

Toepassing van Bodemscans voor Smart Farming

Vergelijking van bodemscans in Valthermond maakt bodemeigenschappen inzichtelijk



Ferry Tigchelhoff
Corné Kempenaar
Sylvan Nysten
Johan Booij

13 juli 2021
Definitief



Toepassing van bodemscans voor Smart Farming

Vergelijking van bodemscans in Valthermond maakt bodemeigenschappen inzichtelijk

Datum:
13 juli 2021

Locatie van publicatie:
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 Proeftuin PrecisieLandbouw (NPPL)

Met dank aan:
Misset uitgeverij B.V.
WUR Proefbedrijf Valthermond (PPO Valthermond)
POP3 Project Toepassing Innovatieve Precisietechniek Veenkoloniën



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 te analyseren, zijn er in maart 2020 op een dalgrondperceel in Valthermond (Drenthe) een aantal bodemscans uitgevoerd. Daarbij is de leveranciers gevraagd om, indien mogelijk, digitale bodemkaarten van de ruimtelijke variatie in organische stof, lutum en pH aan 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 data van de bodemscans is vergeleken met de data van de referentiemonsters. De nauwkeurigheid van geleverde kaarten is bepaald met regressieanalyse. Per kaart zijn twee statistische parameters bepaald: de RMSE en R^2 . Aan de hand van deze parameters plaatsen we de nauwkeurigheid van de bodemscan-kaarten in perspectief.

Drie 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 Valthermond, heeft in 2020 slechts één bedrijf een lutumkaart aangeleverd. De belangrijkste conclusie voor de vergelijking in Valthermond is dat dalgrond een uitdagende grondsoort blijkt te zijn om met name de pH en lutumgehalten te bepalen met de sensorsystemen. De R^2 varieert van 0,07 tot 0,55 tussen de verschillende bodemscans. De absolute afwijking (RMSE) van de bodemscans voor pH is netjes te noemen met een RMSE van 0,17- tot 0,30-pH punt. Voor de organische stof valt de R^2 matig tot goed te noemen voor de systemen en komt daarmee in deze vergelijking als best scorende bodemparameter in de kaarten naar voren. De R^2 varieert van 0,57 tot 0,67 en de RMSE van 2,67- tot 5,31-procentpunt tussen de verschillende bodemscans. Lutum is, gebaseerd op één bodemkaart, moeilijk te bepalen op deze grond met een zeer slecht scorende R^2 (0,08) en RMSE (0,75-procentpunt).

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1.	Bodemfactoren & precisielandbouw	5
1.2.	Bodemscanmethodes & bodemkaarten	5
1.3.	Onderzoeksvraag	7
2	Materiaal en methode	9
2.1.	Ligging en bodem van het proefperceel	9
2.2.	Vergelijkingsmethode	11
3	Resultaten	13
3.1.	Referentiemonsters	13
3.2.	Bioscope satellite imaging	15
3.2.1.	pH	15
3.2.2.	Organische stof	16
3.3.	Aurea Imaging / Dronewerkers dronevlucht	17
3.3.1.	Organische stof	17
3.4.	Passieve gamma straler “De Mol” Loonstra & Van der Weide	18
3.4.1.	pH	19
3.4.2.	Organische stof	20
3.4.3.	Lutum	21
3.5.	Veris MSP3 Vantage Agrometius	21
3.5.1.	pH	22
3.5.2.	Organische stof	23
3.6.	Samenvattingstabellen	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4	Overige bodemscans	25
4.1.	CNH Industrial	25
4.1.1.	Vergelijking	25
4.1.2.	Resultaat	26
4.2.	Soil Masters	28
4.2.1.	Werkwijze	28
4.2.2.	Wat wordt er opgeleverd	28
4.2.3.	Vervolgonderzoek	29
5	Discussie	30
5.1.	Lutumkaarten	30
5.2.	Vantage Agrometius Veris MSP3	30
6	Conclusie en aanbevelingen	32
7	Referenties	33

1 Inleiding

Nederland is de tweede grootste 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 (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 zavelachtige grond in Ens (Flevoland) aan producten van leveranciers van bodemkaarten (Nysten & Kempenaar, 2019). In 2019 is het onderzoek herhaald op een andere grondsoort in Den Oever (Noord-Holland), te weten kleigrond. In 2020 is het onderzoek nogmaals op zelfde wijze herhaald op zowel dalgrond in Valthermond (Drenthe) als zandgrond in Lemelerveld (Overijssel). De resultaten en bevindingen van het dalgrond perceel in Valthermond worden in dit rapport gerapporteerd.

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 'geprikt' 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: 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 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 (Vantage Agrometius)

Hieronder worden de verschillende sensorsystemen kort toegelicht.

Dronewerkers / Aurea Imaging drone sensing heft 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 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 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 compatible 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 bewerkingsdiepte 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-stof en/of lutum-gehalte. De sensor hangt doorgaans in de hef achter van een trekker ca. 30-40 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. 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 , pH, organische stof en lutum 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. 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. Dit betreft de sensorsystemen van Bioscope, Dronewerkers/Aurea Imaging, Loonstra & van der Weide en Vantage Agrometius (zie voor resultaten hoofdstuk 3). 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.

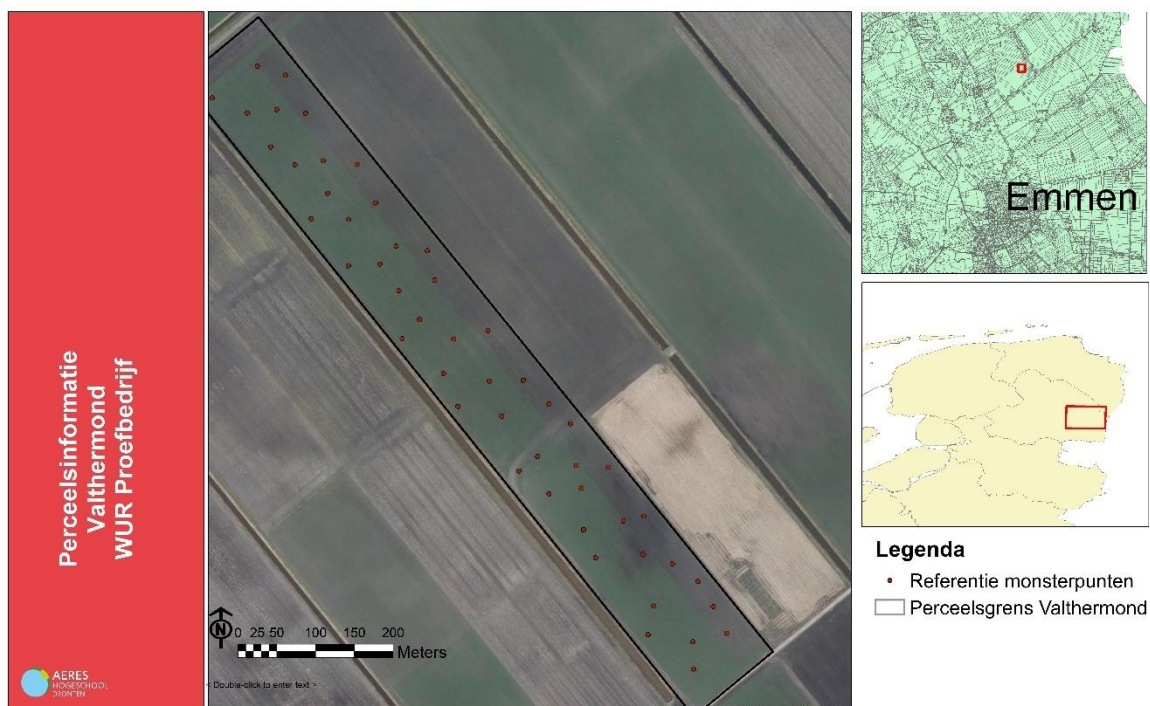
We hebben de analysemethode zo veel mogelijk gelijk gehouden aan die van de eerste proef binnen deze reeks bodemscanvergelijkingen. De onderlinge vergelijkbaarheid doen we dus alleen op basis van de nauwkeurigheid van geleverde pH, lutum en organische stof kaarten.

2 Materiaal en methode

Om de nauwkeurigheid van de bodemscans te analyseren zijn er op een perceel, circa 5 ha groot, in Valthermond bij het WUR proefbedrijf Valthermond op 30 maart en 1 april vier fysieke bodemscans uitgevoerd. 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. De ligging van het perceel en de locatie van monsternamen zijn te zien in figuur 2.1. De monster locaties zijn met simpel 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 circa 15 steken tot 25 cm diep).

2.1. Vooronderzoek ligging en bodem van het proefperceel

In het gebied waar het perceel in Valthermond gelegen is, komen veenkoloniale gronden voor die pas vrij laat, halverwege de 19^e eeuw, zijn verveend. Keileem speelt in dit gebied een belangrijke rol en komt bijvoorbeeld op en rondom de Hondsrug veelvuldig in de ondergrond voor. Het perceel ligt echter meer ten oosten van de Hondsrug en het keileem komt daar voornamelijk in de diepe ondergrond voor of is in het verleden door diverse processen verweerd en verdwenen of verplaatst. Door de slechte ontwatering van het gebied is er in dit gebied mesotroof (matig voedselrijk) tot oligotroof (voedselarm) veen ontstaan. Het veen kan dus sterk in kwaliteit verschillen. Onder het veen bevindt zich meestal leemarm, fijn zand, het zogeheten jonge dekzand. Daaronder gaat dit over in het oude dekzand dat wat lemiger kan zijn met soms een tussenlaag van grof zand. De ondergrond kan dus zeer divers zijn.



Figuur 1: Ligging van het onderzoekperceel met de locaties van de grondmonsters ter referentie van de betrouwbaarheid van de verschillende bodemscans.

Door de vervening is de veenlaag grotendeels verdwenen en is alleen een restlaag veen overgebleven. Door de wisselende diepte van de veenputten en de aanwezigheid van veenwalletjes kan de diepte van de overgebleven veenlaag sterk variëren. Na het afgraven werd er bovendien zand op het veen aangebracht en de hoeveelheid wisselde sterk. Verder weg van de wijk of sloot werden vaak de minder volle kruiwagens, en later kiepkarren, gereden en over een groter oppervlak verspreid. Ook de samenstelling van dit teruggestorte materiaal kan verschillen. Hierna werd de grond geëgaliseerd en werd een dunne laag veen aangeploegd. Op deze manier ontstond het veenkoloniale dek wat in dit gebied op grote schaal voorkomt.

Verder kunnen er in dit gebied gliedelagen ontstaan zijn die lokaal (verschillen zelfs binnen een perceel) voor een slechte ontwatering zorgen. Door de jaren heen heeft er bovendien slijtage van het veen plaatsgevonden, waardoor sommige veengronden veranderd zijn in moerige gronden of zelfs zandgronden (een laag veen van minder dan 20 cm). Na-oorlogs zijn er ook nog diverse bodemverbeteringen uitgevoerd met wisselend succes zoals bezanden en diepe grondbewerkingen als mengwoelen. In de directe omgeving van het perceel is zeer waarschijnlijk gediepwloed in de jaren 70. Het mag dus duidelijk zijn dat de opbouw van de bodem in dit gebied zeer heterogeen is en door diverse oorzaken bovendien erg onvoorspelbaar wat betreft een aantal eigenschappen. De variatie is deels wel terug te zien in de hoogteverschillen en het micro-reliëf.

Op de bodemkaart van Nederland wordt de bodem aangeduid met de bodemcodes iVc IV, iWz IV, iWp VI en iVz IV. Dit wijst erop dat de grond als bodemtype een veengrond (V) is of een moerige podzol, dan wel een moerige eerdgrond is (W). Er is een zandondergrond met (p) of zonder (z) podzollaag te verwachten. De podzollaag in de ondergrond is mogelijk storend voor de landbouw. Overall is een veenkoloniaal dek te verwachten, maar die kan door de ouderdom van de bodemkaart wel onderhevig geweest zijn aan de eerder genoemde slijtage en dus dunner geworden zijn. Ten noordoosten en zuidoosten van het perceel lijkt verder een dekzandrug boven het veen uit te steken en verwacht mag worden dat die in het perceel ook nog invloed heeft. 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 redelijk goed tot goed ontwaterd zijn.

Via bodemdata.nl is een tweetal beschrijvingen van de bodemopbouw opgevraagd van een perceel in de omgeving van het onderzoeksperceel (zie Tabel 1). Hieruit valt op te maken dat de opbouw van de bodem inderdaad zeer divers is aangezien de punten op geringe afstand van elkaar gelegen zijn. De natuurlijke zandondergrond begint in de richting van het Zuiderdiep op circa 50 cm (2013) en naar de noordkant wordt deze pas op 240 cm gevonden. Ook is er de genoemde gliedelaag aangetroffen en is er lokaal nog een relatief dikke restveenlaag aanwezig met zowel mesotroof zeggeveen als het oligotrofe veenmosveen. Ook het typische veenkoloniale dek lijkt aanwezig te zijn.

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.

