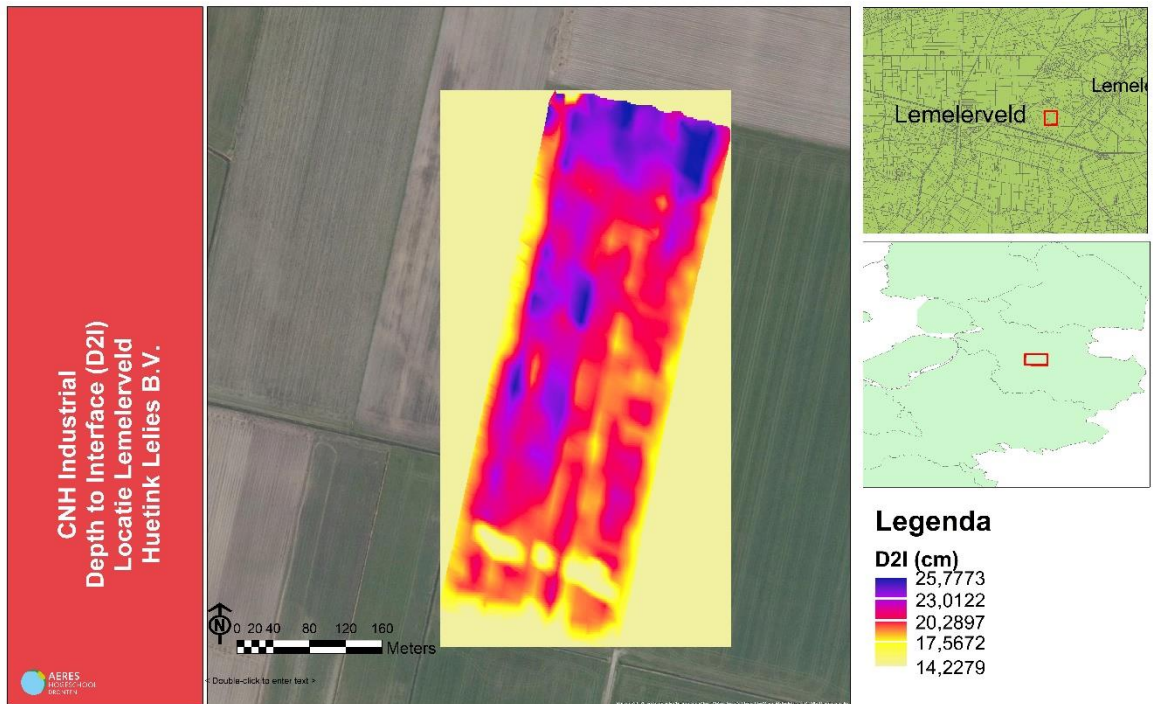
De SoilXplorer wordt door CNH Industrial geleverd als een bodemscan welke op basis van een Electro magnetische Inductie vier soorten kaarten oplevert. Naast de opgeleverde kaarten kan de SoilXplorer ook worden gebruikt als een real-time scanner welke bijvoorbeeld de diepteregeling tijdens het ploegen kan bedienen. De kaarten welke zijn gemaakt op basis van de elektrische geleiding van de grond in het perceel in Lemelerveld is te zien in Figuur 12.



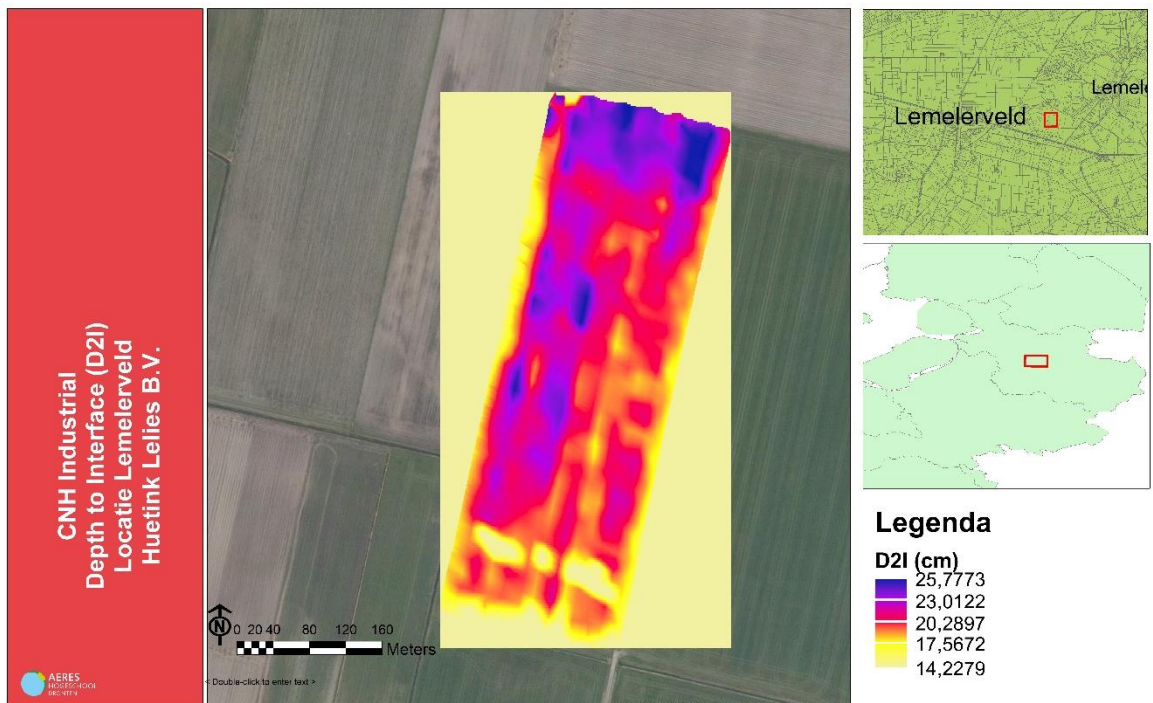
Figuur 12 EC kaarten CNH Industrial SoilXplorer

