

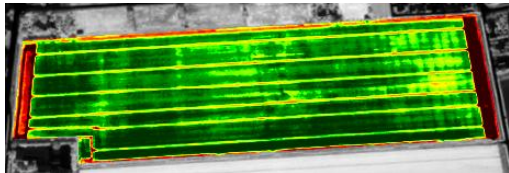
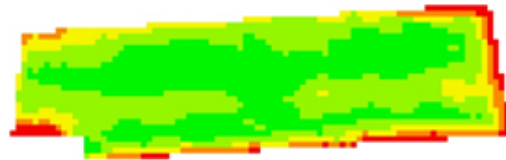


WAGENINGEN UNIVERSITY

WAGENINGEN UR

Plaatsspecifiek Perceelmanagement van de Kaart

De toepassing van remote sensing beelden voor de karakterisering van gewaspatronen



Eindrapport PPL project 066

Auteurs:

Lammert Kooistra en Harm Bartholomeus (Wageningen Universiteit)

Peter Lerink (IB-Lerink Ingenieursbureau)

Eric van Valkengoed(Terrasphere)

Opdrachtgever

Naam: HWodKa
Contactpersoon: Aad Klompe
E-mail: aklompe@agroweb.nl
Website: <http://www.hwodka.nl/>

Financiering

Naam: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie
T.a.v. directie Agroketens en Visserij
Contactpersoon: Mw. ir. P. Bonnier
Adres: Postbus 20401
Postcode/plaats: 2500 EK Den Haag
Telefoon: 070-3785121

Opdrachtnemer

Naam: Wageningen Universiteit, departement Omgevingswetenschappen
Contactpersoon: Lammert Kooistra
Afdeling: Laboratorium voor Geo-informatiekunde en remote sensing
Telefoon: 0317-481604
E-mail: Lammert.Kooistra@wur.nl

Samenwerking

Partners: Terrasphere, IB-Lerink Ingenieursbureau

Datum: oktober-2011

Alle rechten ten aanzien van dit projectplan alsmede van alle daarin vervatte kennis en informatie, berusten bij Wageningen University. Wageningen University aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de kennis en/of informatie uit dit rapport.

© 2011 Wageningen University

Niets uit dit drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen University, noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd. Alle rechten voorbehouden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Introductie	6
Aanleiding	6
Mogelijkheden voor remote sensing in PSPM	6
Doelstelling en uitkomsten van het project	7
Remote sensing	8
Sensoren en hun eigenschappen	8
Vorbereiding en correctie van beelden	9
<i>Geometrische correctie</i>	9
<i>Resampling</i>	11
<i>Atmosferische correctie</i>	12
Detectie van vegetatie patronen	13
Gewas patronen in beelden	16
Patronen in de ruimte	17
Patronen in de tijd	18
Gewas patronen voor de Hoeksche Waard	20
Selectie percelen	20
Remote sensing beelden	21
Methodes voor generen gewas patronen	22
Resultaten: gewas patronen uit historische beelden	24
<i>Vergelijking vegetatie indices</i>	24
<i>Clustering methode</i>	24
<i>Classificatie op basis van normaal verdeling</i>	25
<i>Classificatie en histogram schaling</i>	27
<i>Heterogeniteitsindex</i>	27
<i>Som van WDVl over groeiseizoen</i>	28
Discussie	28
<i>Beschikbaarheid en geschiktheid historische remote sensing beelden</i>	28
<i>Ruimtelijke resolutie en rand effecten</i>	30
<i>De waarde van historische remote sensing beelden voor patroonherkenning in gewasontwikkeling en -opbrengst</i>	30
Hoe verder?	32
Nieuwe mogelijkheden: hoog resolutie beelden	32
Mogelijkheid voor standaard: vergelijking van remote sensing met opbrengst data	34
Beeld interpretatie hoe doe je dat?	35
Referenties	37
Bijlage 1: Gewaspatronen op basis van WDVl vegetatie index met histogram schaling voor velden Langshaven en Greup.	39
Bijlage 2: Gewaspatronen voor som van WDVl van drie remote sensing beelden over het groeiseizoen voor velden Langshaven en Greup.	40
Bijlage 3: Worldview-2 beeld Hoeksche Waard opgenomen op 2 augustus 2011.	41
Bijlage 4: WDVl beelden voor 6 percelen op basis van Worldview-2 beeld van 2 augustus 2011.	42

Samenvatting

Voor de toepassing van plaats specifiek perceel management (PSPM) is binnen de Stichting de Hoeksche Waard op de Kaart (H-WodKa) behoefte aan gewaskaarten die een beeld geven van de ruimtelijke variatie van de gewasontwikkeling tijdens een groeiseizoen en van de uiteindelijke opbrengst. Het doel van het in dit rapport beschreven onderzoek was om een methode te ontwikkelen voor het genereren van ruimtelijke patronen in gewasontwikkeling en –opbrengst op basis van historische remote sensing beelden. Hiervoor is voor een selectie van 10 percelen een database met een tijdserie van remote sensing beelden (SPOT 5, Landsat, Aster, Worldview-2) opgezet voor de periode 2006-2011 op basis waarvan deze methode zal worden ontwikkeld en toegepast.

Als basis voor het genereren van gewas patronen is in dit onderzoek de Weighted Difference Vegetation Index (WDVI) als vegetatie index gebruikt. Verschillende methodes zijn gebruikt om de gewaspatronen binnen jaren te genereren en analyseren: clustering, classificatie op basis van normaal verdeling, classificatie en histogram schaling, heterogeniteitsindex en de som van WDVI over groeiseizoenen.

Uit dit onderzoek komt naar voren dat bij de analyse van een tijdserie van historische remote sensing beelden een terugkerend basispatroon van gewasvariatie dat gerelateerd is aan plaatselijke intrinsieke, d.w.z. onveranderlijke bodemeigenschappen (textuur, storende lagen, grondwaterpeil, hoogte mv, etc.) niet direct eenduidig kan worden afgeleid. Het verwachte basispatroon wordt overschaduwed door effecten die verband houden met:

- verschillende voorvruchten op één perceel;
- verschil in oogsttijdstip (structuurschade);
- verschillende gewassen op één perceel;
- verschillende rassen op één perceel;
- natte plekken bij calamiteiten.

Wanneer bovenstaande factoren zijn vastgelegd in andere geo-informatie datasets kan hier in de analyse van de patronen rekening mee worden gehouden en kunnen deze effecten als het ware gefilterd worden.

De resultaten van de clustering methode lieten zien dat deze gevoelig is voor de effecten van rand pixels. De classificatie methoden gaven een goed onderscheid tussen patronen binnen een perceel. Histogram schaling gaf meer detail in de gewaspatronen op een moment terwijl op basis van schaling in klassen een betere vergelijking van patronen in de tijd kon worden gemaakt. De som van WDVI geeft een consistenter patroon over verschillende jaren en lijkt ook te relateren aan opbrengst gegevens maar dit dient nog verder te worden onderzocht. Verder onderzoek is nodig om te komen tot een objectieve beoordeling van de gevonden gewas patronen. Dit zou gebaseerd moeten worden op een vergelijking met onafhankelijke datasets zoals bodemgegevens of opbrengstgegevens.

Alhoewel de absolute waarde van historische remote sensing beelden nog getoetst moet worden, is een groot voordeel dat op basis van een serie van remote sensing beelden, de plaats-specifieke variatie van alle percelen in de Hoeksche Waard kan worden bepaald. Het valt hierbij te verwachten dat een toenemend aantal akkerbouwers in de nabije toekomst de monitoring van hun gewassen in toenemende mate zullen baseren op (gestandaardiseerde) remote sensing producten en close sensing technieken. Hierbij zullen een aantal beperkingen van dit onderzoek worden opgeheven omdat de frequentie van beschikbaarheid van sensing data zal toenemen en ook lijkt het meten van plaats-specifieke opbrengst ook steeds meer gemeengoed lijkt te worden.