Tabel 1 Profielbeschrijvingen van een tweetal boorpunten in de buurt van het onderzochte perceel

boorpunt	boven-grens cm-mv	onder-grens cm-mv	hor.code	geo info	org. stof %	lutum %	leem %	M50 (um)
BPK.323236 jaar: 2013 X - Y: 259322 - 544067	0	30	Ap	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	10	1	14	155
	30	50	A/Cu	Antropogeen	4	1	14	155
	50	140	Ce	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	0.1	1	14	155
	140	160	Cer	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	0.1	1	14	155
	160	180	Cr	Eolisch en Fluvio-periglaciaal	0.1	1	14	155

boorpunt	boven-grens cm-mv	onder-grens cm-mv	hor.code	geo info	veen- soort	org. stof %	lutum %	leem %	M50 (um)
BPK.323237 jaar: 2013 X - Y: 258792 - 544730	0	30	Ap	Eolisch en Fluvio-periglaciaal		12	1	15	155
	30	35	Cw	Overig	Veraard veen	55	1		
	35	60	Cu	Moerig	Veenmosveen	85	1		
	60	100	Cu	Overig	Zeggeveen	80	1		
	100	160	Cr	Overig	Zeggeveen	80	1		
	160	200	Cr	Moerig	Veenmosveen	95	1		
	200	220	Cr	Overig	Zeggeveen	80	1		
	220	240	Cr	Moerig	Glyde en Gytja	45	1		
	240	260	Cr	Eolisch en Fluvio-periglaciaal		0.1	1	20	130

De kaarten zullen in hoofdstuk 3 Resultaten, per leverancier toegelicht worden, waarbij ingegaan wordt op de bruikbaarheid van de kaarten en de mogelijke toepassingen. Daarnaast zijn de kaarten, voor zover mogelijk, geanalyseerd op betrouwbaarheid ten aanzien van de pH, het organische stof gehalte en het lutumgehalte. Dit is gedaan door de waarden van de bodemscans op de locaties van de referentiemonsters te vergelijken met de analyseresultaten van de 50 referentiemonsters (Figuur 1) en de RMSE te bepalen. De RMSE is een maat voor de gemiddelde fout van de bodemscankaart ten opzicht van de referentiemonsters waarvan de waarde bekend is. De locatie van de referentiemonsters is bepaald aan de hand van 'simple random sampling'. Om de verschillende variaties binnen het perceel beter in beeld te krijgen, zijn, anders dan voor het perceel in Lemelerveld een minimale afstand van 15 meter tussen de punten aangehouden en zijn sommige automatisch gekozen referentiemonster locaties handmatig aangepast naar representatieve locaties voor dit perceel om alle klassen te vertegenwoordigen. De monsters zijn geanalyseerd door Eurofins-Agro in Wageningen.

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 bodemscankaarten met data van de grondreferentiemonsters. De op het proefperceel verzamelde grondreferentiemonsters zijn geanalyseerd door het Eurofins Agro lab in Wageningen. De referentiemonsters werden verzameld op 28 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) 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 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 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** 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 uitgevoerd volgens de Basis NIR-methode, waarbij de zuurgraad is bepaald volgens een door Eurofins zelf ontwikkeld protocol genaamd: PHC3 (gelijkwaardig aan de NEN ISO 10390). O.s. en lutum gehalte zijn met een NIRS (TSC) analyse bepaald. Tevens is er een extra een fysische bepaling van de Organische stof elementair, Klei en pH (pH-CaCl₂) gedaan.

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 zijn 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. Dit levert een waarde tussen 0 en 1, waarbij 1 een perfect verband tussen beide variabele 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 $< 0,05$.

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 preciselandbouw.

3 Resultaten

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de deelnemende bodemscans, wordt in hoofdstuk 3 Resultaten per scan uiteengezet wat de behaalde resultaten zijn voor de pH, organische stof en lutum. Per scan wordt benoemd wat de behaalde correlatie (R_2) en afwijking (RMSE) is. Aansluitend wordt in paragraaf **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** een samenvatting gemaakt van de statistische gegevens voor de uitkomsten van de vergelijking op pH, organische stof en lutum.

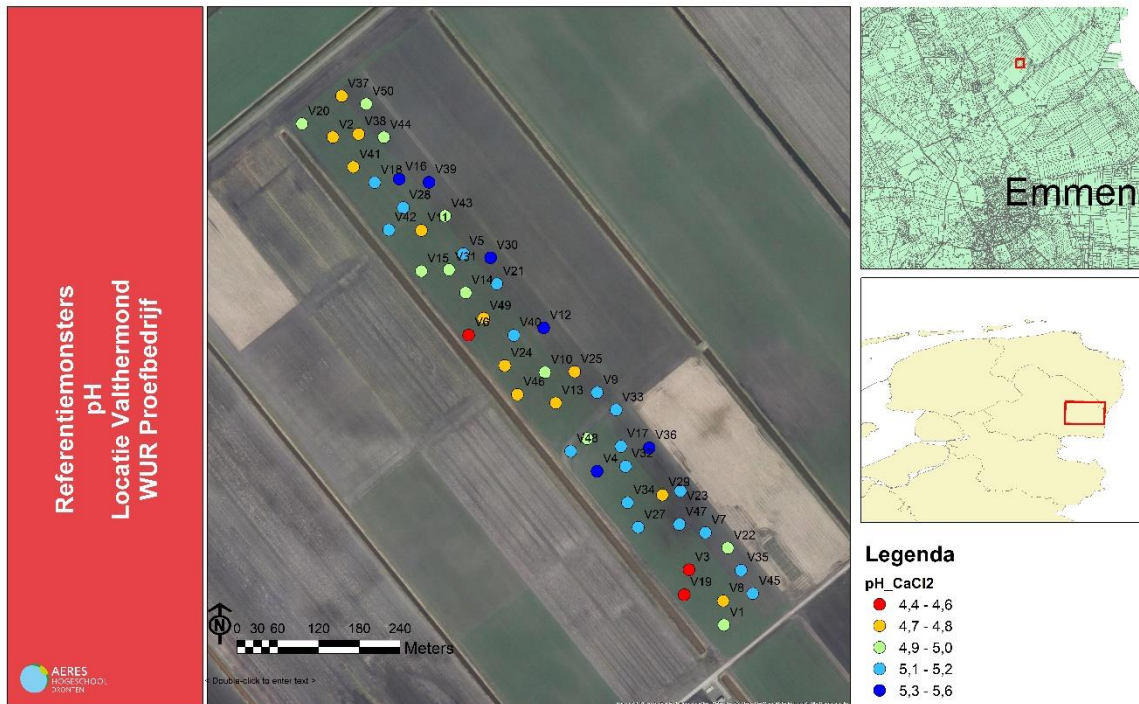
3.1. Referentiemonsters

In dit vergelijkingsonderzoek zijn 50 referentiemonsters gestoken in het proef perceel. Deze referentiemonsters worden in dit rapport als maatstaaf voor de bodemscankaarten genomen. In Tabel 2 zijn de resultaten van de pH, organische stof en lutum in een tabel samengevat. Bij het lezen van deze gegevens dient de opmerking te worden geplaatst dat de referentiemonsters zijn gebruikt voor het verifiëren van de bodemscanresultaten. De referentiemonsters zijn niet genomen om het perceel in kaart te brengen, al zal het gemiddelde praktische gezien overeenkomen met de daadwerkelijke perceelgemiddelden.

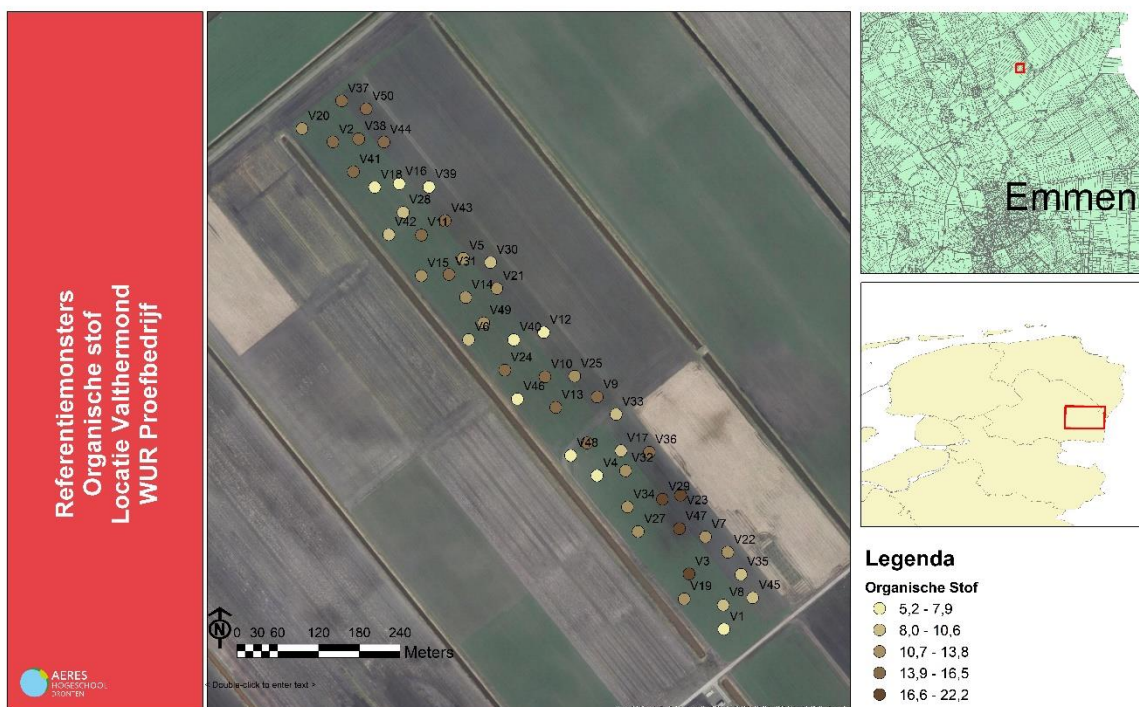
Tabel 2 Samenvatting 50 referentiemonsters perceel Valthermond

Valthermond	pH	Organische stof (%)	Lutum (%)
Minimaal	4,40	5,20	1,00
Maximaal	5,60	22,20	3,40
Gemiddeld	5,01	12,48	1,80
Mediaan	5,00	12,55	1,70
St.dev (tov. gemiddelde)	0,24	4,16	0,63

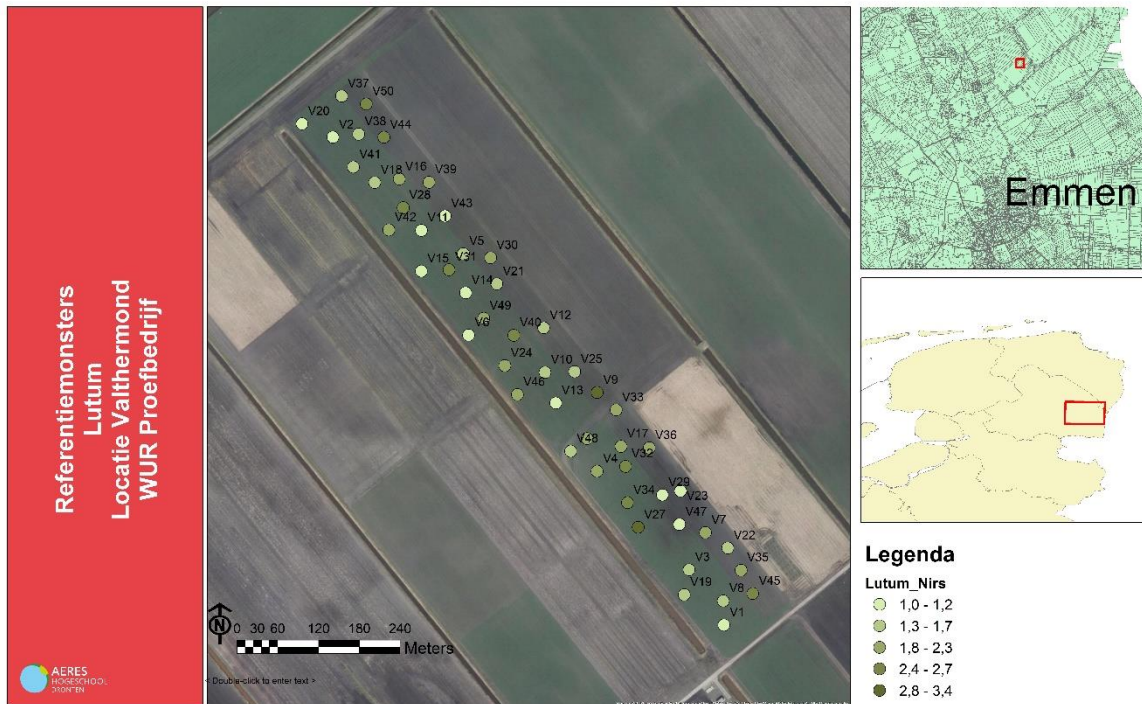
Uit de referentiemonsters kan worden opgemaakt dat er veel variatie in het perceel te vinden is voor met name de organische stof percentages. De organische stof varieert van minimaal 5,2% tot maximaal 22,2% met een gemiddelde en mediaan van zo'n 12,5%. De pH is redelijk normaal met een gemiddelde van 5 (vijf). Het lutumgehalte in het perceel is laag, variërend van minimaal 1% tot 2% met een gemiddelde van 1,12%. Om een beeld te geven van de pH, organische stof en lutum verdeling in het perceel, zijn in Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 de op basis van de referentiemonsters gemaakte punten kaarten weergegeven.