4.1.1. Vergelijking

Omdat de SoilXplorer geen pH, organische stof of lutumkaarten levert, is er in het vergelijkingsonderzoek geprobeerd de depth-to-interface (D2I) kaart van de SoilXplorer te vergelijken met middels de penetrologger (Eijkelkamp) verkregen indringingsweerstand data. Op een D2I kaart (



Figuur 13) worden de laagdiepten in de bodem weergegeven welke wordt bepaald als een overgang laag op een specifieke locatie in het gescande perceel. Door de D2I waarden van de SoilXplorer te vergelijken met de indringingsweerstand op de referentiemonster locaties, was het de verwachting dat de grootste verandering in indringingsweerstand (let op: niet de grootste weerstand) gelijk zou staan aan de door de SoilXplorer berekende overgangslaag.

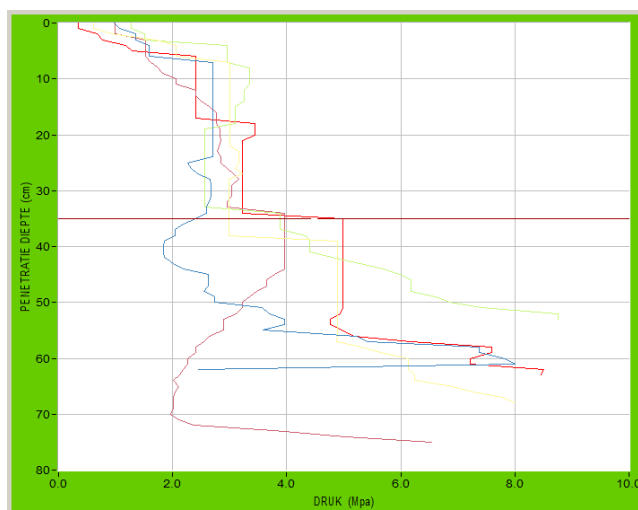
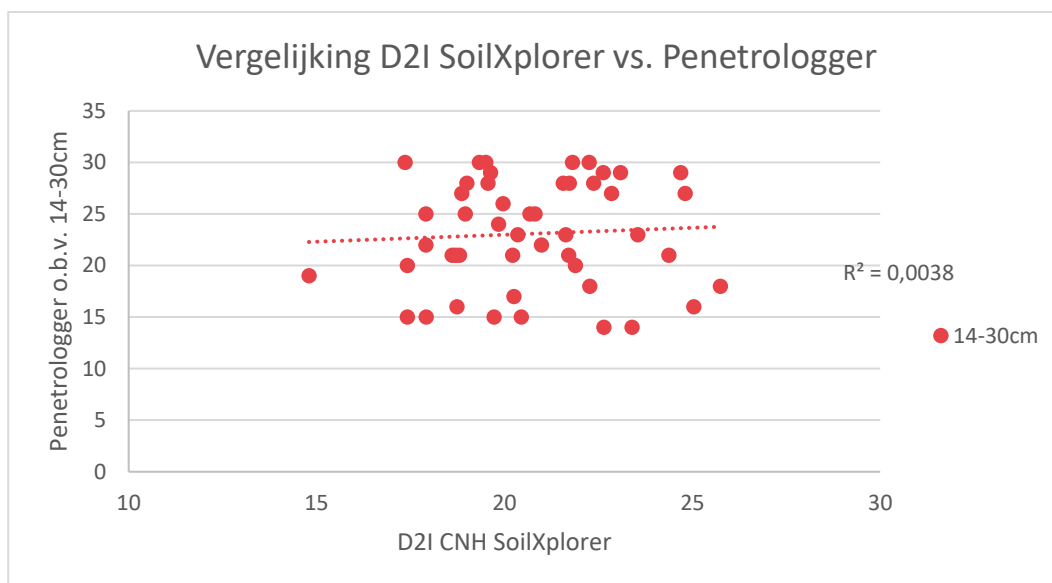