Op basis van de resultaten van dit project kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De analyse van een tijdserie van historische remote sensing beelden resulteerde in een grote variatie aan gewaspatronen voor de individuele beelden veroorzaakt door (kleinschalig) perceelmanagement zoals tijdstip oogst, overlap bij bemesting en gewasverzorging, 'fouten' bij mesttoediening, oogstsporen, etc. Hierdoor kon een basispatroon van gewasvariatie dat gerelateerd is aan onveranderlijke bodemeigenschappen niet eenduidig worden afgeleid.
- De som van WDWI voor de tijdserie van beelden over het seizoen gaf een consistent gewaspatroon wanneer verschillende jaren met elkaar werden vergeleken.
- De toepassing van remote sensing data met een lage ruimtelijke resoluties (> 10 m) leidt tot vertroebeling van relevante kleinschalige patronen (spuitsporen, gedempte sloten, kopakkers, perceelranden) en geeft problemen bij gemengde pixels aan de rand van het perceel.
- Voor het opstellen van prikplannen voor PSPM kunnen remote sensing beelden met een gedetailleerde ruimtelijke resolutie (2 m) een goed beeld geven van gewas variatie op basis waarvan een perceel kan worden gestratificeerd.
- Hoog resolutie remote sensing beelden opgenomen op het juiste moment in het groeiseizoen kunnen in potentie als relatieve opbrengst kaart dienen. Deze kaarten kunnen worden toegepast om de ruimtelijke zonering voor zaai- en pootdichtheid te ondersteunen.

Introductie

Aanleiding

De Hoeksche waard beslaat ruim 27.000 ha en bestaat hoofdzakelijk uit agrarisch cultuurlandschap. Ca. 200 agrariërs bedrijven op een grootschalige wijze akkerbouw op zeer vruchtbare zeelei. De Stichting de Hoeksche Waard op de Kaart (H-WodKa) stelt zich ten doel om d.m.v. innovatie de vitaliteit van de grondgebonden landbouw te verbeteren en tegelijk voorwaarden te scheppen voor de ontplooiing van landschappelijke waarden door toepassing van het groenblauwe netwerk-concept. Stichting H-WodKA is meer dan 7 jaar actief met precisielandbouw, op een zeer toegepaste manier.

Binnen het thema 'Plan wat je plant, plant zo je plant' werkt H-WodKa aan de ontwikkeling van kennis en tools voor twee aspecten van precisielandbouw:

1. optimalisatie van de ruimtelijke planning en uitvoering van werkzaamheden op een perceel door toepassing van map based CTF (PPL1: GAOSv2 en GAOSv3 in PPL2);
2. optimalisatie van de ruimtelijke verdeling van inputs (zaai- en pootgoed, nutriënten, gewas-beschermingsmiddelen en energie voor grondbewerking) door toepassing van plaatsspecifiek perceelmanagement (PSPM) vanaf de kaart (Eng: map based site specific field management).

De invulling en samenhang van deze onderwerpen is beschreven in het visie document 'Precisielandbouw van de kaart' (H-WodKa, 2009).

Mogelijkheden voor remote sensing in PSPM

De belangstelling voor PSPM is gebaseerd op veronderstelde ruimtelijke variatie van de bodemeigenschappen van poldervaaggronden in de Hoeksche Waard en elders in Nederland (Heijting et al., 2011). In 2010 heeft H-WodKa het initiatief genomen om plaatsspecifieke informatie over de bodem en het bodemgebruik op perceelschaal in kaart te brengen. Deze kartering vindt plaats op 10 percelen van 10 bedrijven in de Hoeksche Waard en is een onderdeel van het project Akkerbouw in Groen en Blauw (AG&B).

De bodeminformatie is ontleend aan een grote verscheidenheid aan informatiebronnen: historische topografische kaarten (verkaveling, sloten, gebruik, gewassen), textuurkaarten, hoogtekaarten (AHN), penetrologger waarnemingen, profielanalyse volgens boorgatmethode, Nmin bepalingen, locatie spuitsporen en drains, wormenactiviteit en ploegweerstandmetingen. De bodemkaarten zijn bedoeld:

1. voor de ontwikkeling van kennis van plaatsspecifieke eigenschappen van de bodem in relatie tot gewasontwikkeling;
2. voor het ontwerp van bemonsteringskaarten ('prikplan') voor plaatsspecifieke monsternamen t.b.v. aanvullende informatie;
3. als input voor bedrijfsmanagementsystemen (BMS) met een gis-applicatie voor het ontwerp van applicatiekaarten voor PSPM (zoals Agrovision en Farmworks).

Naast de bodemkaarten zijn gewaskaarten nodig voor de toepassing van PSPM, d.w.z. gewaskaarten die een beeld geven van de ruimtelijke variatie van de gewasontwikkeling tijdens een groeiseizoen en van de uiteindelijke opbrengst. Er kunnen twee soorten gewaskaarten onderscheiden worden:

1. actuele gewaskaarten (huidige groeiseizoen) welke bruikbaar zijn voor:
 - plaats- en tijdspecifieke handelingen tijdens het groeiseizoen (buiten dit bestek);
 - het 'meten' van de gewasrespons op PSPM;
 - het voorspellen van de opbrengst (buiten dit bestek).

2. historische gewaskaarten (voorafgaande groeiseizoenen) welke bruikbaar zijn voor:
 - om inzicht te krijgen in de relatie tussen lokale bodemeigenschappen en gewasontwikkeling/opbrengst door vergelijking met bodemkaarten;
 - als hulpmiddel om percelen in te delen in managementzones t.b.v. PSPM.

Historische remote sensing opnamen, mits in voldoende resolutie, vormen in potentie een unieke gegevensbron voor het karteren van de ruimtelijke variatie in gewasontwikkeling en –opbrengst. In de wetenschappelijke literatuur zijn een aantal studies beschikbaar die zich vooral richten op het identificeren van gebieden binnen percelen met specifieke bodemeigenschappen zoals verhoogde zout concentraties die de groei van gewassen beperken (Lobell *et al.*, 2007; Furby *et al.*, 2010, Lobell *et al.*, 2010). In een studie van Dang *et al.* (2011) zijn remote sensing data op basis van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) gebruikt als surrogaat voor gewasopbrengst en gerelateerd aan beschikbare bodemeigenschappen. De gebieden die op basis van remote sensing als beperkend werden aangemerkt hadden vaak hoge zoutconcentraties of hoge concentraties ongebruikte stikstof in de bodem. In Nederland zijn historische remote sensing opnamen voor het karakteriseren van gewas variatie en de daarmee samenhangende bodemvariatie tot op heden niet of nauwelijks toegepast. Maar nu een grote groep boeren voor een aantal jaren remote sensing data en/of producten beschikbaar heeft via services als Mijnakker zouden nieuwe methoden nodig zijn om dit soort tijdreeksen te analyseren en om te zetten naar informatie die als input kan worden gebruikt voor precisie landbouw activiteiten.

Doelstelling en uitkomsten van het project

Het doel van dit project is door het verzamelen en analyseren van historische remote sensing data bij te dragen aan de kennis over de samenhang tussen ruimtelijke variatie in bodemeigenschappen en gewasontwikkeling ten behoeve van PSPM.

Meer specifiek zal binnen het project een methode worden ontwikkeld voor het genereren van ruimtelijke patronen in gewasontwikkeling en –opbrengst op basis van historische remote sensing beelden. Hierbij zal voor de 10 percelen binnen het project AG&B een database met een tijdserie van remote sensing beelden worden opgezet waarvoor de ontwikkelde methode zal worden toegepast. Daarnaast zal ook worden gekeken naar de mogelijkheden voor opschaling van de methode naar een groter gebied. De vergelijking van gewaskaarten met bodemkaarten is onderdeel van het project AG&B en valt buiten dit project.

In dit overzichtsrapport zullen de generieke uitkomsten van het project worden gepresenteerd: achtergrond over de toepassing van remote sensing voor gewas monitoring, een beschrijving van de methode voor het genereren van gewaspatronen, een beschrijving van de resultaten en discussie over de mogelijkheden voor inzet van remote sensing in PSPM.