Figuur 2 pH puntenkaart op basis van de referentiemonsters



Figuur 3 Organische stof puntenkaart op basis van de referentiemonsters



Figuur 4 Lutum puntenkaart op basis van de referentiemonsters

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.

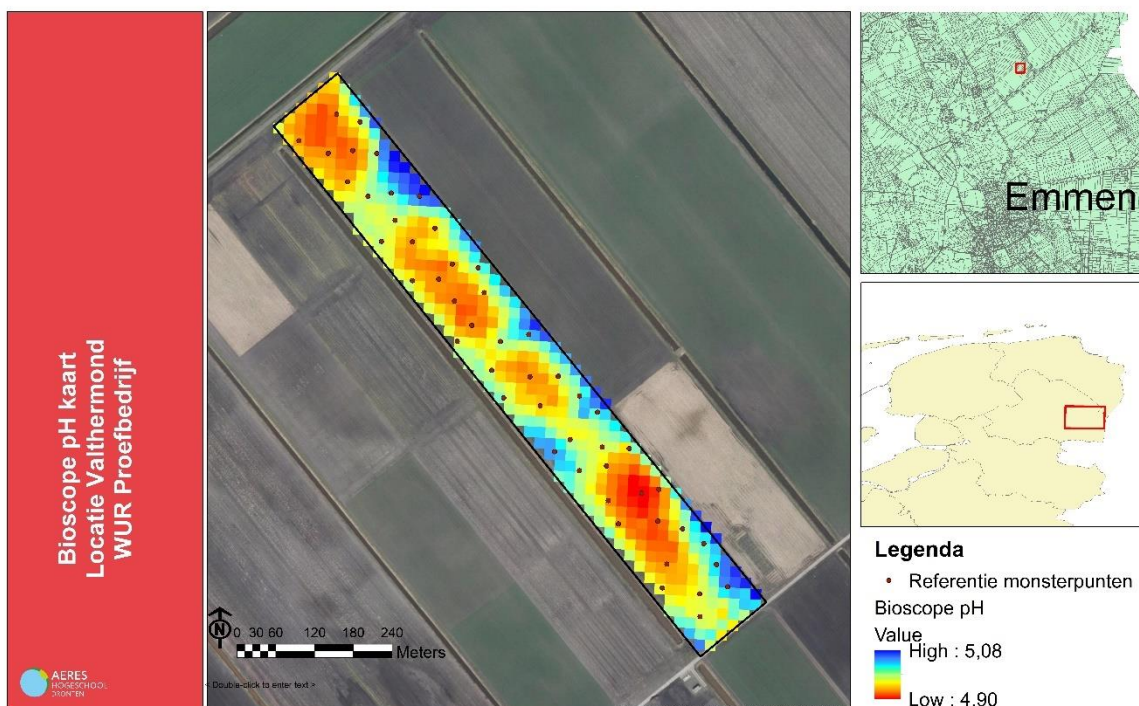
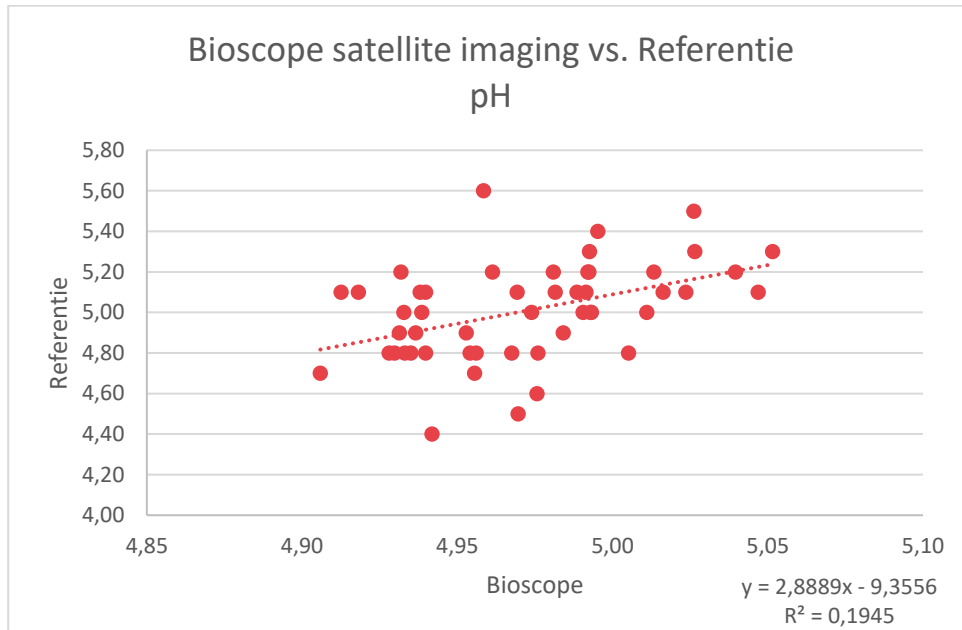
3.2. Bioscope satellite imaging

De resultaten van Bioscope zijn gebaseerd op scans van meerdere jaren satellietbeelden. Op basis van de satellietbeelden zijn zones onderscheiden. Beelden met wintergewassen zijn niet meegenomen. Op 7 april 2020 zijn de bodemonsters genomen (in verband met Covid-19 en quarantaine niet op de gezamenlijke scandag) (Bioscope, 2020). Onderstaand zullen de resultaten afzonderlijk voor pH, organische stof en lutum worden uitgewerkt op basis van de correlatie R^2 en afwijking (RMSE).

3.2.1. pH

De door Bioscope uitgevoerde scan geeft voor de vergelijking op pH een R^2 van 0,19. De gevonden absolute RMSE is 0,23 op een perceelgemiddelde pH van 5,01. In Vergelijking 1 zijn de meetwaarden op de bemonsteringslocaties van de referentiemonsters en de Bioscope scanwaarden tegen elkaar uitgezet. Figuur 5 geeft de door Bioscope aangeleverde pH kaart van het perceel weer.

Vergelijking 1 pH kaart Bioscope scan vs. Referentiemonsters

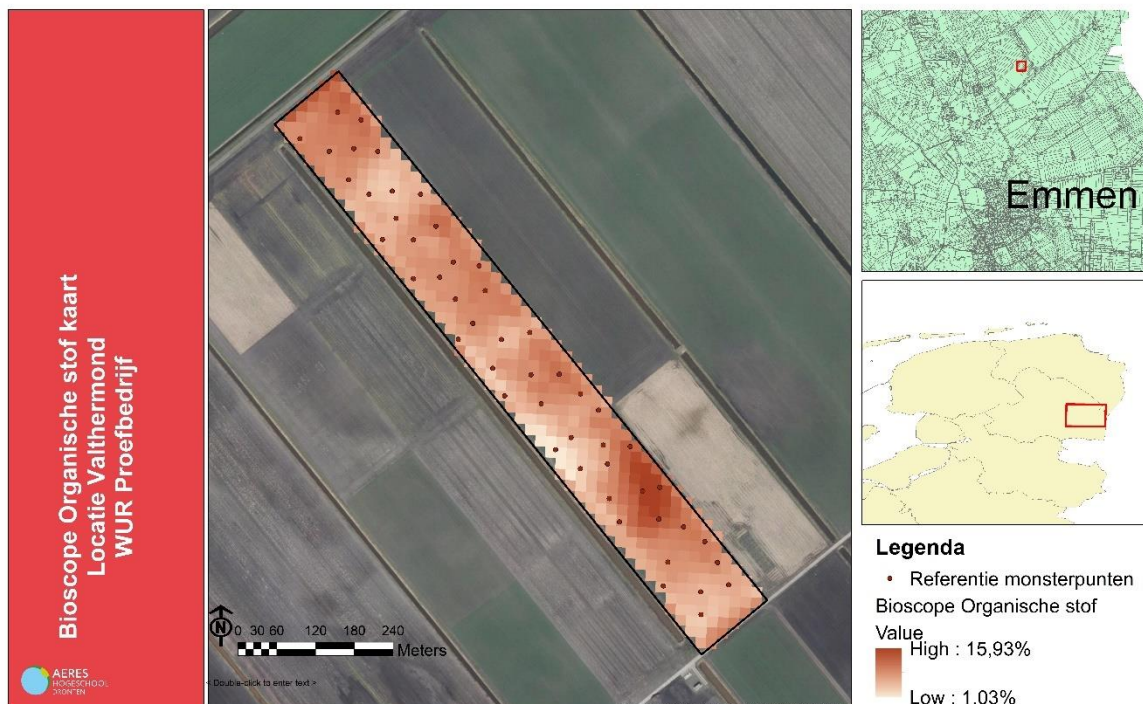
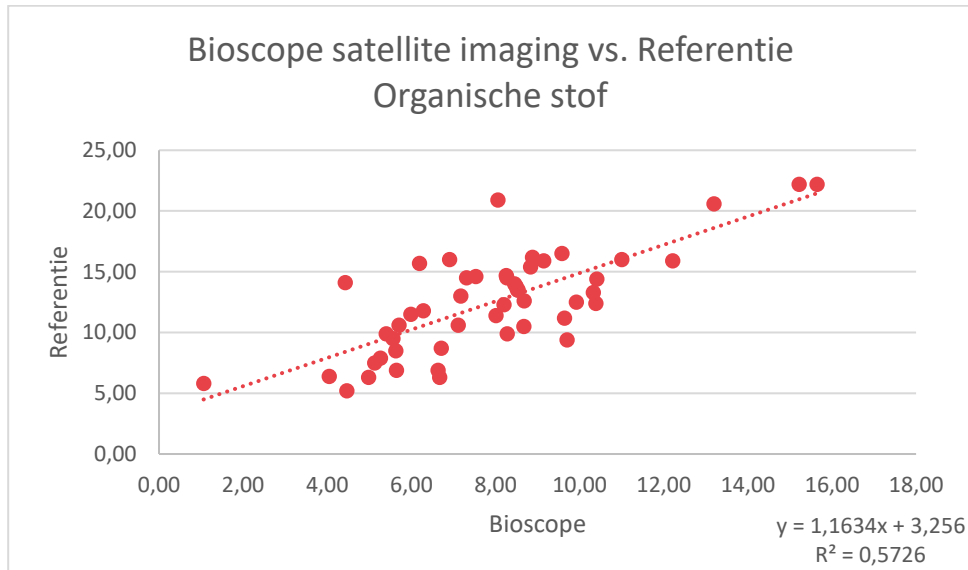


Figuur 5 pH kaart aangeleverd door Bioscope. Kaart opgemaakt in ArcMap software

3.2.2. Organische stof

De vergelijking tussen de door Bioscope bepaalde organische stof gehalten en de organische stof gehalten van de referentiemonsters geeft een R^2 van 0,57 en een RMSE 5,31 procentpunt organische stof bij een perceelgemiddelde organische stof gehalte van 12,48%. Vergelijking 2 toont de door Bioscope bepaalde organische stof waarden ten opzichte van de analysewaarden van de referentiemonsters. Figuur 6 geeft de door Bioscope aangeleverde organische stof kaart weer.