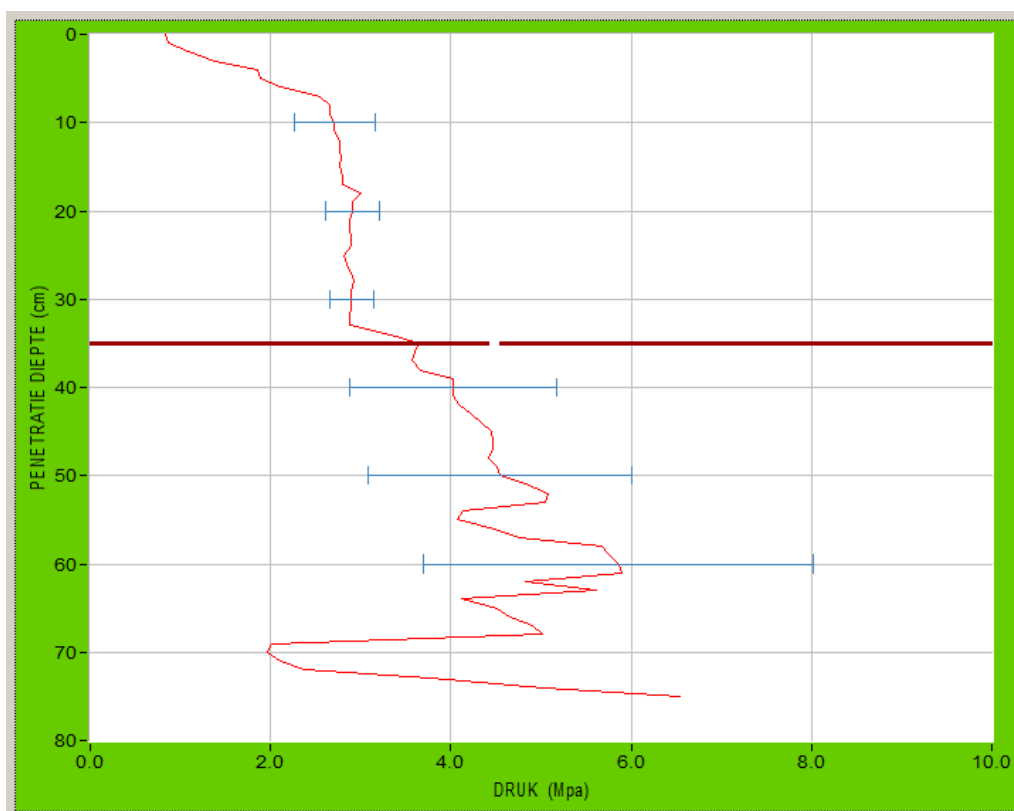
Figuur 13 Depth to Interface kaart CNH Industrial Lemelerveld

Het vergelijken van de D2I waarden en de grootste verandering in indringingsweerstand blijkt niet zo eenvoudig is als aanvankelijk werd verondersteld. Naast het feit dat de genoemde vergelijking niet eenvoudig is uit te voeren, dient ook de kanttekening te worden geplaatst in hoeverre de vergelijking

relevant is. Verdichting en weerstand zijn niet zomaar één op één met elkaar te vergelijken. Dit bleek uit de reactie van bodemexperts van Aeres Hogeschool Dronten tijdens een gesprek over en beoordeling van de D2I kaart in vergelijking met de indringingsweerstand, nadat de metingen waren verricht. Verdichting is afhankelijk van de grondsoort en van de vochtigheid van de grond. Aangezien de grond/bodem opgebouwd is uit verschillende lagen (inclusief bijbehorende structuur en textuur) en verdeeld over deze verschillende lagen een andere vochtigheid zal hebben, is het, tenzij dit kan worden gemeten of bepaald, niet eerlijk en relevant om de indringingsweerstand te vergelijken met de D2I kaart van de SoilXplorer. Om toch een beeld te geven van de indringingsweerstand van de grond en de gevonden diepten waarop een overgang in de grond te zien is volgens de penetrologgermeting, is in Tabel 6 Gevonden diepten (cm) voor D2I SoilXplorer versus Penetrologger perceel Lemelervelde een lijngrafiek weergegeven waarop deze indringingsweerstand is weergegeven voor bemonsteringslocatie 9. Daarnaast is in Tabel 6 een vergelijking weergegeven tussen de grootste verschillen in indringingsweerstand en de Depth to Interface waarde van de SoilXplorer. In deze vergelijking is voor het bepalen van het grootste verschil in indringingsweerstand gebruikt gemaakt van een formule in Excel. Deze formule rekent uit wat het verschil is tussen het gemiddelde van de indringingsweerstand van vier voorgaande diepten en de daaropvolgende indringingsweerstand van 1 centimeter diepte (ofwel: (gemiddelde weerstand van 15-18cm minus weerstand van 19cm). De reden voor het kiezen van een voorgaand gemiddelde is om te voorkomen dat pieken in de meting, mogelijk veroorzaakt door een verkeerde beweging tijdens het uitvoeren van de meting, uit de vergelijking wordt gefilterd. Als extra is geprobeerd ook het gemeten vochtpercentage van de grond (bovenste 5cm van de grond) mee te wegen in de vergelijking. Echter geeft dit geen verbeterende resultaten voor de vergelijking.

Tabel 6 Gevonden diepten (cm) voor D2I SoilXplorer versus Penetrologger perceel Lemelerveld





Figuur 14 Voorbeeld grafiek penetrologger, diepte (cm) versus druk (Mpa), bemonsteringslocatie 10 perceel Lemelerveld

In deze penetrologgermeting zijn twee aandachtspunten opvallend. Ten eerste is een grote spreiding te zien in de vijf indringingsmetingen per locatie. De herhaalbaarheid van elke meting kan daarmee in twijfel worden getrokken. Aangezien de metingen door onervaren mensen zijn uitgevoerd valt dit te verklaren. Daarnaast is het opvallend dat de Depth to Interface kaart een beperkte range laat zien waarin de D2I wordt bepaald, althans zo lijkt. Ondanks dat de penetrologger in dit onderzoek geen reproduceerbare metingen lijkt te laten zien, zijn wel degelijk pieken in de indringingsweerstand te zien. Echter liggen deze pieken vaak lager dan de range waarin de SoilXplorer de D2I in lijkt te bepalen.