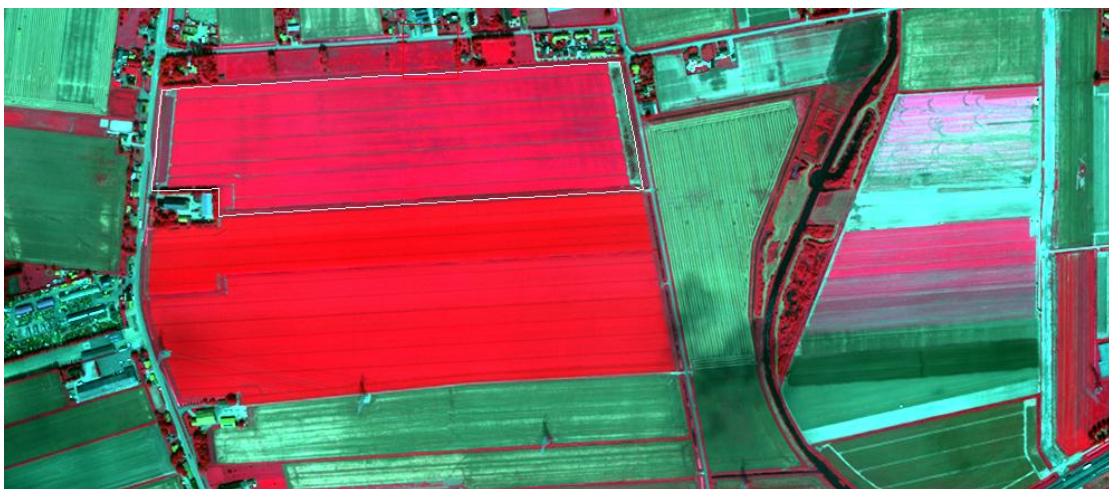
In een separaat rapport, de z.g. Studieatlas Gewaspatronen, worden de kaarten met gewaspatronen voor de 10 geselecteerde percelen voor de periode 2006-2010 gepresenteerd (Olthof *et al.*, 2011). Daarnaast zijn gewaskaarten voor de geselecteerde 10 percelen beschikbaar in een bestandsformaat die geschikt is voor toepassing in een bedrijfsmanagement systeem (BMS). En ook de originele remote sensing beelden (inclusief atmosferische correctie) zijn beschikbaar voor verdere analyse na afronding van dit project.

Remote sensing

Remote sensing kan worden gedefinieerd als de verzameling van informatie over een object of proces zonder dat door het meetinstrument fysiek contact wordt gemaakt met het object. In de huidige agrarische praktijk betekent dit dat vanuit een satelliet of een vliegtuig opnames worden gemaakt met een sensor die de gereflecteerde elektromagnetische straling van het aardoppervlak meet. Deze opnames worden gemaakt in de vorm van beelden waarbij een beeld is opgebouwd uit pixels die allemaal dezelfde afmeting hebben. Voor agrarische toepassingen wordt remote sensing al sinds de jaren 70 gebruikt voor het classificeren van de landgebruik en het maken van gewaskaarten. In de jaren 80 en 90 is remote sensing steeds meer toegepast om in combinatie met gewasgroeimodellen schattingen te maken van gewas ontwikkeling en oogst op nationale en continentale schaal. De afgelopen 10 jaar wordt remote sensing in toenemende mate ingezet voor de ondersteuning van de landbouw op perceelsniveau. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van optische sensoren die de variatie in het gewas in beeld kunnen brengen. Hierbij worden verschillen in de gemeten gewasreflectie gebruikt als maat voor de variatie in gewasvitaliteit en kunnen ook kwantitatieve eigenschappen zoals bovengrondse biomassa, leaf area index en stikstof in bovenste bladlaag vlakdekkend in beeld worden gebracht. Naast remote sensing wordt hierbij ook in toenemende mate gebruikt gemaakt van close sensing systemen waarbij door sensoren vlak boven het gewas wordt gemeten door deze te monteren aan de spuitboom achter de trekker (Kooistra *et al.*, 2011). Op dit moment zijn verschillende commerciële close sensing systemen op de markt en worden deze al operationeel ingezet door een groep innovatieve agrariërs in Nederland. Aangezien de systemen nog relatief nieuw zijn en de investeringskosten vaak aanzienlijk zijn, is het voor de individuele akkerbouwer van groot belang een duidelijk beeld te hebben van de voor- en nadelen van de beschikbare sensorsystemen in de akkerbouw en misschien meer specifiek de precisie landbouw (Kikkert, 2009).

Sensoren en hun eigenschappen

Een belangrijke technologische ontwikkeling voor de inzet van remote sensing in de akkerbouw, is de toenemende beschikbaarheid van satelliet sensoren met een hoge ruimtelijke resolutie (kleine pixels) en een hoge opname frequentie (regelmatige opname op dezelfde locatie) (Tabel 1). Door de hogere ruimtelijke resolutie (tot 1-2m) wordt het daadwerkelijk mogelijk om de variatie van de gewasstoestand binnen een perceel op een gedetailleerde manier in beeld te brengen (Figuur 1).



Figuur 1: Voorbeeld van een hoog resolutie remote sensing beeld opgenomen met de Worldview-2 sensor voor de Hoeksche Waard op 2 augustus 2011.

Tabel 1: Overzicht van relevante optische satelliet sensoren voor toepassing in precisie landbouw in Nederland.

Sensor type	Pixel grootte (m)	Aantal banden	Band posities (µm)	Opname frequentie (per dagen)	Opname gebied (km)	Kosten k€
Landsat 5 ¹	25	7	0.45; 0.52; 0.63; 0.76; 1.55; 10.4; 2.08	17	185*170	gratis
ASTER	15	3 (14)	0.52; 0.63; 0.76	16	60*60	0.25
SPOT5 – MS ²	10	4	0.5; 0.61; 0.78; 1.58	2-3	60*60	3.3 ⁴
DMC ³	32	3	0.52; 0.63; 0.76	1	600*600	?
Rapid-Eye ³	6.5	5	0.44; 0.52; 0.63; 0.69; 0.76	1	78*78	?
Worldview-2 ²	2	8	0.4; 0.45; 0.51; 0.59; 0.63; 0.71; 0.77; 0.86	2-3	16*16	3
Sentinel-2 ³ : from 2013	10-20	13	0.443 – 2.19	5	290*290	gratis

1: <http://landsat.usgs.gov/>; 2: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/>; 3: http://esamultimedia.esa.int/docs/GMES/Sentinel-2_MRD.pdf; 4: http://www.resmap.com/pdf/spot5_pricelist.pdf.

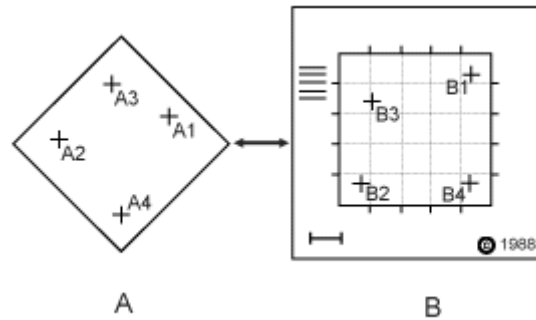
Een beperkende factor voor optische remote sensing in West-Europa is de hoge bewolgingsgraad waarbij sensoren met een lage 'revisit time' (b.v. Landsat) een relatief hogere kans hebben om voor een langere periode geen beelden te kunnen leveren. Recent gelanceerde satellieten zoals Worldview-2 en Rapid-Eye hebben al een veel hogere revisit time en kunnen een groot aantal gebieden elke 3 dagen opnemen. Dit heeft als voordeel dat een groter aantal remote sensing beelden per groeiseizoen beschikbaar is om de daadwerkelijke ontwikkeling van het gewas te volgen in de vorm van een zogenaamde tijdserie. Daarnaast bieden de aanbieders van remote sensing beelden ook steeds meer mogelijkheden om de opname van remote sensing beelden precies op de relevante momenten tijdens het groeiseizoen op te nemen. Door deze flexibiliteit in programmering kunnen beelden voor specifieke taken worden opgenomen b.v. in het geval van aardappels voor de variabele toediening voor loofdoding aan het eind van het seizoen.