Vergelijking 2 Organische stof gehalten van Bioscope scan vs. Referentiemonsters



Figuur 6 Organische stof kaart aangeleverd door Bioscope. Kaart opgemaakt in ArcMap software

3.3. Aurea Imaging / Dronewerkers dronevlucht

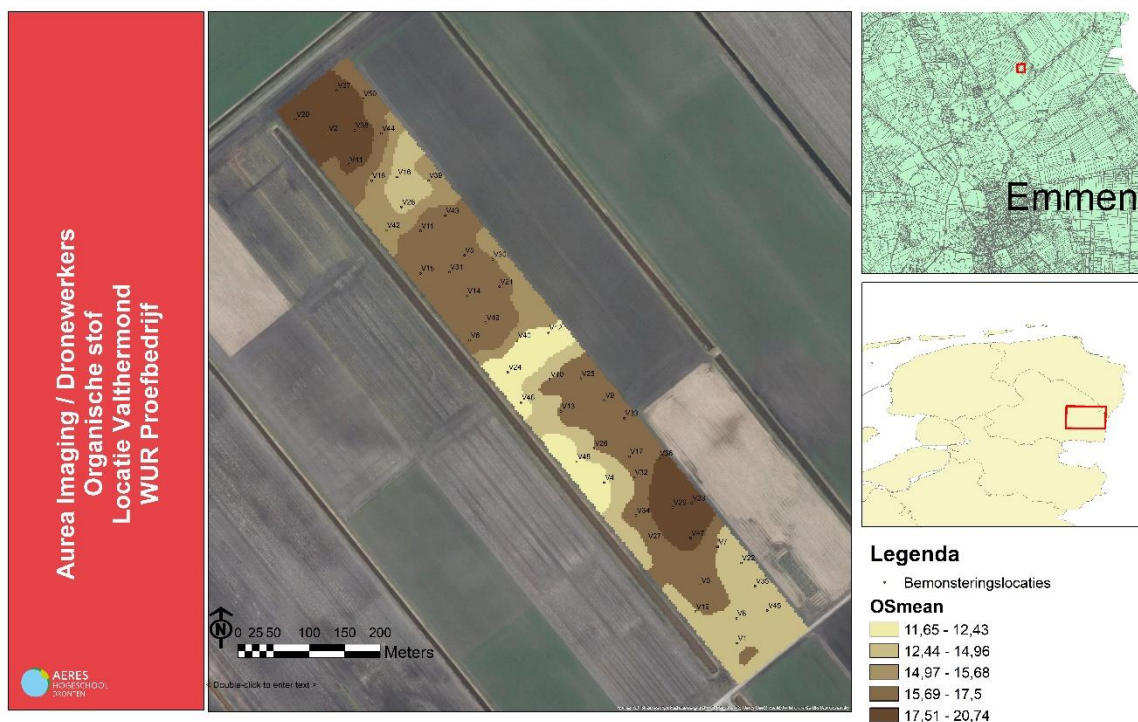
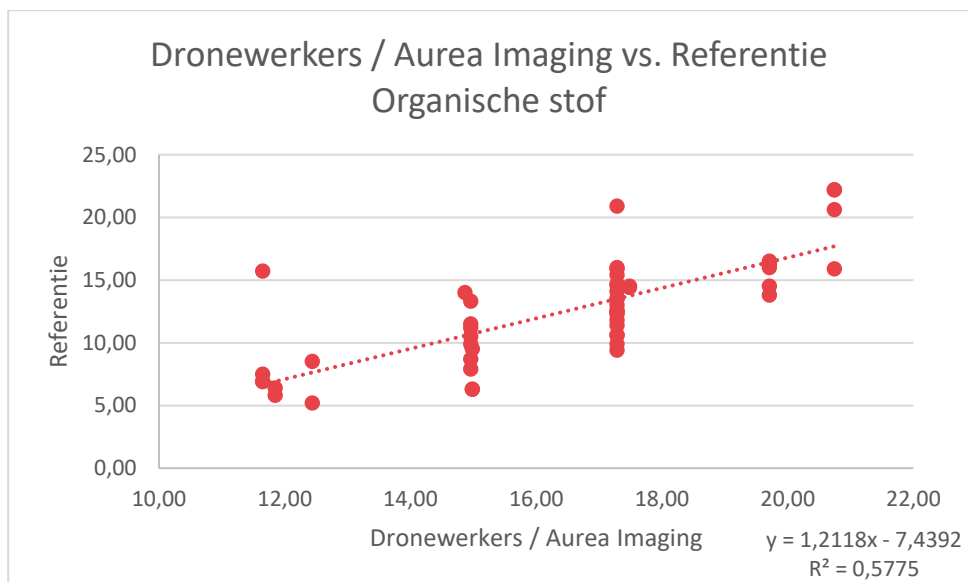
In het voorjaar van 2020 is door Dronewerkers een dronevlucht boven het proefperceel in Valthermond uitgevoerd. De dronedata is door Aurea Imaging verwerkt tot een organische stof kaart. De beelden zijn gemaakt met een Parrot Sequoia.

3.3.1. Organische stof

De door Dronewerkers uitgevoerde scan en de door Aurea Imaging opgeleverde organische stof kaart, geeft een R^2 van 0,58 en een absolute RMSE van 4,81% wanneer deze wordt vergeleken met de resultaten van de referentiemonsters. Op dit proefperceel is op basis van de referentiemonsters een organische stof gehalte van gemiddeld 12,48% gevonden. De RMSE in de vergelijking tussen de

scankaart en de referentiemonsters komt ongeveer gelijk uit als het gemiddelde van alle referentiemonsters op dit perceel, welke op een standaard deviatie van 4,16% uitkomt. In Vergelijking 3 wordt de spreidingsgrafiek van de vergelijking tussen de scankaart en de referentiemonsters weergegeven. Figuur 7 toont een visuele afbeelding van de zonekaart van de organische stof gehalten volgens de scan.

Vergelijking 3 Vergelijking 3 Organische stof gehalten van Dronewerkers scan (kaart aangeleverd door Aurea Imaging) vs. Referentiemonsters



Figuur 7 Organische stof kaart aangeleverd door Aurea Imaging (scan uitgevoerd door Dronewerkers). Kaart opgemaakt in ArcMap software

3.4. Passieve gamma straler “De Mol” Loonstra & Van der Weide

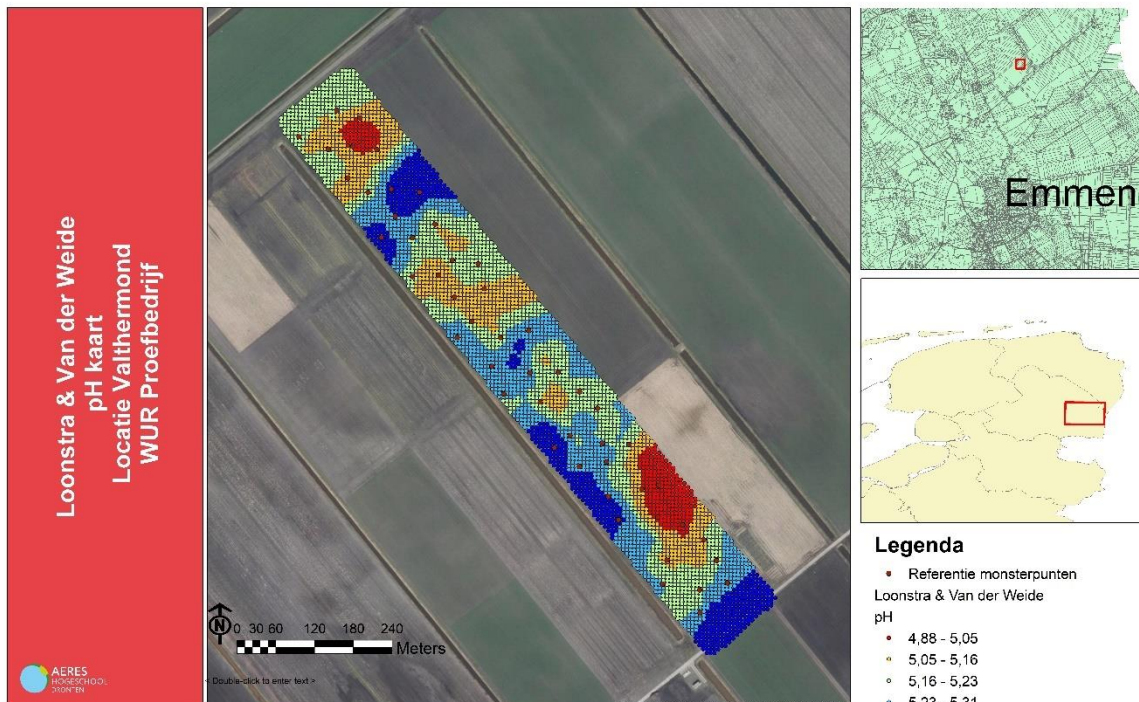
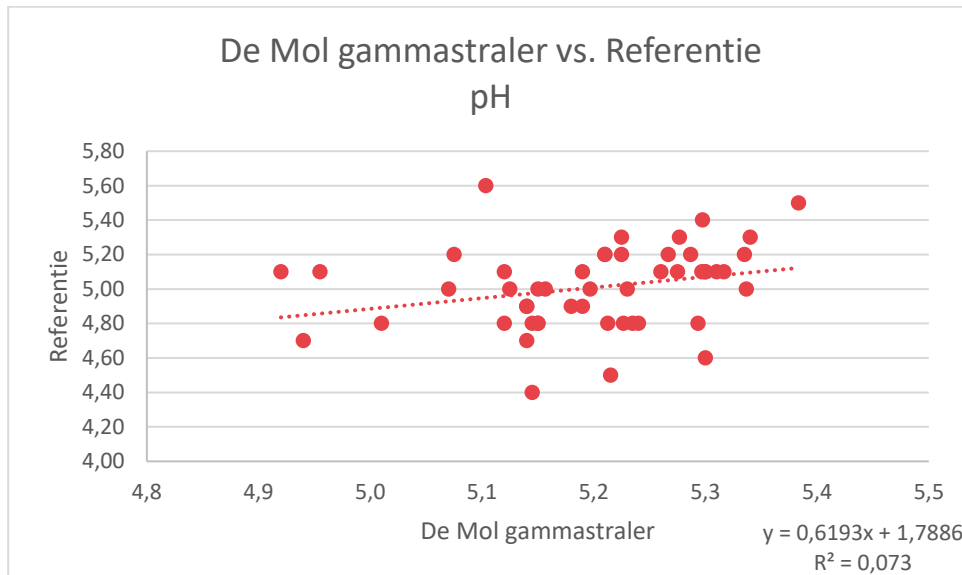
Loonstra & Van der Weide levert op basis van de bodemscan meerdere kaarten. De voor deze vergelijking hoofdzakelijke kaarten zijn daarmee alle drie geleverd. De scan is op 1 april 2020 uitgevoerd. In de

paragrafen 3.4.1, 3.4.2 en 3.4.3 zijn de resultaten van de vergelijkingen tussen de scanwaarden en de analysewaarden van de referentiemonsters uitgewerkt voor de pH, organische stof en lutum.

3.4.1. pH

Het vergelijken van de pH van de scanwaarden van Loonstra & Van der Weide met de analyseresultaten van de referentiemonsters geeft als resultaat een R^2 van 0,07. De gevonden absolute RMSE is 0,30 op een perceel gemiddelde pH van 5,01. Vergelijking 4 geeft de gebruikte vergelijkingwaarden weer. Figuur 8 laat de door Loonstra & Van der Weide aangeleverde puntenkaart weer waarop de vergelijking is gebaseerd.

Vergelijking 4 pH waarden De Mol gammastraler vs. Referentiemonsters

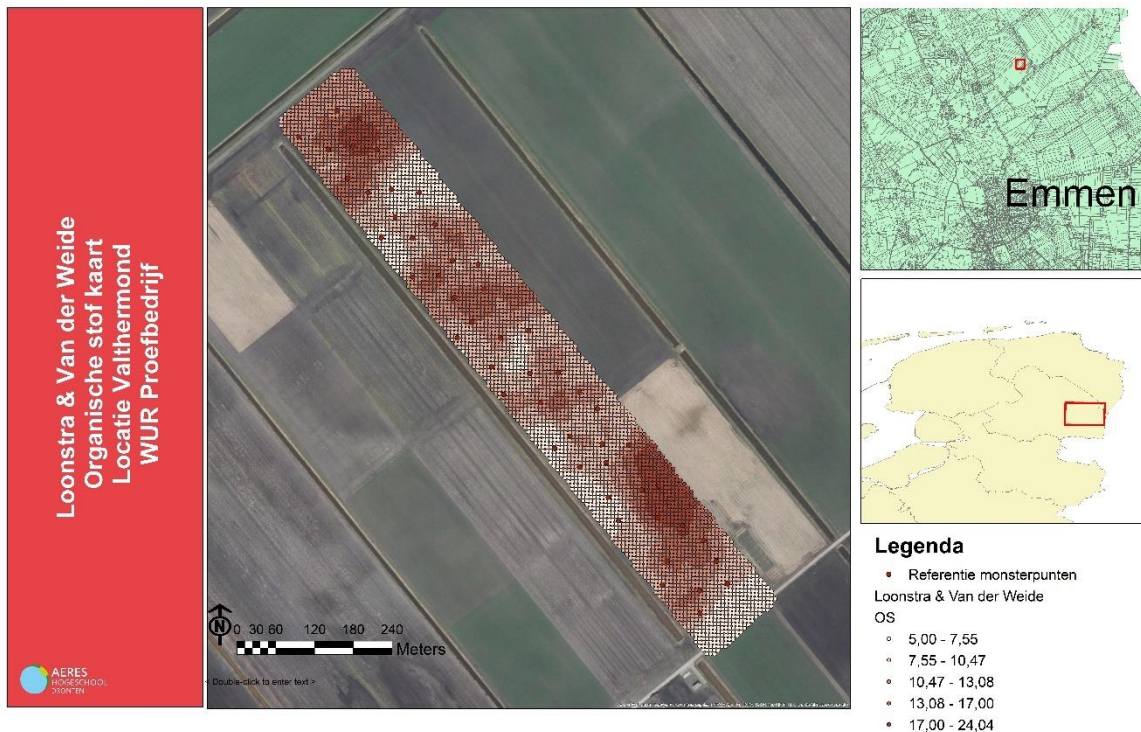
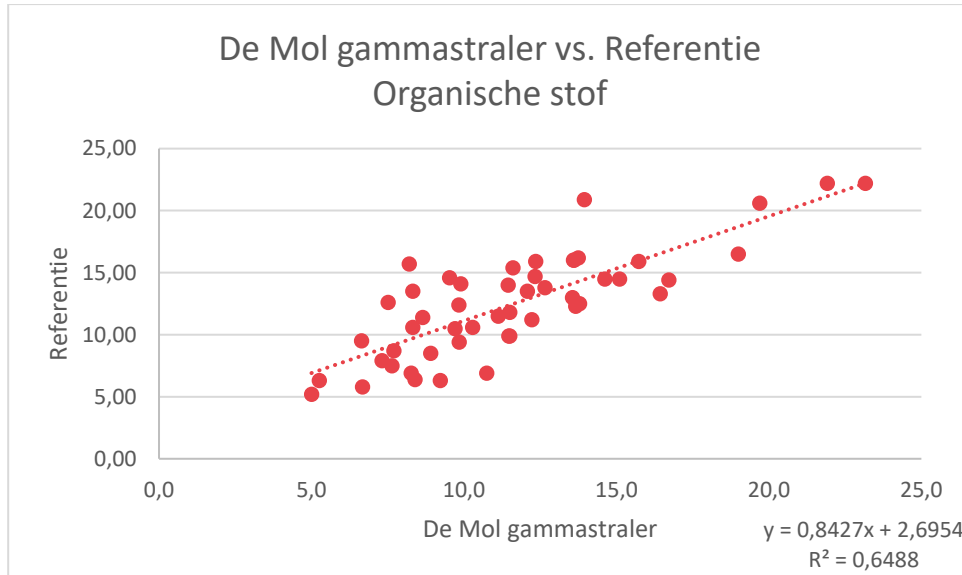