Op basis van bovenstaande ligt er de intentie om nader onderzoek op te zetten om te komen tot een relevante en degelijke vergelijking voor de SoilXplorer. In dit onderzoek zal worden geprobeerd de D2I kaart van de SoilXplorer te vergelijken met een gelijkwaardige meting waarmee de D2I kaart kan worden gecontroleerd of de meting daadwerkelijk de juiste verdichte laag kan weergeven. Uiteindelijke conclusie voor deze vergelijking is dat met een R^2 van slechts 0,0038 hoe dan ook een zeer slecht resultaat wordt behaald.

4.2. Soil Masters

SoilMasters brengt met de DualEM 21S bodemscanner de bodem in kaart en bepaalt wat de beste punten zijn om deze te bemonsteren. De bodemmonsters worden geanalyseerd volgens de Kinsey-Albrecht bodemanalyse, waarna een bodemadvies, gekoppeld aan taakkaarten, kan worden vastgesteld. Omdat de elektrische geleidbaarheid van de bodem naar eigen zeggen (refererend naar onderzoek) overeenkomsten heeft met bodemparameters uit de Kinsey-Albrecht methodiek, kan precisielandbouw in de vorm van deze bodemscan worden gecombineerd met de data dat wordt verkregen uit de bodemanalyses.

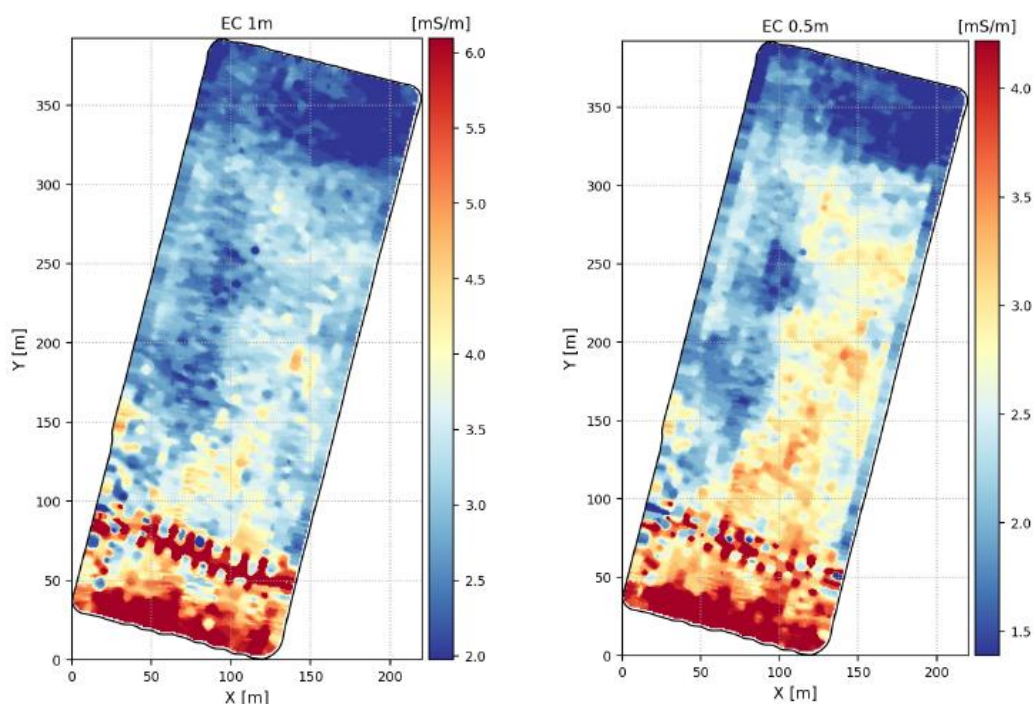
4.2.1. Werkwijze

Middels de bodemscan worden op basis van de elektrische geleidbaarheid 4 zones per perceel (vanaf 4 hectare) gecreëerd. Per zone wordt een unieke bemonsteringslocatie bepaald om een grondmonster van te nemen. Er zijn dus 4 bodemmonsters per perceel nodig. Hierbij wordt geen limiet aan de grootte van het perceel gesteld, mits dit perceel niet door sloten en wegen wordt doorkruist en op eenzelfde manier