Vorbereiding en correctie van beelden

Voordat remote sensing beelden opgenomen op verschillende tijdstippen met elkaar vergeleken en geanalyseerd kunnen worden zijn er een tweetal pre-processing stappen noodzakelijk. Deze zijn op te delen in 1) geometrische correctie van de beelden en 2) radiometrische en atmosferische correctie. Beide stappen zijn erg belangrijk om te zorgen dat reflectie signalen in de beelden die op verschillende momenten in het groeiseizoen zijn gemeten op een nauwkeurige manier met elkaar kunnen worden vergeleken. Hieronder worden beide stappen in meer detail toegelicht.

Geometrische correctie

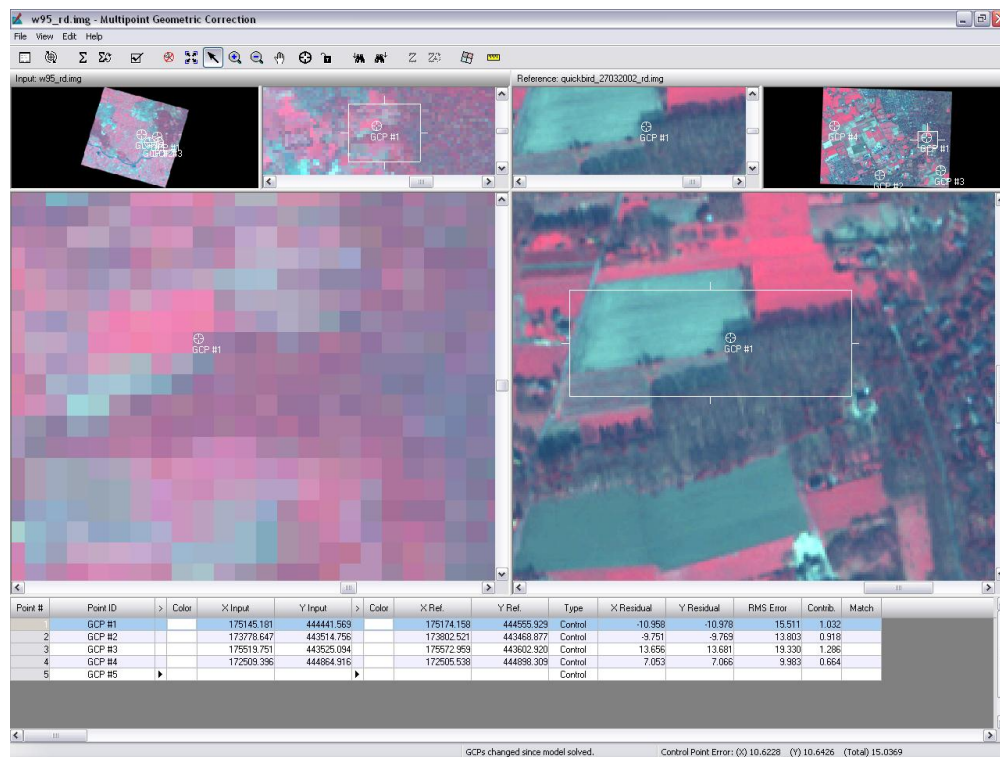
De geometrische correctie van remote sensing beelden komt er in het kort op neer dat het beeld na de correctie gekoppeld kan worden aan een bepaalde lokatie op het aardoppervlak. Op deze manier kan de informatie gecombineerd worden met andere datasets. Deze correctie is noodzakelijk omdat remote sensing beelden verstoord worden door meerdere factoren: het perspectief van de sensor, bewegingen van het scanner systeem en platform, hoogte van het platform, snelheid, terrein reliëf en de kromming en draaiing van de aarde. Met een meting vanuit een satelliet hoeft je met een aantal van deze factoren geen rekening te houden, omdat de sensor zich stabiel en met constante snelheid voortbeweegt.



Figuur 2: Geometrische registratie van een remote sensing beeld aan een kaart laag met bekende coördinaten.

De koppelen van een beeld aan de bijbehorende lokatie op het aardoppervlak noemen we geometrische registratie (figuur 2). Dit wordt gedaan met een minimum aantal "ground control points" (GCP's), waarvan de lokatie nauwkeurig bekend is, bijvoorbeeld door deze in te meten met GPS/GNSS of af te leiden uit een kaart. Deze GCP's moeten duidelijk in het beeld herkenbaar zijn, zodat de exacte lokatie goed in het beeld kan worden aangegeven. Vaak worden hiervoor kruispunten of hoeken van percelen gebruikt.

De maximale nauwkeurigheid die bereikt kan worden hangt af van hoe nauwkeurig de lokatie van de GCP's in het beeld bepaald kan worden. Dit is afhankelijk van de pixelgrootte en de fout in je onnauwkeurigste meting. Een vuistregel is dat je een nauwkeurigheid kunt bereiken die ongeveer even groot is als de pixel size. Bij Landsat beelden met een 30m pixels is het praktisch gezien onmogelijk om een nauwkeurigheid te verkrijgen van enkele meters, bovendien is het eigenlijk onmogelijk te checken of de correctie een nauwkeurigheid heeft van 1 of 10 m, aangezien dit in het beeld niet te herkennen is.

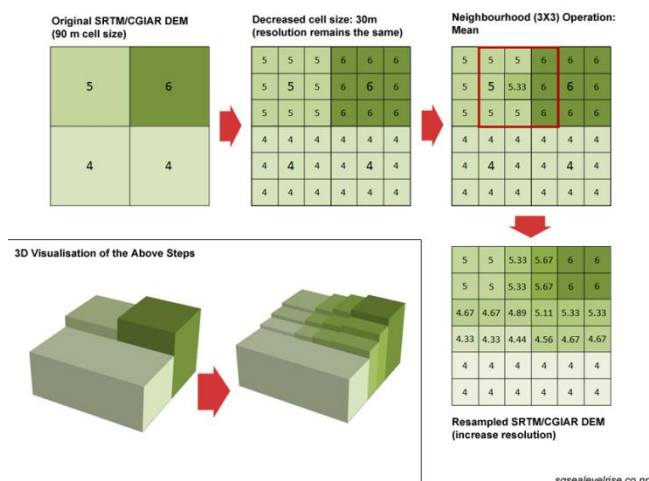


Figuur 3: Geometrische registratie. Linkerbeeld Landsat TM, 30 m resolutie. Rechterbeeld, Quickbird, 2.8 m resolutie.

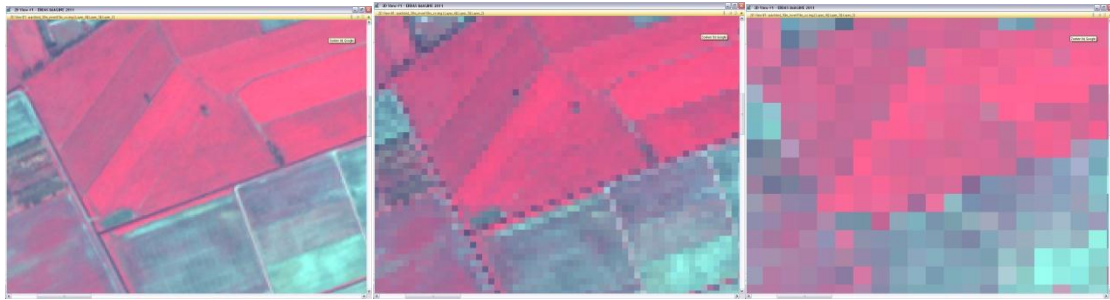
Figuur 3 geeft een voorbeeld van de invloed die de resolutie heeft op herkenbaarheid van objecten en de nauwkeurigheid die bereikt kan worden met geometrische correctie. Over het algemeen kan de registratie van satellietbeelden behoorlijk nauwkeurig gedaan worden. Indien hier twijfel over bestaat kan een controle gedaan worden aan de hand van bestaand kaartmateriaal of met behulp van GPS metingen. Het is niet onmogelijk dat er systematische fouten in de geometrische correctie van de beelden zitten, maar in dat geval zou een duidelijke verschuiving van de percelen ten opzichte van het overige kaartmateriaal te zien moeten zijn. Gegeven de pixel grootte van de originele data (20 – 30 m) moet bij de geometrische correctie rekening gehouden worden met een onnauwkeurigheid van ca. 10-15m.