Figuur 8 pH kaart aangeleverd door Loonstra & Van der Weide. Kaart opgemaakt in ArcMap

3.4.2. Organische stof

De vergelijking tussen de gescande en de geanalyseerde organische stof waarden resulteert in een R^2 van 0,65 en een absolute RMSE van 2,67 procentpunt organische stof op een perceel gemiddelde van 12,48%. Vergelijking 5 geeft de waarden weer welke in de vergelijking zijn gebruikt. Figuur 9 laat de puntenkaart zien welke is aangeleverd door Loonstra & Van der Weide om in de vergelijking te gebruiken.

Vergelijking 5 Organische stof waarden De Mol gammastraler vs. Referentiemonsters

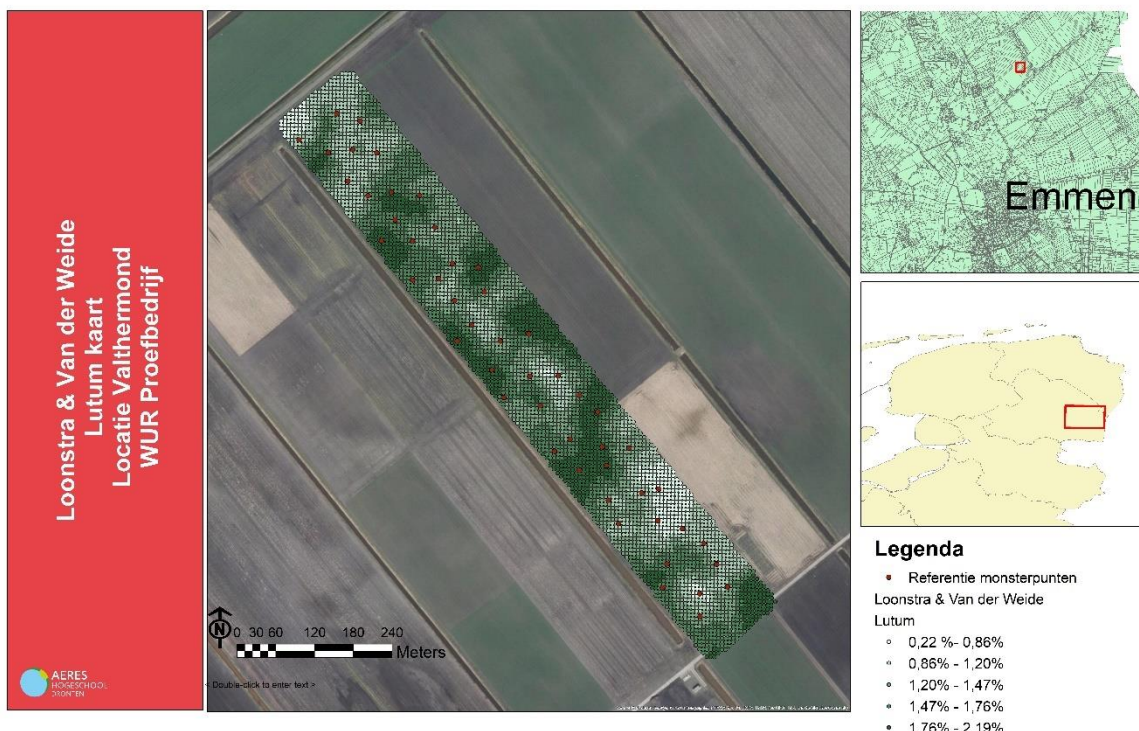
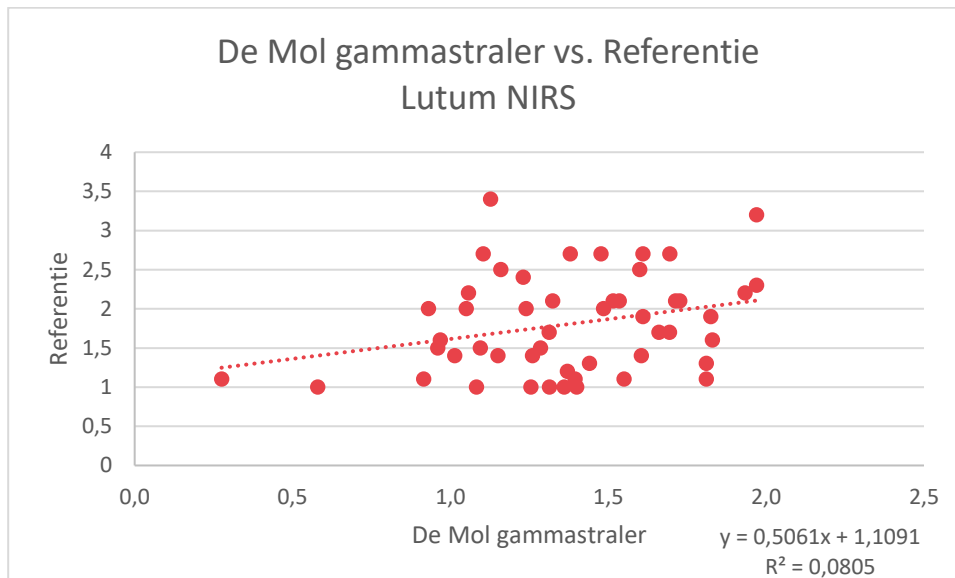


Figuur 9 Organische stof kaart aangeleverd door Loonstra & Van der Weide. Kaart opgemaakt in ArcMap

3.4.3. Lutum

Wanneer de resultaten van de scan- en analysewaarden voor lutum met elkaar worden vergeleken, wordt een R^2 van 0,08 gevonden. De absolute RMSE is 0,75% lutum op een perceel gemiddelde van 1,12%. Vergelijking 6 laat zien hoe de gebruikte lutum waarden van de scan en referentiemonsters zich tegenover elkaar verhouden. Figuur 10 geeft een impressie van de gebruikte puntenkaart in deze vergelijking.

Vergelijking 6 Lutum waarden De Mol gammastraler vs. Referentiemonsters



Figuur 10 Lutum kaart aangeleverd door Loonstra & Van der Weide. Kaart opgemaakt in ArcMap

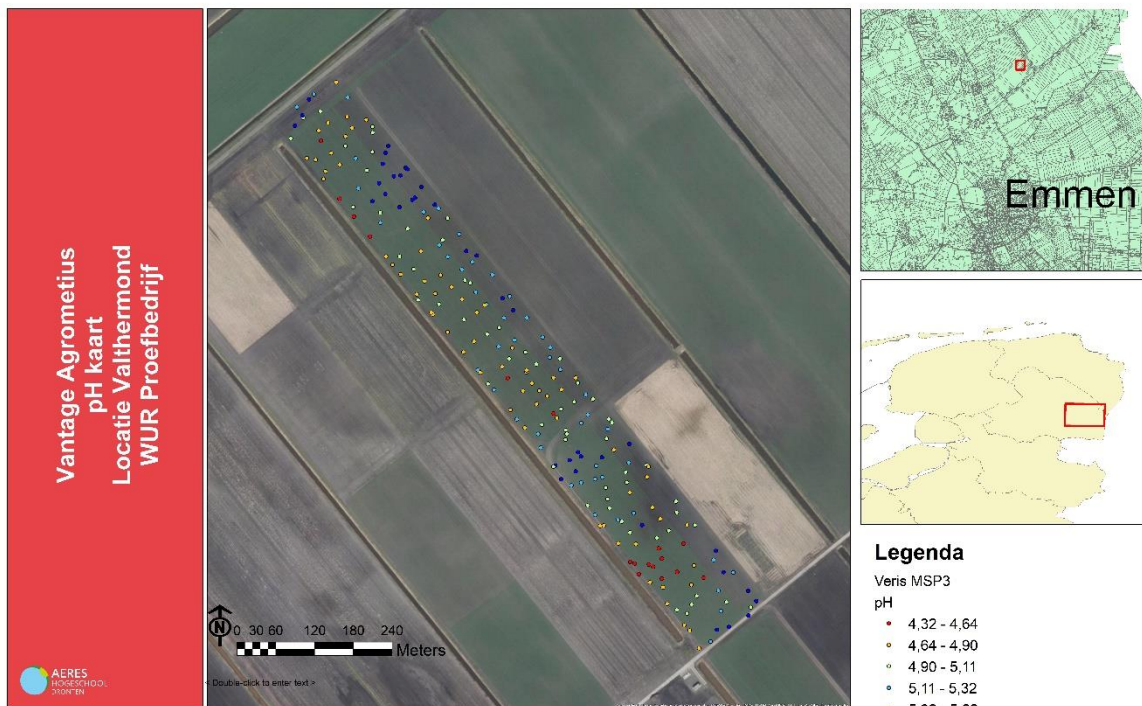
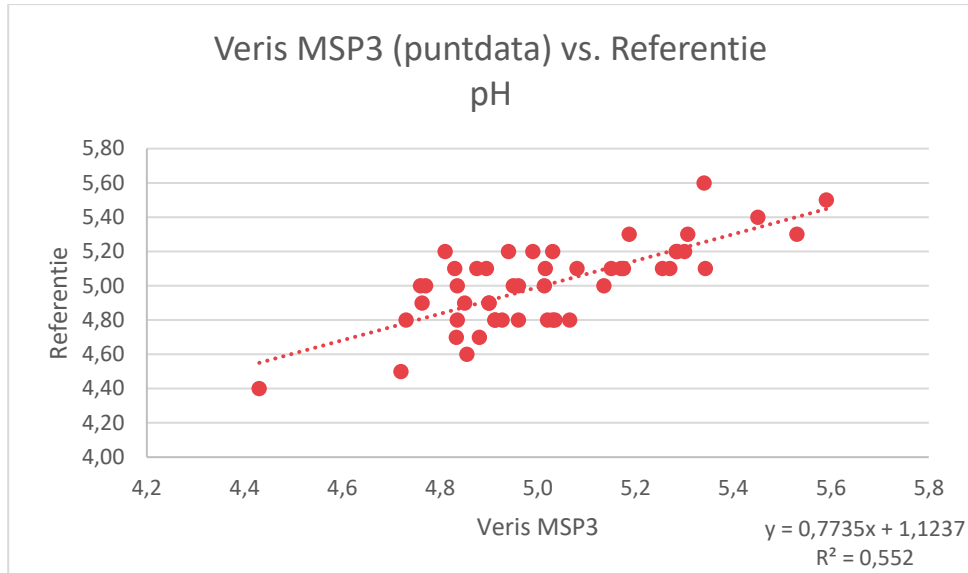
3.5. Veris MSP3 Vantage Agrometius

De bodemkaarten van de Veris MSP3 zijn beoordeeld middels de door Agrometius aangeleverde puntenkaarten. Agrometius heeft voor het perceel in Valthermond een pH en organische stof aangeleverd om te vergelijken met de analysewaarden van de referentiemonsters voor respectievelijk de pH, organische stof en lutum. De scan is uitgevoerd op 30 maart 2020.

3.5.1. pH

De vergelijking van de pH puntenkaart van Agrometius en de pH analysewaarden van de referentiemonsters, resulteert in een R^2 van 0,55 en een absolute RMSE van 0,17 bij een perceel gemiddelde pH van 5,01. Vergelijking 7 is een weergave van de scan en referentie waarden ten opzichte van elkaar. Figuur 11 geeft de door Agrometius aangeleverde puntenkaart welke is gebruikt in de vergelijking.