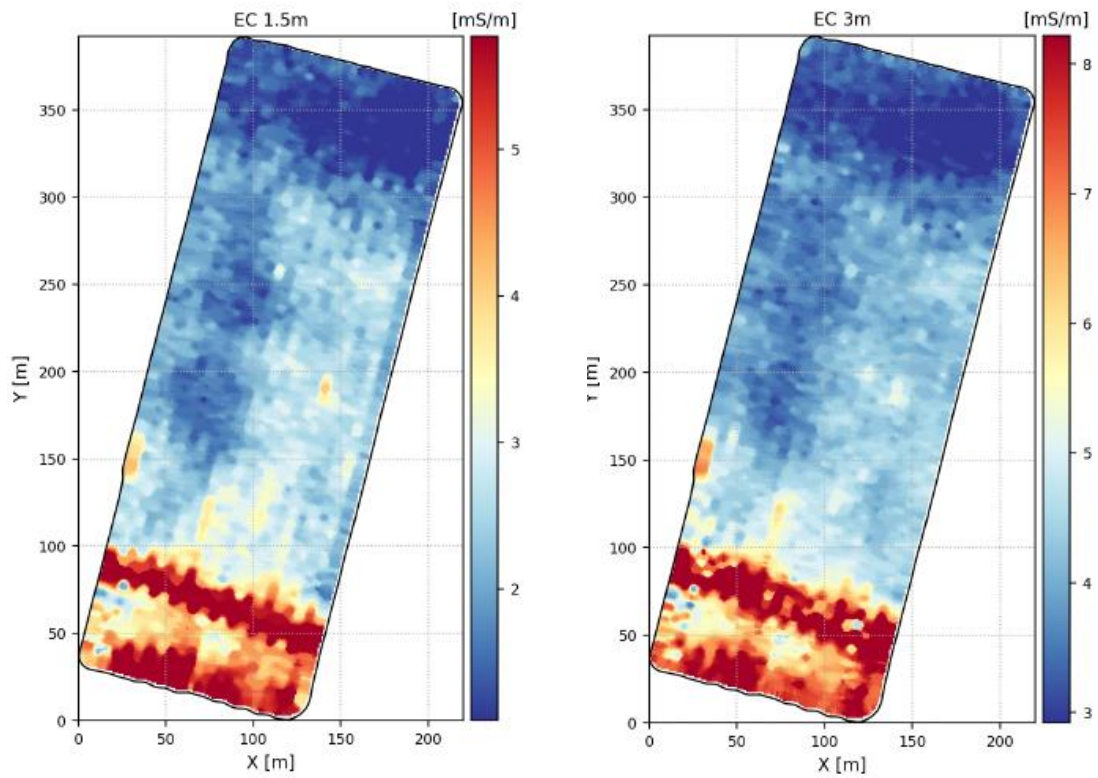
beteeld is. Verschillende aaneengesloten percelen kunnen worden gecombineerd tot een (zogenamd) superperceel, waarmee maximaal 8 bodemonsters worden geprikt en er dus 8 unieke posities in de gecombineerde percelen worden gemaakt. Hier wordt / kan elk jaar opnieuw een monster worden geprikt. Een bodemscan en bodemanalyse kan ook los van elkaar worden uitgevoerd. Alleen in combinatie wordt de mogelijkheid om de unieke locaties per EC zone te bepalen aangeboden.

4.2.2. Wat wordt er opgeleverd

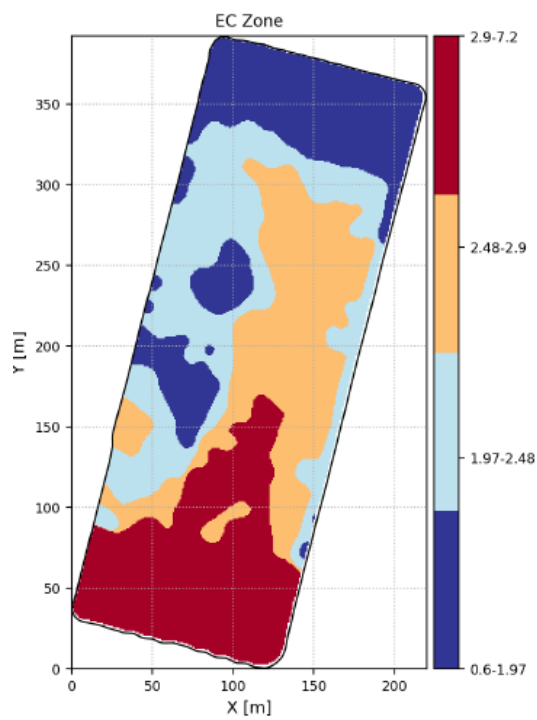
Soil Masters levert uitgebreide rapportages van de bodemscans, waarin EC kaarten van verschillende dieptes en hoogte kaarten van de gescande percelen worden getoond. De EC scankaarten en de gegenereerde zonekaart van het perceel in Lemelerveld zijn weergegeven in Figuur 15, Figuur 16 en Figuur 17. SoilMasters levert via haar online Portal, naast dataprocessing, ook alle benodigde taakkaarten gekoppeld aan de bodemanalyses en vormt de portal een praktisch dashboard waarbij de klant altijd over zijn eigen data kan beschikken.



Figuur 15 Soil Masters EC kaarten 0,5m en 1,0m diepte



Figuur 16 Soil Masters EC kaarten diepten 1,5m en 3,0m



Zone	Oppervlakt (ha)	Waarden
1	1.13	0.6 - 1.97
2	1.33	1.97 - 2.48
3	1.32	2.48 - 2.9
4	1.23	2.9 - 7.2

Figuur 17 EC zonekaart op basis van EC scan

4.2.3. Vervolgonderzoek

Soil Masters interesseert zich in onderzoek dat erop is gericht om de effecten van de op de bodemscan gebaseerde behandeling van het perceel op het gewas te beoordelen. Een dergelijk onderzoek zou inzicht moeten geven in het effect van de behandeling van het perceel op het gewas. Hiervoor zijn in samenwerking met Aeres nog geen concrete plannen, maar is een mogelijkheid tot [vervolgonderzoek](#)^[NS18].

5 Discussie

Veel resultaten welke worden gevonden na een onderzoek of analyse behoeven onderbouwing om een juiste interpretatie van deze resultaten te kunnen krijgen. Daarom worden in hoofdstuk 5 de resultaten uit hoofdstuk 3 in context geplaatst.