Resampling

Een tweede stap in het geometrische correctie proces is “resampling”. Na een geometrische correctie is dit per definitie noodzakelijk, omdat een beeld tijdens de correctie ook geroteerd kan worden. Hierdoor draaien de pixels, wat in de raster structuur waarin de gegevens worden opgeslagen niet mogelijk is. Resampling kan daarnaast ook als onafhankelijk bewerking worden uitgevoerd, bijvoorbeeld om de pixel-grootte van een beeld aan te passen. Kortweg komt het erop neer dat de originele pixel wordt opgeknipt in een aantal subpixels van het gewenste formaat. Vervolgens worden voor de nieuwe kleinere pixels nieuwe waarden berekend (Figuur 4). Dit kan op verschillende manieren gebeuren, waarbij “nearest neighbour resampling” en “cubic convolution” de meest gebruikte methodes zijn. Bij nearest neighbour resampling wordt aan elke subpixel de waarde toegekend van de –in ruimtelijk opzicht – meest nabije originele pixel. Bij cubic convolution worden meerdere omliggende pixels meegerekend en wordt een gewogen gemiddelde genomen van de omliggende waarden. Resampling is soms een noodzakelijke stap om te komen tot geschikte data om mee verder te kunnen werken, bijvoorbeeld om de data te kunnen combineren met andere datasets. Resampling naar een grotere pixel size is een proces wat meestal eenduidig is, met name wanneer de nieuwe pixel size een exacte ver-X-voudiging is van de originele pixel grootte. In dat geval vindt er namelijk alleen een middeling van de gemeten reflectiewaardes plaats (Figuur 5).



Figuur 4: Rekenvoorbeeld van resampling naar een pixel grootte die kleiner is dan de originele gemeten pixels.



Figuur 5: Quickbird beeld: a) origineel 2.8 m, b) geresampled naar 10 m, c) geresampled naar 30 m.



Figuur 6: a) Quickbird beeld op 30 m resolutie, b) resampling van 30 m naar 10 m, c) resampling van 10 m naar 2.8 m.

Resampling kan ook gebruikt worden om een kleinere pixel grootte te behalen dan de originele pixel grootte. De behaalde resolutie is echter een resultaat van berekeningen en is daarmee niet gelijk aan de reflecties die je krijgt als je daadwerkelijk met een hogere resolutie opnames zou maken. Om dit te illustreren is het gesimuleerde 30m beeld (figuur 6a) weer geresampled naar 10 m ruimtelijke resolutie (figuur 6b) en naar de originele 2.8 m (figuur 6c).

Figuur 6a is exact gelijk aan figuur 5c. Beide laten het gesimuleerde Landsat beeld zien met een pixel grootte van 30 m. Wanneer dit 30m beeld wordt geresampled naar 10m (figuur 6b) zien we echter duidelijke verschillen met figuur 5b, welke direct is berekend vanuit de originele 2.8m pixels. Figuur 6c kan op dezelfde wijze vergeleken worden met figuur 5a, beide hebben een pixel grootte van 2.8m. De data die gegenereerd zijn vanuit het 30m bestand lijken echter slechts in hoofdlijnen op het originele beeld. Niet alleen subtiele details, zoals een boom midden in het veld gaan verloren, maar er treden bovendien veel vervormingen op aan de randen van de percelen.

Atmosferische correctie

De reflectie metingen van een remote sensing systeem worden per definitie beïnvloed door de staat van de atmosfeer. Bijvoorbeeld de aanwezigheid van waterdamp in atmosfeer, soms zichtbaar in de vorm van wolken maar vaak ook niet zichtbaar, zorgt ervoor dat het gemeten signaal door de sensor verandert ten opzichte van wat je direct aan de grond zou meten. Waterdamp zorgt er namelijk voor dat de elektromagnetische straling die we willen meten in bepaalde delen van de spectra wordt geabsorbeerd. Andere deeltjes in de atmosfeer zoals bijvoorbeeld aerosolen zorgen er juist voor dat de elektromagnetische straling in specifieke golflengtes wordt verstrooid. Vooral wanneer je remote sensing beelden gemeten onder verschillende atmosferische condities gedurende een groeiseizoen met elkaar wilt vergelijken is het belangrijk om de effecten van de atmosfeer op de reflectie uit de metingen te filteren. Hiervoor worden zogenaamde atmosferische correctie modellen toegepast. Deze modellen simuleren het gedrag van elektromagnetische straling in de atmosfeer onder invloed van verschillende atmosferische condities.

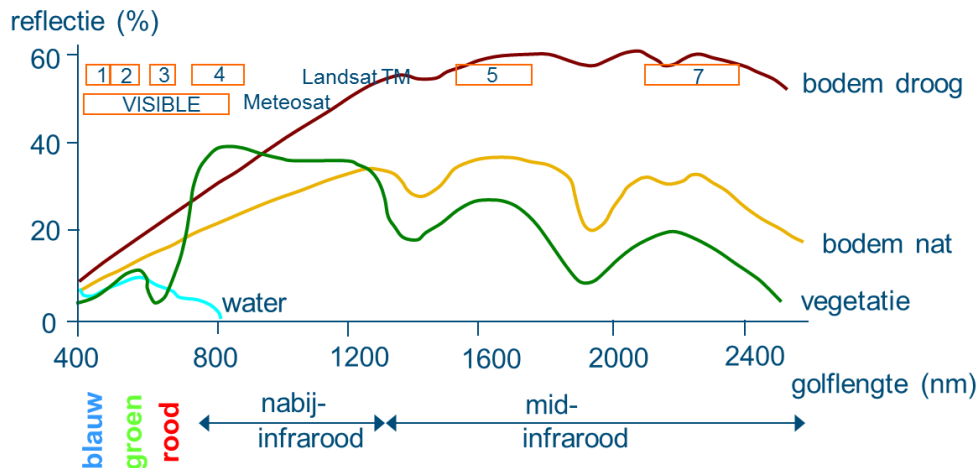


Figuur 7: Voorbeeld van Landsat beelden zonder (boven) en met atmosferische correctie (onder).

Op basis van meteorologische metingen kan de staat van de atmosfeer ten tijde van een remote sensing opname worden bepaald. Deze metingen worden gebruikt als input voor het atmosferische correctie model. Op basis van de uitkomsten van het model kan een onderscheid worden gemaakt tussen signaal van het aardoppervlak waar we in geïnteresseerd zijn en de invloed van de atmosfeer en kunnen op basis hiervan de oorspronkelijk gemeten waarden in het beeld worden gecorrigeerd. Figuur 7 laat een voorbeeld zien van de atmosferische correctie van Landsat beelden. Op een deel van de beelden is sluierbewolking boven het aardoppervlak te zien. Zolang deze damp als het ware doorzichtig is kan een atmosferische correctie worden gemaakt. Echter vaak is de bewolking te dik en reflecteert er geen directe straling vanaf het oppervlak (Bijlage 3). In dat geval kan voor dat deel van het beeld geen atmosferische correctie worden uitgevoerd. Daarnaast moet in dat soort situaties ook nog een correctie worden uitgevoerd voor de schaduw van wolken op de grond. Het Worldview-3 beeld in bijlage 3 laat hiervan een voorbeeld zien. Voor de atmosferische correctie van remote sensing beelden is gespecialiseerde software beschikbaar en aanbieders van remote sensing data bieden vaak de mogelijkheid om deze correctie geautomatiseerd uit te voeren.