Vergelijking 7 pH waarden Veris MSP3 vs. Referentiemonsters

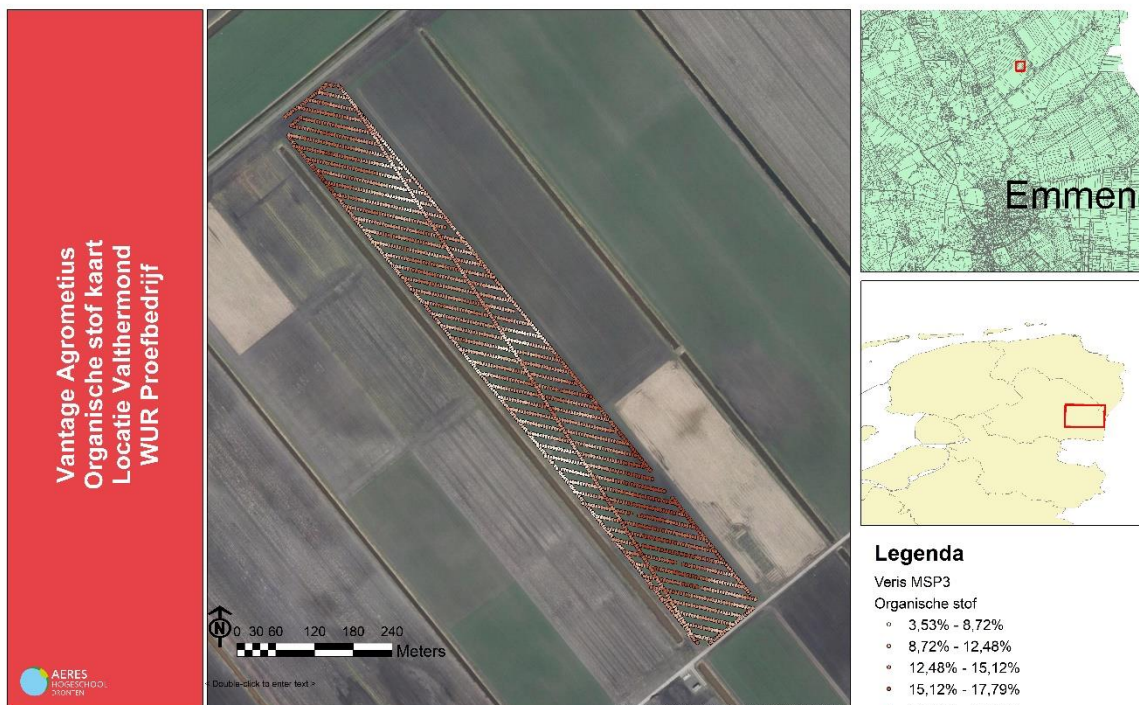
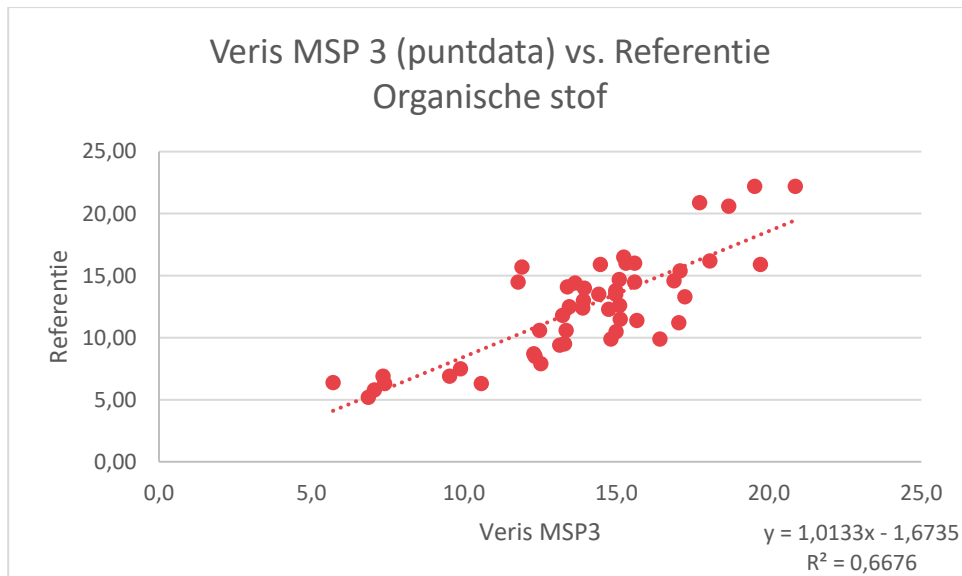


Figuur 11 pH kaart aangeleverd door Vantage Agrometius. Kaart opgemaakt in ArcMap

3.5.2. Organische stof

Als resultaat van de vergelijking tussen de door de Veris MSP3 scankaart getoonde organische stof gehalten en de geanalyseerde organische stof gehalten in de referentiemonsters, is een R^2 van 0,67 gevonden en een absolute RMSE van 2,80 procentpunt organische stof bij een perceel gemiddelde van 12,45%. In Vergelijking 8 zijn de scan en analyse resultaten tegenover elkaar afgezet. Figuur 12 laat de voor de vergelijking gebruikte puntenkaart zien.

Vergelijking 8 Organische stof waarden Veris MSP3 vs. Referentiemonsters



Figuur 12 Organische stof kaart aangeleverd door Vantage Agrometius. Kaart opgemaakt in ArcMap

3.6. Samenvattend

Om vast te kunnen stellen welke bodemscan op de dalgrond in Valthermond het best presteert is in Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 een samenvatting gemaakt met de behaalde resultaten voor respectievelijk de pH, het organische stof gehalte en de lutum gehalten (voor de bedrijven die een lutumkaart hebben aangeleverd). De resultaten zijn weergegeven in de vorm van de R^2 en de RMSE (gemiddelde absolute afwijking van de bodemscankaartwaarden ten opzichte van de referentiemonsters). De getoonde kolom 'Mengmonster' betreft de standaard deviatie van de individuele referentiemonsterwaarden ten opzichte van de gemiddelde waarde van de 50 referentiemonsters.

Tabel 3 Samenvattingstabel bodemscanresultaten pH, gemiddelde perceel: 5,01

pH	Mengmonster	Bioscope	Loonstra	Vantage Agrometius
R^2	n.v.t.	0,19	0,07	0,55
RMSE	(St.dev.) 0,24	0,23	0,30	0,17
P-waarde	n.v.t.	-	-	0,00

Tabel 4 Samenvattingstabel bodemscanresultaten organische stof (gemiddelde perceel: 12,48%)

O.S.	Mengmonster	Bioscope	Dronewerkers	Loonstra	Vantage Agrometius
R^2	n.v.t.	0,57	0,58	0,65	0,67
RMSE	(St.dev.) 4,12	5,31	4,81	2,67	2,80
P-waarde	n.v.t.	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 5 Samenvattingstabel resultaten lutum (gemiddelde perceel: 1,70%)

Lutum	Mengmonster	Loonstra
R^2	n.v.t.	0,08
RMSE	(St.dev.) 0,32	0,75

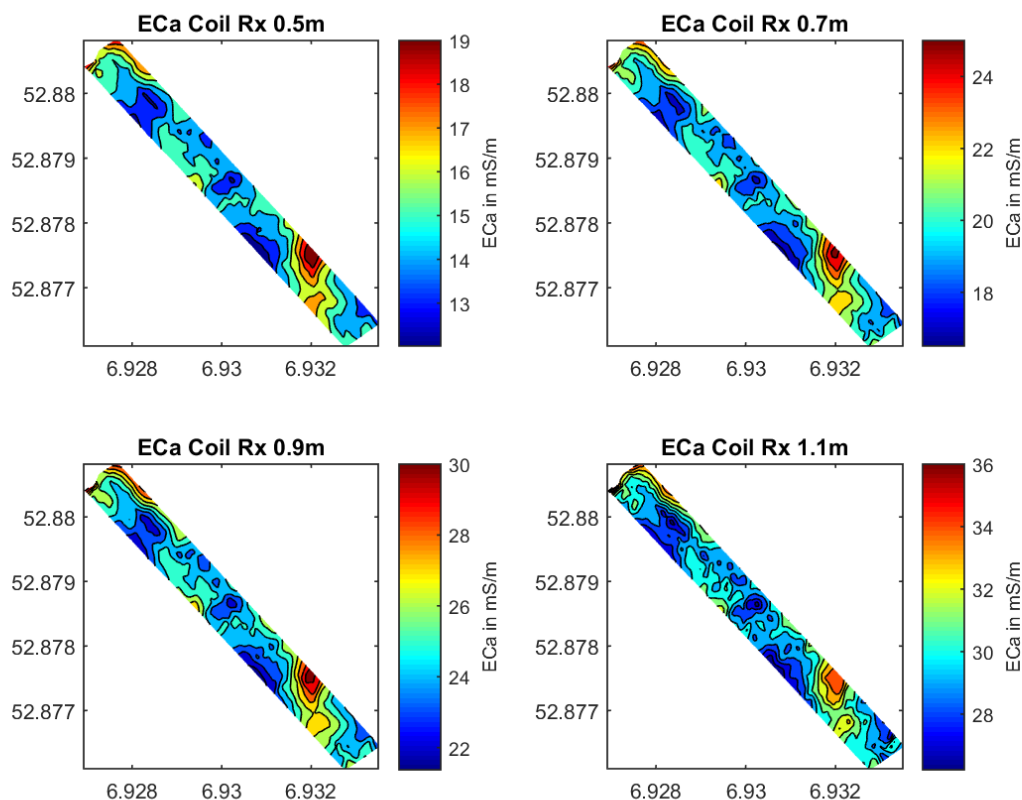
4 Overige bodemscans

Elektromagnetische bodemscanners

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 geleidingswaarden (EC) van de individuele inductiespoelen zijn weergegeven in Figuur 13.

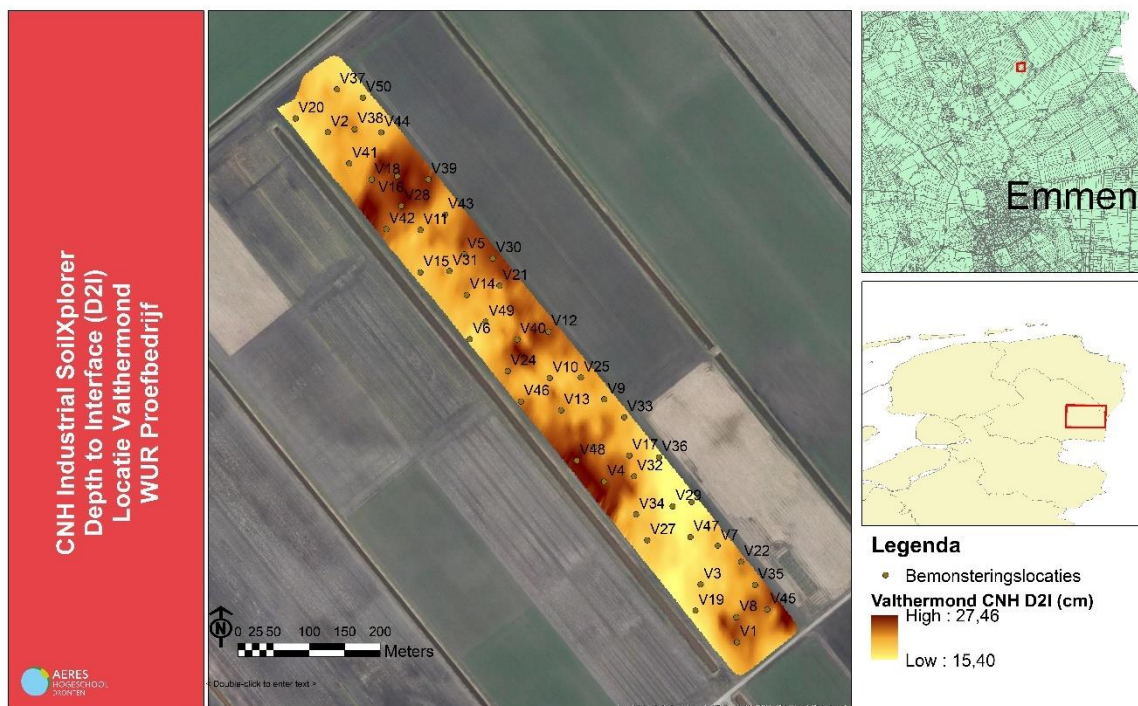


Figuur 13 Weergave van de geleidingswaarden van de individuele meetspoelen van de SoilXplorer

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 penetrologer (Eijkkamp) verkregen indringingsweerstand data. Op een D2I kaart wordt weergegeven op welke diepte zich een overgang slaag op een specifieke locatie in het gescande perceel bevindt. Als vergelijking van de SoilXplorer is ervoor gekozen om de D2I kaart te vergelijken met de

indringingsweerstand van de bodem op de locaties waar ook de referentiemonsters zijn gestoken. De indringingsweerstand is gemeten met een penetrologger van Eijkelkamp. 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. In Figuur 14 is de Depth to Interface kaart voor het perceel van Valthermond weergegeven.