5.1. Verdeling referentiemonsters

De bepaling van de referentiemonsterlocaties is uitgevoerd met een 'simple-random-sampling' algoritme in ArcMap. Voor het perceel in Lemelerveld is hiervoor geen gespecificeerde onderlinge afstand in acht genomen. Daardoor zijn er op sommige plekken in het perceel zogeheten clusters van punten gevormd. Een dergelijk cluster houdt in dat er een aantal punten dicht op elkaar zijn geplaatst, waardoor hier ook de bemonstering heeft plaats gevonden. Dit heeft ook tot gevolg gehad dat een aantal gebieden in het perceel niet in de bemonstering zijn meegenomen, daar waar toevalligerwijs de bodemscanners wel de referentiemonsters hebben genomen. Kijkend naar de patronen in de kaarten en spreidingsgrafieken bij pH, dan komen de referentiemonsters redelijk in alle klassen en range terug. Echter kijken we naar organische stof, dan lijkt het grootste gedeelte van de referentiemonsters juist in de zones van 'hoog organische stof' te liggen en vrij weinig in de 'laag organische stof' zones, voor bijv. Loonstra en Vantage Agrometius. Dit leidt er in de vergelijkingsgrafieken direct toe dat er een wolk aan punten rechtsboven ontstaat en niet mooi verdeeld over de grafiek. Hierdoor is de laag-organische stofgehalte ondervertegenwoordigd en dit leidt voor organische stof waarschijnlijk tot lage R^2 en hoge RMSE.

Afgaande op de verkregen spreidingsgrafieken in hoofdstuk 3 kan worden gesteld dat deze manier van bemonsteren niet een nadelig effect heeft gehad op de verkregen resultaten voor de pH vergelijkingen. Er is geen sprake van clustervorming in de spreidingsgrafieken voor de pH vergelijkingen. Wel is er clustervorming te zien in de vergelijkingswaarden van de organische stof. Een cluster in de spreidingsgrafiek zou betekenen dat er teveel van hetzelfde vergelijkingsmateriaal is gebruikt, waardoor de extremen niet in het perceel zijn meegenomen in de vergelijking.

5.2. Kaartmethoden

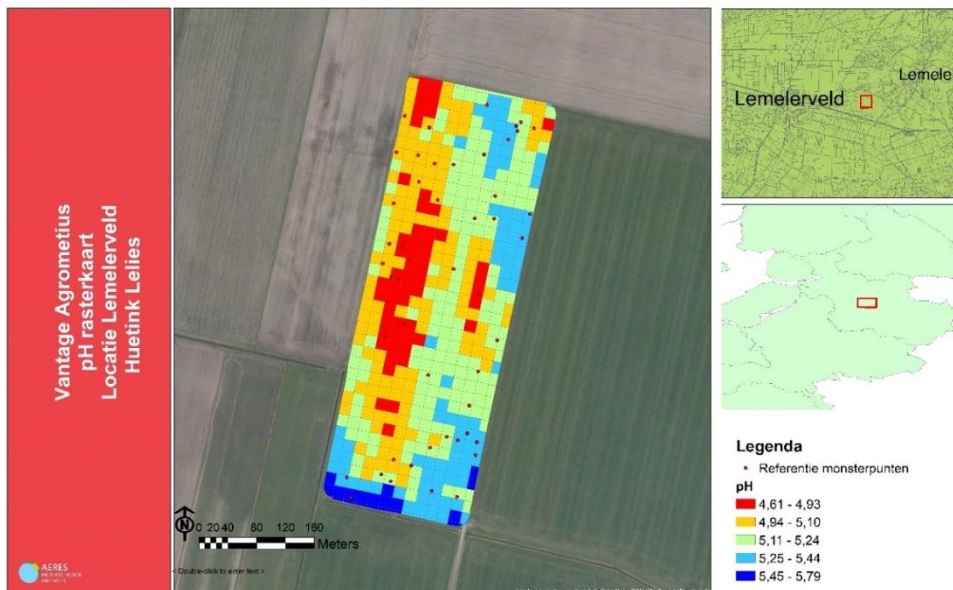
Een eerste onderwerp van discussie is het gebruik van het vergelijkingsmateriaal in dit vergelijkingsonderzoek. De eerste kaarten in het onderzoek zijn aangeleverd als puntenkaarten, mede vanwege het feit dat deze puntenkaarten de originele scandata betreft. Scanbedrijven gebruiken voor de klant echter specifieke interpolatiemethoden om tot uiteindelijke bodemkaarten en taakkaarten te komen. Per bedrijf kan die interpolatie methode verschillen. Interpolatie zorgt ervoor dat je op een plek waar niet gemeten is toch een voorspelling doet van de bodem, door omliggende gemeten punten mee te nemen. In dit onderzoek zijn alle scandata op dezelfde manier geïnterpoleerd met Inverse Distance Weighting om de pH, organische stofgehalte en lutumgehalte op de punten van de referentiemonsters te voorspellen. Deze cijfers kunnen afwijken van wat de scanbedrijven zelf voorspellen op die plek door verschil in interpolatiemethodiek.

Als voorbeeld hierop is in Tabel 5 een opsomming gemaakt van de verschillende uitkomsten bij het gebruik van de genoemde soorten pH kaarten. Hierbij zijn de puntenkaart en de rasterkaart aangeleverd door Vantage Agrometius. De geïnterpoleerde IDW kaart is door Aeres gemaakt in het programma ArcMap. Hierbij is de interpolatie gebaseerd op een maximale afstand van 10 meter. Figuur 10 uit hoofdstuk 3 betreft de puntenkaart waarnaar wordt gerefereerd in Tabel 7. De rasterkaart en geïnterpoleerde kaart zijn weergegeven in Figuur 18 en Figuur 19.