Detectie van gewaspatronen

Nadat de benodigde correcties op de remote sensing beelden zijn uitgevoerd kan een daadwerkelijke analyse van de spectrale reflectie van de beelden worden uitgevoerd. Figuur 8 laat hierbij een voorbeeld zien van het reflectiepatroon van water, bodem en vegetatie in het zichtbare en infrarode deel van het golflengte gebied. Het patroon voor water laat zien dat deze vooral reflecteert in het zichtbare deel van het spectrum en dat water alle infrarode straling grotendeels absorbeert. De bodemspectra laten een duidelijk verschil zien tussen een natte (meer absorptie) en een droge bodem waarbij de reflectie een geleidelijk oplopend patroon laat zien. Vegetatie heeft een heel karakteristiek patroon met een scherpe toename van de reflectie in de overgang van de rode band (600-700 nm) naar de nabij-infrarode band (vanaf 700 nm). Deze overgang wordt veroorzaakt door de absorptie van straling in de rode band door het chlorofyl in de plant terwijl in de nabij-infrarode band door interne reflectie binnen het blad juist veel straling wordt gereflecteerd. Deze scherpe overgang wordt de red-edge genoemd. In figuur 8 is ook aangegeven welke golflengte gebieden specifiek door de Landsat sensor worden gemeten. Deze sensor meet niet de hele reflectie curve maar een beperkte set bredere spectrale banden.



Figuur 8: Voorbeeld van reflectie curves voor bodem en vegetatie zoals gemeten met remote sensing sensoren.

Om de reflectie van een gewas op een gestandaardiseerde manier te kunnen vergelijken met gewaseigenschappen wordt een zogenaamde vegetatie index berekend (Tabel 2). Hierbij wordt volgens een bepaalde formule de reflectie in specifieke banden met elkaar gecombineerd. Sommige vegetatie indices zijn opgesteld om te relateren aan biomassa (NDVI, WdVI), Andere zijn juist gevoeliger voor de hoeveelheid chlorofyl of stikstof in het blad (b.v. red-edge position (REP)). Dus voor het monitoren van verschillende gewas parameters zijn ook verschillende vegetatie indices nodig. Tabel 2 geeft een overzicht van vegetatie indices die zijn ontwikkeld voor de monitoring van agrarische gewassen.

Tabel 2: Overzicht van vegetatie indices om uit remote sensing beelden gewaseigenschappen te bepalen. R geeft de reflectie in een specifieke band.

Index	Naam	Formule	Ontwikkeld door
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR}-R_{red})/(R_{NIR}+R_{red})$	Rouse et al. (1974)
RVI	Ratio Vegetation Index	R_{NIR}/R_{red}	Jordan (1969)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	$R_{NIR}-C \cdot R_{red}$ $C = 2$ (soil factor)	Clevers (1989)
REP-LI	Red edge position: linear interpolation method	$700+40(R_{re}-R_{700})/(R_{740}-R_{700})$ $R_{re}: (R_{670}+R_{780})/2$	Guyot et al. (1988)
MTCI	MERIS Terrestrial Chlorophyll Index	$(R_{754}-R_{708})/(R_{708}-R_{680})$	Dash and Curran (2008)
TCARI	Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	$3((R_{700}-R_{670})-0.2(R_{700}-R_{550}))(R_{700}/R_{670})$	Haboudane et al. (2002)
TCARI/OSAVI	Combined Index: TCARI with Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	TCARI/OSAVI $OSAVI: 1.16x(R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	Haboudane et al. (2002)
MCARI	Modified Chlorophyll Absorption index	$[(R_{700}-R_{670})-0.2x(R_{700}-R_{550})x(R_{700}/R_{670})]$	Daughtry et al. (2000)
DCNI	Double-peak canopy nitrogen index	$(R_{720}-R_{700})/(R_{700}-R_{670})/(R_{720}-R_{670}+0.03)$	Chen et al. (2010)
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	$(R_{780}-R_{720})/(R_{780}+R_{720})$	Eitel et al. (2010)

Een aantal vegetatie indices zoals de NDVI en WdVI die vooral te relateren zijn aan groene biomassa zijn al in de jaren 70 en 80 ontwikkeld op basis van de toen beschikbare Landsat satellieten. Daarna werden ook de eerste chlorofyl en stikstof indices gepubliceerd die vooral gebaseerd waren op de scherpe overgang in de red-edge. De laatste 10 jaar zijn een groot aantal indices gepubliceerd om stikstof en chlorofyl in de vegetatie te bepalen die zijn gebaseerd op relatief smalle spectrale banden rond de red-edge (Tabel 2): TCARI/OSAVI, DCNI, NDRE etc. Deze laatste indices kunnen nog niet worden toegepast op satelliet data omdat deze niet de juiste spectrale banden hebben (Tabel 1). Maar de verwachting is dat een nieuwe generatie satellieten (b.v. Sentinel-2) deze spectrale banden wel beschikbaar heeft.

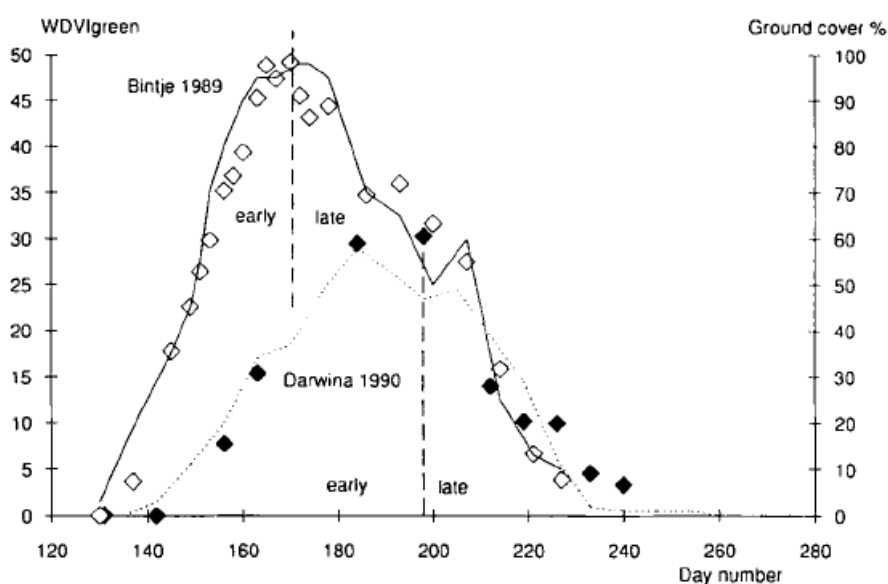
Gewas patronen uit remote sensing beelden

Verschillen in gewaseigenschappen (b.v. biomassa, LAI, stikstof, watergehalte) binnen een perceel resulteren in verschillende reflectiepatronen (Figuur 8) welke worden gedetecteerd in een remote sensing beeld (Figuur 1). Dit zou je kunnen karakteriseren als het ruimtelijke gewaspatroon. Daarnaast maakt een agrarisch gewas ook een hele ontwikkeling door tijdens het groeiseizoen die zorgt voor verschillen in reflectie van het gewas op dezelfde locatie. Dit zou je kunnen karakteriseren als het temporeel gewaspatroon.

In dit hoofdstuk willen we kort een aantal voorbeelden laten zien van deze gewas patronen om enerzijds een beeld te krijgen hoe deze gewas patronen worden gemeten door een remote sensing systeem en anderzijds hoe je deze beelden zou kunnen analyseren en visualiseren zodat dit informatie oplevert voor de akkerbouwer op basis waarvan management beslissingen kunnen worden genomen. Deze informatie kan zowel tijdens het groeiseizoen worden gebruikt om bijvoorbeeld beslissingen te nemen over locatie waar aanvullend bemest of geïrrigeerd zou kunnen worden. Daarnaast zijn patronen ook relevant om na afloop van het groeiseizoen (eventueel in combinatie met opbrengst data) te analyseren om op die manier te komen tot zoneringen die voor een volgend groeiseizoen als management units kunnen worden gebruikt.