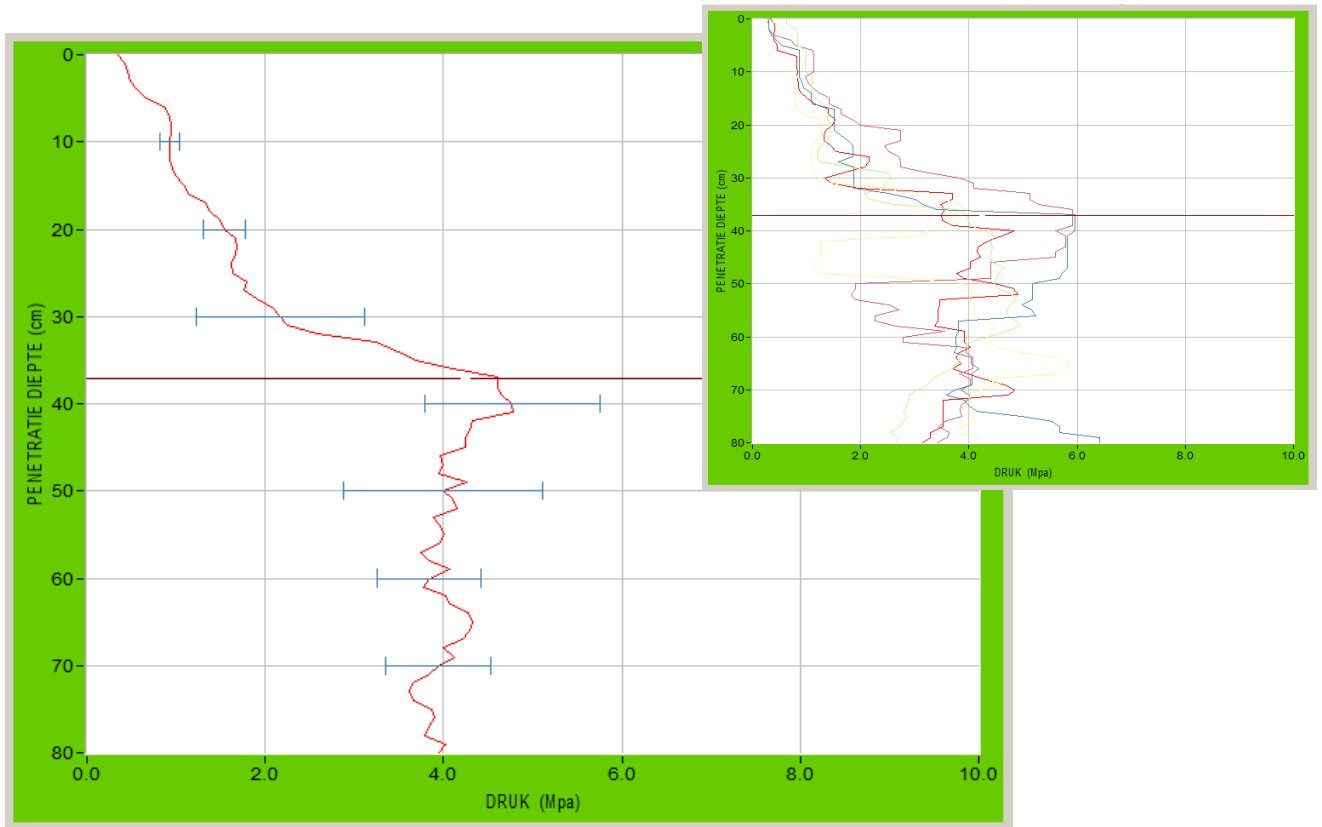


Figuur 14 Depth to Interface SoilXplorer locatie Valthermond

4.1.2. Resultaat

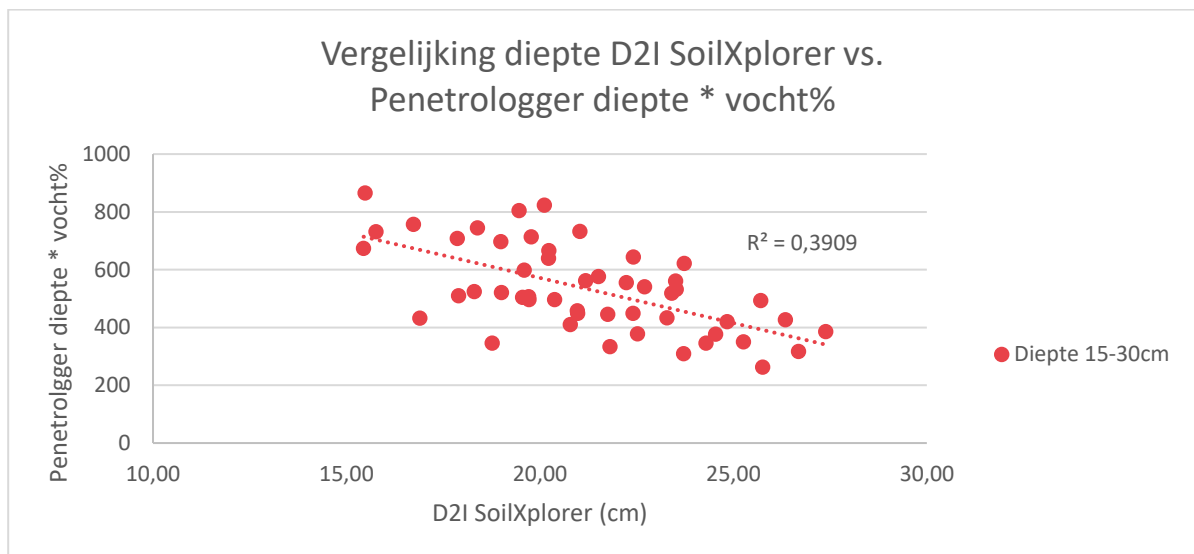
Het vergelijken van de D2I waarden en de grootste verandering in indringingsweerstand blijkt niet zo eenvoudig als aanvankelijk werd verondersteld. Naast het feit dat de genoemde vergelijking niet eenvoudig is uit te voeren, dient ook de vraag te worden gesteld in hoeverre de vergelijking relevant is. 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 een beeld te geven van de uitgevoerde vergelijking is in Figuur 15 een afdruk weergegeven van de druk (MPa) welke met de penetrologger is gemeten op een specifieke diepte op bemonsteringslocatie 33 in het perceel te Valthermond. In figuur 15 wordt in de grote afbeelding (links) een gemiddelde weergegeven van 5 penetratiemetingen in een straal van 1 meter rondom het monsterpunt. Op de y-as wordt de penetratiediepte weergegeven en op de x-as staat de gemeten druk in MPa. De rechterafbeelding in figuur 15 betreft dezelfde meting, waarbij de vijf individuele metingen in één grafiek worden weergegeven. De spreidingsbalken in de linker grafiek zijn gebaseerd op de individuele metingen in de rechter grafiek. In dit voorbeeld werd door de SoilXplorer een overgangslaag aangeduid op 19,77 cm diepte. Uit de meetgegevens van de penetrologger kwam een diepte van 29 cm als aanduiding voor de meest extreme overgang in de grond. Voor de penetrologger is deze overgang bepaald door de gemeten Mpa als weerstand op een specifieke diepte te verminderen met het gemiddelde van de vier voorgaande gemeten indringingsweerstand. Hierbij werd een gemiddelde gebruikt om pieken en meetfouten uit te

middelen. Een vergelijking van bovengenoemde voor alle 50 meetpunten op het perceel in Valthermond is weergegeven in Vergelijking 9. De vergelijking levert een R^2 van 0,39 op.



Figuur 15 Penetrologer grafiek, monsterlocatie 33, Valthermond

Vergelijking 9 Diepte SoilXplorer versus Penetrologger diepte * vocht%



Op basis van bovenstaande bestaat 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 of onderbouwde meting waarmee

voor de D2I kaart kan worden gecontroleerd of de meting daadwerkelijk de juiste verdichte laag kan weergeven.

4.2. Soil Masters

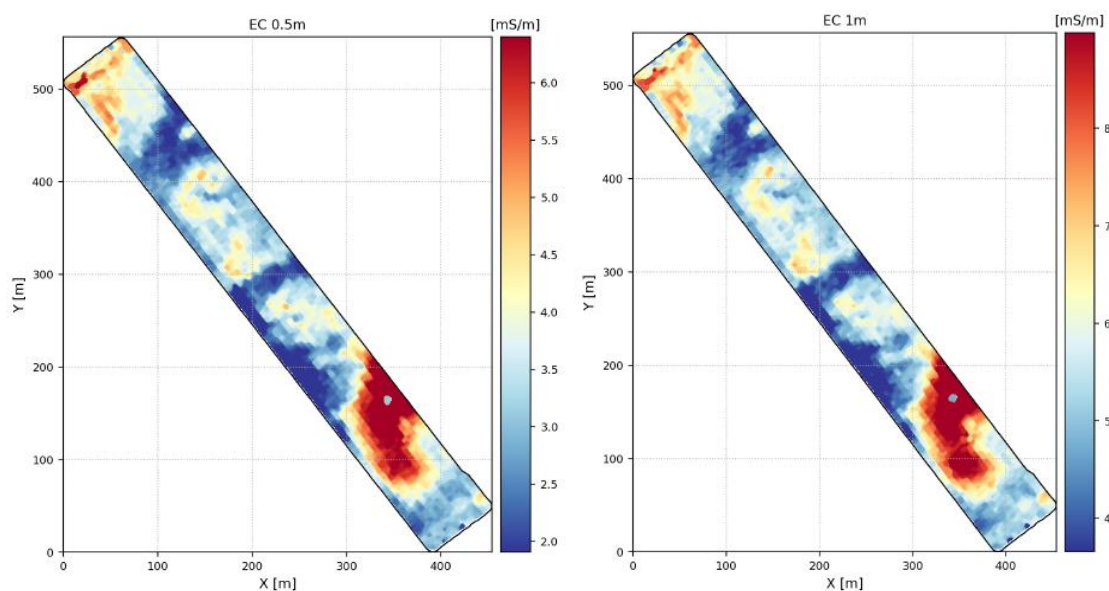
SoilMasters brengt met de DualEM 21S bodemscanner de bodem in kaart en bepaalt wat de beste punten zijn om deze te bemonsteren. De bodemmonsters worden geanalyseerd volgens de Kinsey-Albrecht bodemanalyse, waarna een bodemadvies, gekoppeld aan taakkaarten, kan worden vastgesteld. Omdat de elektrische geleidbaarheid van de bodem naar eigen zeggen (referent 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

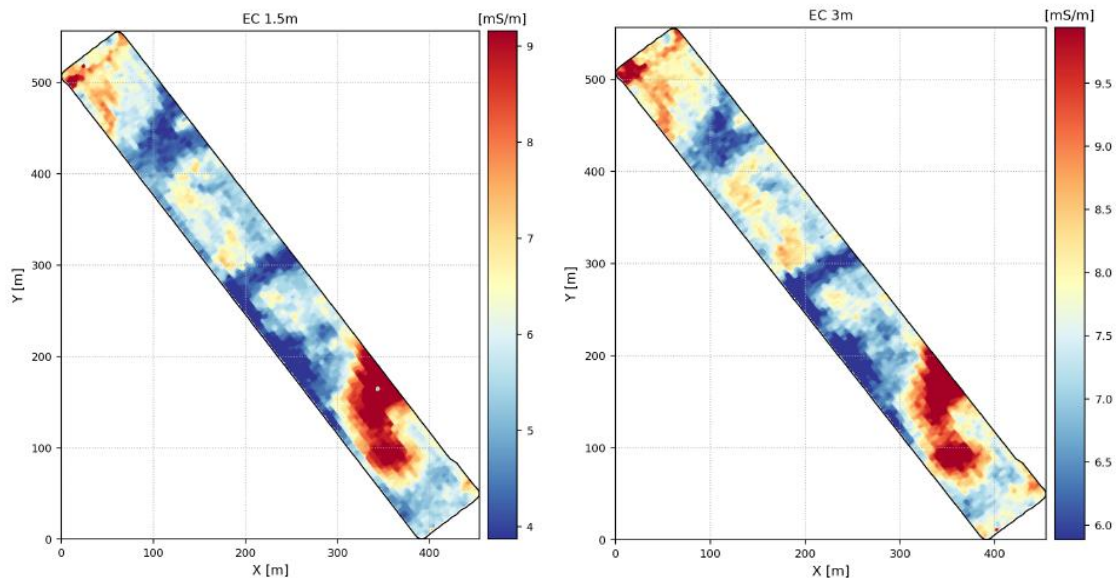
Middels de bodemscan worden op basis van de elektrische geleidbaarheid 4 zones per perceel (vanaf 4 hectare) gecreëerd. Per zone wordt unieke locatie bepaald om een bemonsteringslocatie van te nemen. Er zijn dus 4 bodemmonsters per perceel nodig. Hierbij wordt geen limiet aan de grootte van het perceel 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 (zogenaamd) superperceel, waarmee maximaal 8 bodemmonsters 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

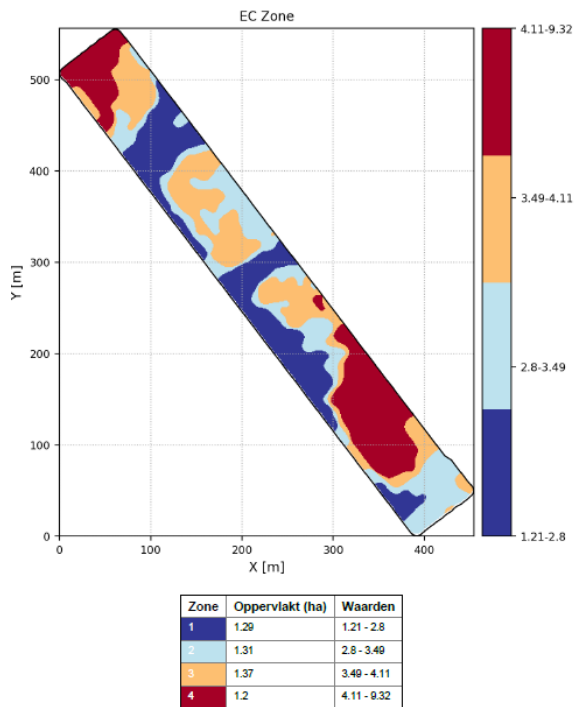
Soil Masters levert uitgebreide rapportages van de bodemscans, waarin EC kaarten van de vier verschillende dieptes en hoogte kaarten van de gescande percelen worden getoond. De EC scankaarten en de gegenereerde zonekaart van het perceel in Valthermond zijn weergegeven in Figuur 16, Figuur 17 en Figuur 18. 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 16 EC kaarten diepten 0,5m en 1m



Figuur 17 EC kaarten scandiepten 1,5m en 3m



Figuur 18 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.