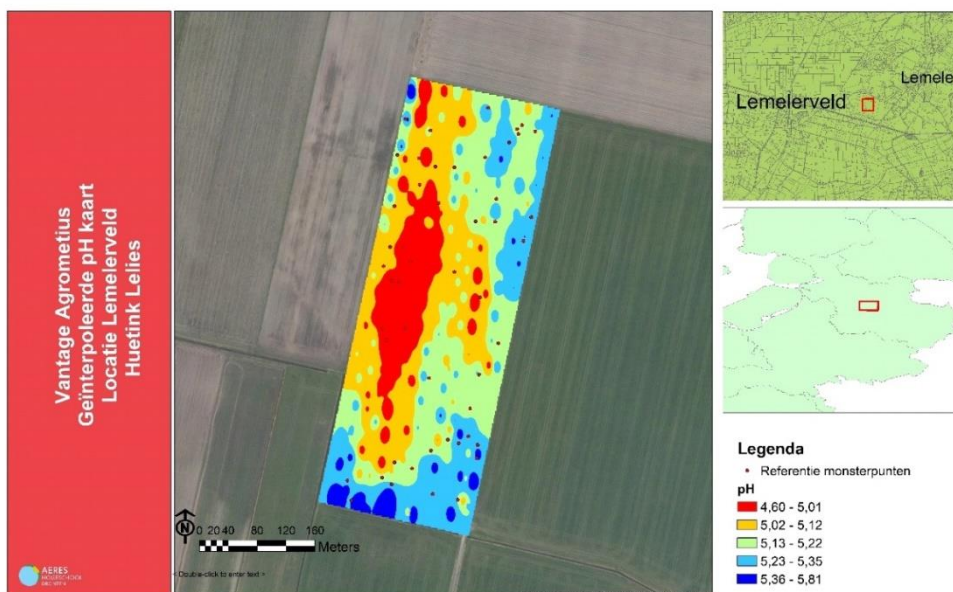
Tabel 7 Resultaatverschillen bij gebruik verschillende kaartmethoden

Vantage Agrometius Veris MSP3			
Soort kaart	Punt (Figuur 10)	Raster (Figuur 18)	Geïnterpoleerd (Figuur 19)
R2	0,48	0,48	0,53
RMSE	0,15	0,15	0,13
p-waarde	0,00	0,00	0,00

Er is qua resultaten geen verschil tussen de puntenkaart en de rasterkaart van de Veriscan pH kaart. Wel geeft de geïnterpoleerde een lichte R^2 stijging van 0,05 [NS19] en een RMSE daling van 0,02. Ook wanneer de overige kaartmethoden worden toegepast op organische stof kaarten en de lutum kaart is er geen aanzienlijk verschil in de correlatie of afwijking van de scan ten opzichte van de referentiemonsterresultaten.



Figuur 18 Rasterkaart van de Veris MSP3 pH scan



Figuur 19 Geïnterpoleerde IDW kaart op basis van de Veris MSP3 pH puntenkaart

5.2.1. Zonekaarten

Ook worden in dit rapport vergelijkingen gemaakt met zonekaarten. Een zonekaart zorgt voor een vlakdekkende kaart waarin wordt gewerkt met bijvoorbeeld 5 zones. Kijk voor een voorbeeld van een dergelijke kaart naar de zonekaart van Aurea/Dronewerkers in Figuur 5. De resultaten van deze pH zonekaart in de vergelijking met de 50 individuele referentiemonsters valt voor wat betreft de R^2 laag uit met 0,04. Wanneer (op verzoek) de resultaten van de referentiemonsters worden gemiddeld per zone en deze worden vergeleken met de zonewaarden van de gescande pH kaart, vallen de resultaten beter uit. Voor de vergelijking met de gemiddelden per zone van referentiemonsters en scanwaarden volgt een R^2 van 0,72 met een absolute RMSE van 0,09_[NS20] en een p-waarde van 0,07 (niet significant). Wanneer dezelfde wijze van vergelijken wordt toegepast op de organische stof kaart, volgt een R^2 van 0,45 met een absolute RMSE van 1,19 en een p-waarde van 0,22 (niet significant). Het gaat in deze vergelijking om slechts 5 gemiddelde waarden die met elkaar worden vergeleken. Dit lage aantal waarden zal waarschijnlijk zorgen voor de lage p-waarde, ondanks de hogere R^2 .

5.3. Lutumkaarten

Omdat het perceel in Lemelerveld een zandgrond betreft, is het lutumgehalte in het perceel dusdanig laag dat twee bedrijven de kaart voor lutum hebben teruggetrokken uit de vergelijking. Hierbij spelen een aantal aspecten een rol. Allereest is, omdat er zo weinig lutum in de grond aanwezig is, de foutmarge in het meten van de lutumgehalten groot. In Tabel 2 is te zien dat het lutum gehalte door Eurofins is vastgesteld tussen de 1 en 3 procent, waarbij zonder decimalen achter de komma is gemeten. Ook een sensor van een bodemscan zal vanwege de lage percentages moeite hebben met het kunnen meten of berekenen van de lutumgehalten, omdat dit aan de buitenkant van het meetbereik valt. Dit betekent dat zowel voor de referentiemonsters als de scankaarten geldt dat er een foutmarge in de kaarten aanwezig is. De opeenstapeling van deze foutmarges maakt dat de resultaten die volgen uit de analyse niet nauwkeurig genoeg zijn. Tevens stuurt men in praktijk op zandpercelen vooral op organische stof en nutriënten en wordt lutum niet meegenomen. Omwille van deze redenen zijn de lutumkaarten dus niet meegenomen in de vergelijking voor het perceel in Lemelerveld.