Onder optimale condities vertoont een gewas een standaard ontwikkelingspatroon over het groeiseizoen (Figuur 9). Door de gecombineerde invloed van variatie in bodemgesteldheid en weersvariatie treedt varieert de gewas status binnen een perceel. Een akkerbouw gewasperceel kan hierbij grofweg worden ingedeeld naar vroeg- en laatheid ten opzichte van een gemiddeld jaar:

- laat gesloten (LAI >2) en vroeg rijp -> lage productie;
- vroeg gesloten en vroeg rijp -> minder dan gemiddelde productie;
- laat gesloten en laat rijp -> meer dan gemiddelde productie;
- vroeg gesloten en laat rijp -> hoge productie.



Figuur 9: Ontwikkeling van de spectrale vegetatie index WDWI over het groeiseizoen voor twee aardappelrassen (bintje WDWI ◇, and darwina WDWI) in relatie tot bedekkingspercentage (bintje __, darwina,). De WDWI is berekend uit spectrale metingen in groene en nabij-infrarode band (bron: Bouman et al., 1992).

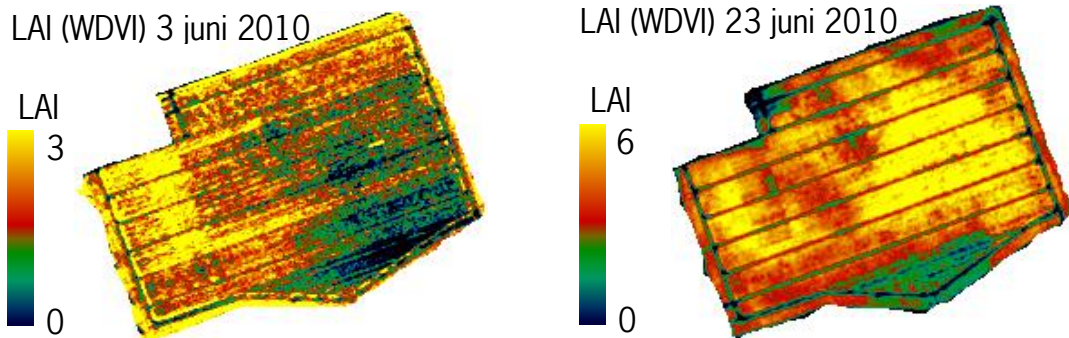
Vroegrijpheid is hierbij vaak het gevolg van vochtstress in het hoogseizoen (onvoldoende beworteling). 'Laatrijpe gronden' hebben een goede bewortelbare diepte en zijn vaak in staat stikstof na te leveren uit de organische stof. Om een hoge productie te halen moet een perceel vroeg gesloten zijn en vooral lang groen en dus productief blijven. In termen van een tijdserie van remote sensing beelden zou dit vertaald kunnen worden naar een hoge waarde voor een biomassa vegetatie index als de WdVI over het groeiseizoen. Een hoge waarde geeft hierbij een hoge biomassa aan. Figuur 9 geeft een voorbeeld van de ontwikkeling van de WdVI voor twee verschillende aardappel rassen waarbij het Bintje een hogere biomassa bereikt ten opzichte van het ras Darwina terwijl start en eind van het seizoen vergelijkbaar zijn voor de beide rassen. De figuur laat een duidelijke relatie zien tussen de vegetatie bedekking en een vegetatie index als de WdVI gebaseerd op de rode en nabij-infrarode band welke kan worden afgeleid uit zo goed als alle satelliet beelden.

Patronen in de ruimte

Zonder satelliet remote sensing beelden is er binnen H-WodKa ook al ervaring opgedaan met het detecteren van gewaspatronen. De afgelopen jaren worden regelmatig vluchten boven de Hoeksche Waard gemaakt waarbij met een standaard camera foto's onder een hoek zijn genomen van een groot aantal percelen. Figuur 10 geeft een voorbeeld van een foto met rechthoekige patronen in een perceel. Mogelijk dat variatie in dit perceel deels verklaard kan worden uit een stelsel van oude drainage systemen waardoor lokale verschillen binnen het perceel ontstaan die alleen kunnen worden gedetecteerd met een sensor met een hoge ruimtelijke resolutie (< 1m). Toepassingen zijn het opstellen van een prikplan of het identificeren van verstopte drainagebuizen. Aan de andere kant zal het moeilijk zijn op dit gedetailleerde schaalniveau plaats specifiek perceel management uit te voeren. Figuur 11 presenteert een ander voorbeeld van een ruimtelijk gewas patroon waarbij op basis van twee Worldview-2 beelden de variatie in LAI voor een aardappel gewas in beeld is gebracht. De twee beelden zijn vroeg in het seizoen opgenomen op 3 en 23 juni 2010 en de snelle gewasontwikkeling is te herkennen aan de toename van de maximum LAI waarde van 3 naar 6.



Figuur 10: Voorbeeld van een remote sensing beeld opgenomen met een standaard camera vanuit een helikopter voor een van de percelen in de Hoeksche Waard (Foto: Aad Klompe).

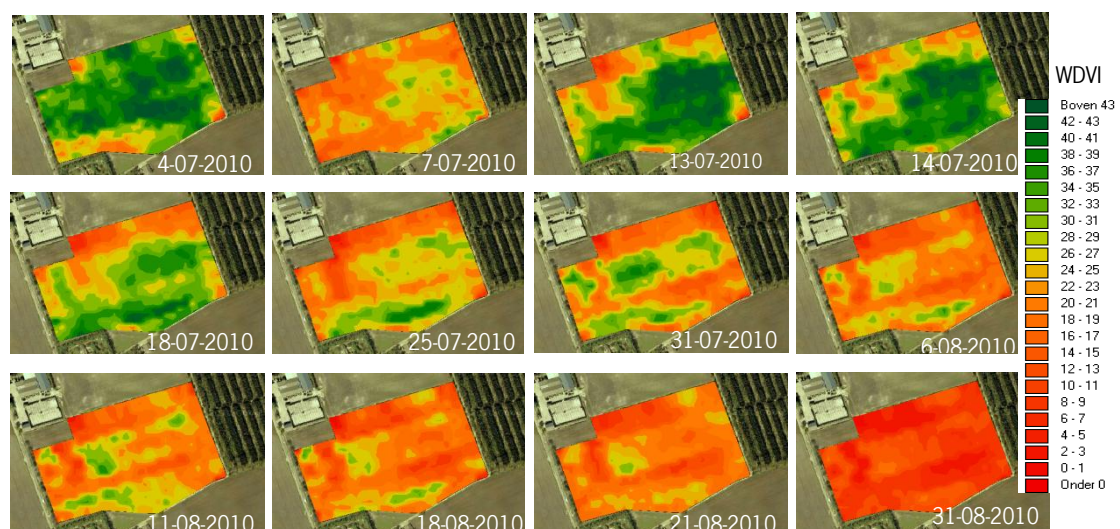


Figuur 11: Kaarten voor leaf area index gebaseerd op worldview-2 remote sensing beelden voor een perceel bij van den Borne aardappelen voor 3 en 23 juni 2010.

Ook zijn de ruimtelijke patronen voor de twee momenten duidelijk verschillend met grotere verschillen aan het begin van het seizoen (o.a. door de invloed van bodemreflectie) en een meer homogene bedekking na sluiting van het gewas. Het beeld van 23 juni 2010, laat een vierkante blokje linksboven in het perceel zien met vertraagde groei. Dit is het onbemeste referentie plot binnen het perceel. Maar ook duidelijk zichtbaar is de vertraagde ontwikkeling van het aardappel gewas in het midden onderste deel van het perceel. Dit deel had een hoge start (organische) bemesting gekregen maar dit heeft juist een vertraagde groei tot gevolg aan het begin van het groeiseizoen.