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 hier de resultaten uit hoofdstuk 3 in context geplaatst.

5.1. Lutumkaarten

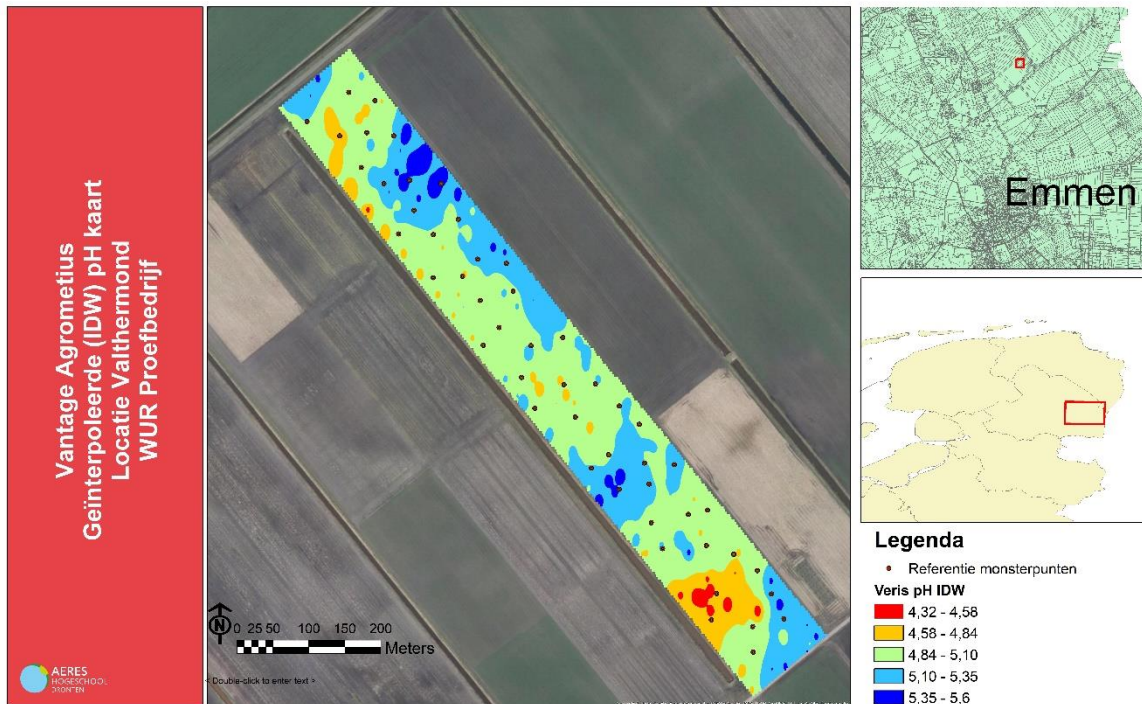
Vanwege de lage lutum gehalten in het perceel dat voor dit onderzoek is gebruikt, vallen de resultaten van de bodemscans mogelijk slechter uit dan in werkelijkheid het geval is. De vergelijking van de lutumkaarten is gebaseerd op analyse waarden welke aan de rand van het meetbereik liggen. Dit betekent dat de foutmarge groter wordt. Dit geldt zowel voor de analyse als voor de bodemscanresultaten. Door de mogelijke opeenstapeling van deze foutmarges worden slechte resultaten verkregen. Tevens stuurt men in praktijk op zandpercelen vooral op organische stof en nutriënten en wordt lutum niet meegenomen. Deze reden heeft een aantal bodemscanbedrijven doen besluiten om überhaupt geen lutumkaart aan te leveren van het perceel. Simpelweg omdat het geen representatief resultaat zal geven van de lutumgehalten in het perceel.

5.2. Vantage Agrometius Veris MSP3

Een eerste onderwerp van discussie is het gebruik van het vergelijkingsmateriaal in dit onderzoek. 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. Interpollatie zorgt ervoor dat je op een plek waar niet gemeten is, toch een voorspelling kan worden gemaakt van de bodemparameter, door omliggende gemeten te gebruiken. 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 interpollatiemethodiek. In tabel 8 is een korte samenvatting gemaakt van de resultaten die worden gevonden wanneer verschillende kaartmethoden voor de pH gehalten worden vergeleken met de referentiemonsters. Er zijn kleine verschillen te zien. De verschillen leiden niet tot wezenlijk andere regressielijnen en bijbehorende R^2 en RMSE.

Tabel 6 Drie verschillende kaart vormen volgens de Vantage Agrometius pH data vs. pH referentiemonsters

	pH IDW	pH puntdata	pH rasterkaart
R²	0,60	0,55	0,54
RMSE	0,15	0,17	0,17
P-waarde	0,00	0,00	0,00



Figuur 19 IDW geïnterpoleerde puntenkaart Veriscan. Interpolatie uitgevoerd door Aeres

5.3. Aanleveren data

De data van de bodemscans wordt door de deelnemende bedrijven op verschillende wijze aangeleverd. Er zijn drie soorten kaarten die binnen deze vergelijking zijn aangeleverd, namelijk 1) een punten kaart, 2) een vlakkenkaart of 3) een zonekaart. Voor de kaarten van Vantage Agrometius zijn zowel punten- als vlakkenkaarten aangeleverd. Deze zijn als discussiepunt ook terug te zien in de discussie. Loonstra & Van der Weide levert de kaarten aan in de vorm van een geïnterpoleerde puntenkaart. Beide bedrijven leveren de kaarten aan in een shapefile formaat. Aurea/Dronewerkers, Bioscope en CNH Industrial maken gebruik van een zonekaart in .tiff formaat. Om de data van een zone, vlakken of puntenkaart te gebruiken in de vergelijking wordt op verschillende wijze de data uit de scankaarten onttrokken.

Voor een puntenkaart geldt dat een dergelijke kaart niet vlak dekkend is. Hierdoor wordt handmatig een gemiddelde berekend uit de twee, drie of vier dichtstbijzijnde puntwaarden rondom de locatie van het referentiemonster. Daarbij wordt afstand niet in acht genomen, zoals bijvoorbeeld wel bij IDW interpolatie kan worden ingezet. Geïnterpoleerde vlakkenkaarten hebben het voordeel dat deze vlak dekkend zijn, waarbij op een relatief klein oppervlak een unieke waarde is toegekend aan het betreffende vlak. Deze vlak dekkende kaart maakt het mogelijk om in de ArcMap software de scanwaarde op de locatie van het referentiemonster automatisch te laten opzoeken. Daardoor kunnen geen handmatige fouten worden gemaakt. Voor een zonekaart geldt dat deze, net als de vlakkenkaart, vlak dekkend is. Echter wordt in een zonekaart een scanwaarde toegekend aan een volledige zone, zonder dat hierbij onderscheid wordt gemaakt op een klein oppervlak binnen deze zone. Doordat deze nuance niet in de kaart wordt aangebracht, heeft dit in de vergelijking vaak als resultaat dat de analysewaarde van het referentiemonster verder afwijkt van de in de scankaart opgegeven waarde.

De kaart welke wordt aangeleverd voor de vergelijking kan dus van invloed zijn op het uiteindelijke resultaat van de vergelijking.

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 het onderzoek hebben we vijf bodemscan-/sensorsystemen kunnen beoordelen op de bodemkaarten die zij leveren. Vier van deze systemen hebben we kunnen beoordelen op de nauwkeurigheid van de pH en/of organische stof kaarten die zij leveren. Slechts één bedrijf heeft een lutumkaart aangeleverd. Het onderzoek is uitgevoerd op een dalgrondperceel in Valthermond, Drenthe. De zes systemen zijn: De gammastraling-sensor van Loonstra & Van der Weide, de Veris MSP3 bodemscansysteem van Vantage Agrometius, BioScope remote sensing, een dronesurvey van Dronewerkers / Aurea Imaging en de SoilXplorer van CNH. Als referentie voor de bodemscans zijn er 50 bodemmonsters gebruikt die in bij Eurofins Agro te Wageningen geanalyseerd zijn op voorgenoemde eigenschappen.

De belangrijkste conclusie wat betreft de nauwkeurigheid van de kaarten, is dat de absolute fouten, zoals bepaald met de statistische parameter RMSE, in het geval van de goed presterende bodemscanners kleiner zijn dan de gemiddelde standaard deviatie van een mengmonster van de referentiemonsters. Voor de vergelijking van pH kaarten geldt dat de R^2 niet hoger uit komt dan 0,55 (Veriscan MSP3) met een absolute RMSE van 0,17 op een perceelgemiddelde van 5,01 (variërend van 4,40 tot 5,60). Bioscope volgt met een R^2 van 0,19 en een absolute RMSE van 0,23. Loonstra & Van der Weide behaalt een R^2 van 0,07 en een absolute RMSE van 0,30. Voor de organische stof geldt een beste behaalde absolute RMSE van 2,67% door Loonstra & Van der Weide met een R^2 van 0,65 op een gemiddeld organische stofgehalte van 12,48% (variërend van 5,20 tot 22,20%). De Veriscan MSP3 scoort gelijkend met ‘De Mol’ met een R^2 van 0,67 en een absolute afwijking van 2,80%. De remote scanners Bioscope en Aurea Imaging / Dronewerkers volgen met respectievelijk een R^2 van 0,57 en 0,58 en een absolute RMSE van respectievelijk 5,31% en 4,81%. Voor een lutumkaart blijkt een R^2 van 0,08 haalbaar, gebaseerd op enkel een lutumkaart van Loonstra & Van der Weide, met een absolute RMSE van 0,75% op een gemiddeld lutumgehalte van 1,70 (variërend van 1,00% tot 3,40%) in het perceel.

Gerard Hoekzema, bedrijfsleider op WUR proefbedrijf Valthermond, ziet zowel overeenkomsten als verschillen tussen de kaarten. Een gevoel bij de pH kaarten is lastig, want dat kun je niet met het oog waarnemen. Qua organische stofkaarten komen de patronen van zandkoppen en humeuze dalen van de vier aanbieders goed overeen met de eigen kennis van het perceel. Hoe de kaarten gepresenteerd worden is wel belangrijk voor de interpretatie. De kaart van Agrometius toont bijv. losse punten of een vakkenkaart, waardoor er geen mooie vloeiende zonelijnen te zien zijn. Dit maakt het lastiger om te vergelijken met het eigen gevoel. De kaart van Loonstra is wel erg gedetailleerd en wordt daardoor vlekkelig. Hoekzema herkent zich het meest in de Dronewerkers kaart, omdat deze qua visualisatie het best vormgegeven is. Andere verschillen die opvallen zijn de waarden en weergave van de legenda's bij de kaarten. Hoekzema geeft aan dat het perceel varieert van ca 5% tot 20% organische stof. Qua waarden komen Loonstra en Agrometius daarbij het meest in de buurt.

De overige systemen hebben we dit jaar niet meegenomen in de vergelijking op pH, organische stof en lutum. Uit de gepoogde vergelijking tussen de depth-to-interface kaart van de SoilXplorer en indringingsweerstand van de grond volgt geen geslaagde vergelijking. Het vergelijken van de indringingsweerstand met de door de SoilXplorer aangegeven overgangslaag laag kan niet één op een plaatsvinden.

De overkoepelende conclusie van dit vergelijkingsonderzoek is dat het bepalen van de pH, organische stof en lutum met name toepasselijk is voor de organische stof. pH is mogelijk en laat qua absolute afwijking geen extreme afwijkingen zien. Lutum is daarentegen, gebaseerd op één lutumkaart, slecht te bepalen met grote afwijkingen ten opzichte van de daadwerkelijke lutumgehalten.

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>

BIOSCOPE, 2020. *Rapportage bodemkaarten Perceel Valthermond.* Wageningen.

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