6 Conclusie en aanbevelingen

De onderzoeksvraag die centraal stond in dit project was: *“Welke bodemscan levert de meest betrouwbare en bruikbare informatie voor precisielandbouw?”*.

In 2020 hebben we vier verschillende bodemscanmethoden met elkaar kunnen vergelijken op de zandgrond in Lemelerveld. Drie van deze systemen hebben we kunnen beoordelen op de nauwkeurigheid van de pH en/of organische stof en één bedrijf heeft ook lutum-kaarten aangeleverd. Het onderzoek is gedaan op een zandgrondperceel in Lemelerveld, Overijssel. De vijf systemen zijn: De gammastralingssensor van Loonstra & Van der Weide, de Veris MSP3 bodemscansysteem van Vantage Agrometius, satellite- en drone imaging van Aurea Imaging en de SoilXplorer van CNH Industrial. Als referentie voor de bodemscans zijn er 50 bodemmonsters gebruikt die in bij Eurofins Agro te Wageningen geanalyseerd zijn op voorgenoemde eigenschappen.

De bodemscanvergelijking op het zandgrondperceel in Lemelerveld laat, in tegenstelling tot de voorgaande twee jaren, zien dat het vergelijken van de bodemscans met referentiemonsters qua correlatie lager uitvalt. In zowel 2018 (zavelgrond, Ens, Flevoland) als 2019 (kleigrond, Den Oever, Noord-Holland) werden er met de bodemscanvergelijkingen hoge^[NS21] correlaties behaald, zelfs hoger dan 0,8. In de bodemscanvergelijking van 2020 wordt er door de Veriscan MSP3 wat betreft de pH een R^2 van 0,48 gescoord met een RMSE van 0,15^[NS22] op een perceel met gemiddelde pH van 5,19 en variërend van 4,8 tot 5,6. Ook voor de organische stof komt de Veriscan MSP3 als beste bodemscan naar voor met een R^2 van (slechts) 0,25 en een absolute RMSE van ^[NS23]1,75% waarbij het gemiddelde organische stofgehalte op het perceel van 5,36 is variërend van 3,8% tot 7,7%. De pH en organische stof kaarten van Aurea Imaging/Dronewerkers laten voor beide kaarten een slechte R^2 van 0,04 zien, terwijl de absolute RMSE voor de pH (0,16) gelijkwaardig aan en voor de organische stof (0,16%) vele malen beter scoort dan de twee overige scans in de vergelijking. De lutumkaart is enkel door Loonstra & Van der Weide opgeleverd. Met een R^2 van 0,20 en RMSE van 0,38% lutumgehalte is dit niet overtuigend. Gezien het feit dat het perceel een zandperceel met een zeer laag lutumgehalte betreft, valt de lage correlatie te verwachten. De tegenvallende resultaten kunnen komen doordat de locaties van de referentiemonsters niet gelijkmatig over het perceel zijn verdeeld.

Wel kan een bodemscan van waarde zijn om de variatie van een perceel in kaart te brengen om bijvoorbeeld zonematig een perceel te bemonsteren. Een variabele behandeling van het perceel op basis van deze zones is daarmee van toegevoegde waarde. Het bewerken van het perceel op basis van kleinere pixels is vervolgens niet van toegevoegde waarde, aangezien uit de vergelijking de foutmarge in dat geval nagenoeg hetzelfde is als op basis van een mengmonster of zelfs slechter dan het mengmonster ten opzichte van het perceelgemiddelde.

NPPL teler Sjaak Huetink waarbij de bodemscanvergelijkingstest is uitgevoerd, herkent zich het beste in de Veris MSP3 kaarten voor organische stof en op de tweede plaats de organische stofkaart van Loonstra.

De kaarten op basis van elektromagnetische inductie zijn nog onderwerpen van onderzoek. De depth-to-interface kaart van de SoilXplorer is gepoogd te vergelijken met een indringingsweerstand gemeten met de penetrolgger (Eijkelkamp). Dit bleek echter niet zo eenvoudig als gedacht, waardoor aanvullend onderzoek nodig is voor deze vergelijking.

7 Referenties

NYSTEN, C. & KEMPENAAR, C., 2019. Toepassing van Bodemscans voor Smart Farming. Vergelijking van bodemscans in Ens maakt bodemeigenschappen inzichtelijk. Rapport Aeres Hogeschool Dronten, 28 januari 2019, 37 pp.

KEMPENAAR, C., VAN DIJK, C.J., ET AL., 2018. Sensoren en gewasmodellen voor precisielandbouw. Literatuuronderzoek DISAC, deelproject E-Pieper. Rapport 758, Wageningen Plant Research. 40 pp.

HEITING, S, BREGT, A. & DE BRUIN, S., 2010. De boer als sensor. Agro informatica juni 2010: 14-16. <https://edepot.wur.nl/143779>

NPPL, 2018. *3 Systemen voor bodemscans*. Opgeroepen op 2020, van Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=kwarCrFV_wE

© Copyright 2016, Stichting Aeres Groep. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Aeres.



Postbus 374, 8250 AJ Dronten
De Drieslag 4, Dronten
088 020 6000
aereshogeschool.nl/dronten
info.hogeschool.dronten@aeres.nl