Patronen in de tijd

De ruimtelijke variatie van gewaseigenschappen verandert gedurende het groeiseizoen: late delen in een perceel blijven langer groen en specifieke weerscondities (droogte) kunnen ervoor zorgen dat delen van een perceel een groeiachterstand oplopen. Wanneer op regelmatige momenten tijdens het groeiseizoen remote sensing beelden beschikbaar zijn dan kan deze variatie in ruimte en tijd in beeld worden gebracht. Figuur 12 laat een voorbeeld zien van een tijdserie van beelden gemeten met een close sensing instrument die de variatie van de WdVI voor een aardappel gewas over een groeiseizoen in beeld brengt. Onder invloed van verschillende bemesting niveau's zijn binnen het perceel duidelijk verschillen in gewasontwikkeling waar te nemen. Op basis van deze reeks van beelden kan voor elke pixel in het beeld een groeicurve worden bekeken.

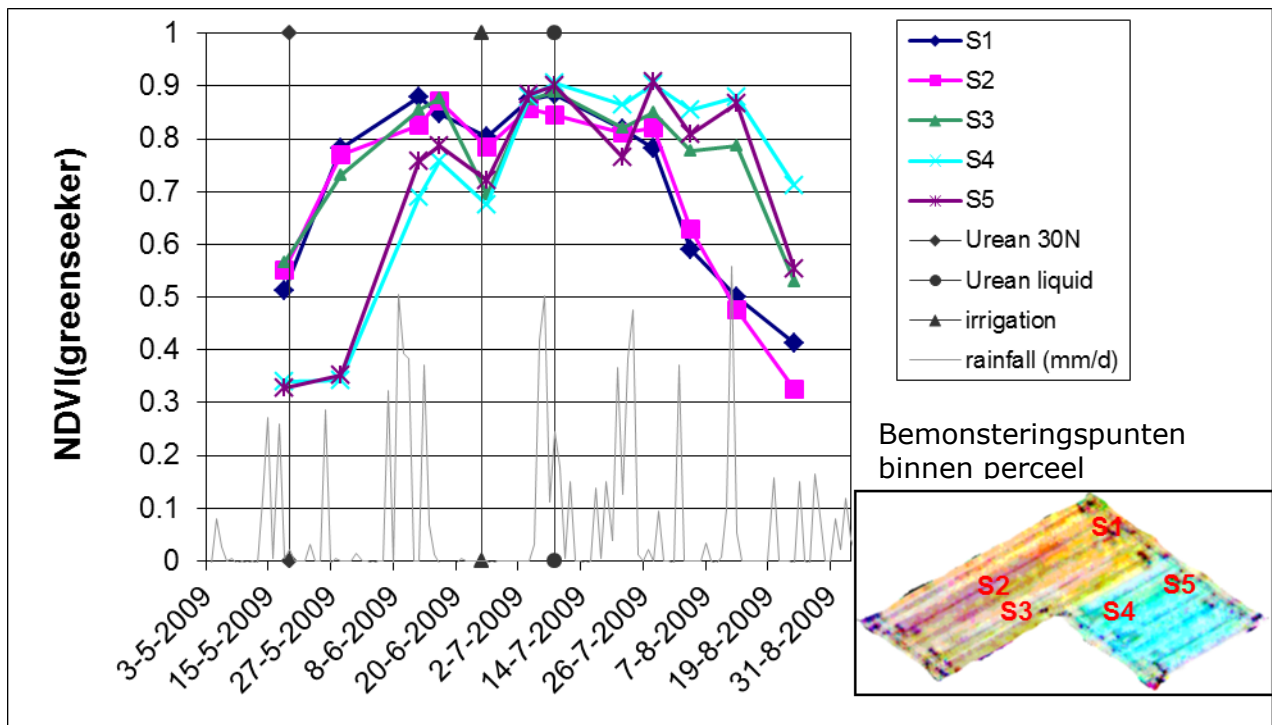


Figuur 12: Greenseeker WdVI kaarten voor aardappel gewas op perceel Van den Borne Aardappelen voor het groeiseizoen 2010 (Bron: Jukkema, Agrometius).

In een eerdere studie hebben Hatfield en Prueger (2010) laten zien dat verschillende vegetatie indices kunnen worden ingezet om het gewas tijdens verschillende groeistadia te monitoren. Zo kan de som van NDVI of WdVI worden gerelateerd aan de geaccumuleerde hoeveelheid fotosynthetische actieve straling (= PAR: photosynthetically active radiation) welke een relatie heeft met de gesommeerde biomassa over het groeiseizoen.

Figuur 13 geeft een voorbeeld van groeicurves bepaald op basis van een serie van Greenseeker metingen voor 5 locaties binnen een perceel. Een duidelijk onderscheid is te maken tussen vroege (S1, S2 en S3) en late (S4 en S5) ontwikkelde delen van het perceel. Daarnaast kan de ontwikkeling ook worden gerelateerd aan weerscondities en management activiteiten. In figuur 13 is duidelijk te zien dat een langere droogteperiode begin juni zorgde voor een afnemende NDVI waarde. Na irrigatie 26 juni herstelt het gewas zich en neemt de NDVI ook weer toe.

Dit soort analyses kunnen niet alleen worden ingezet om bij te sturen tijdens het groeiseizoen maar kunnen ook na het groeiseizoen worden gebruikt om de variatie in de ontwikkeling van het gewas te verklaren. Op basis hiervan kunnen in het volgende seizoen specifieke plaats specifieke teeltmaatregelen worden genomen. Een beperkende factor hierbij is dat de software en functies om dit soort analyses te maken niet beschikbaar zijn in gangbare agrarische bedrijfsmanagement software.



Figuur 13: Ontwikkeling van de NDVI gemeten op basis van 12 meetmomenten met de Greenseeker voor een perceel binnen het bedrijf van Van den Borne Aardappelen in relatie tot dagelijkse regenval van KNMI station Eindhoven en management activiteiten zoals irrigatie en bemesting. Het kaartje laat de vijf bemonsteringspunten zien en het gecombineerde beeld van drie Greenseeker metingen op verschillende momenten in het groeiseizoen: rood: 13 juni; groen: 9 juli; blauw: 29 juli 2009 (bron: Thessler et al., 2011).

Gewas patronen voor de Hoeksche Waard

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de methodes en de resultaten voor de analyse van gewas patronen gebaseerd op historische remote sensing beelden (2006-2010) voor een selectie van 10 percelen in de Hoeksche Waard. In de laatste paragraaf worden een overzicht gegeven van de belangrijkste uitkomsten en wordt beschreven op welke manier dit kan worden ingezet in de praktijk van plaats specifiek perceel management zoals die door H-WodKa wordt ontwikkeld.

Selectie percelen

De analyse is uitgevoerd voor 10 percelen waarvoor binnen het project AG&B ook gedetailleerde bodem informatie wordt verzameld. Op die manier kunnen in een volgende fase gewaspatronen met bodemparameters worden vergeleken. Tabel 3 geeft een overzicht van de percelen en de gewas rotatie in de periode 2006-2011. Binnen de percelen wordt een groot aantal gewassen geteeld. Voor de remote sensing analyse is het belangrijk om onderscheid te maken tussen bovengrondse gewassen (granen) en wortelgewassen (aardappels, bieten, wortels, uien) en vroege en late gewassen. Daarnaast hadden een aantal percelen binnen een perceel verschillende gewassen. Bij de analyse hebben we hier rekening mee gehouden omdat de duidelijk verschillende gewas patronen vanuit het remote sensing beeld in dat geval werd veroorzaakt door verschillen in gewassen en dus niet konden worden gerelateerd aan de bodem situatie. Door de opdrachtgever zijn shp files van de 10 percelen aangeleverd (projectie: Rijksdriehoeksstelsel) op basis waarvan selecties en bewerkingen konden worden gemaakt.

Tabel 3: Overzicht percelen en gewas rotaties voor de periode 2006-2011 voor de 10 onderzochte percelen in de Hoeksche Waard.

perceel	start	2006	eind	start	2007	eind	start	2008	eind	start	2009	eind	start	2010	eind	2011
Langshaven		WT		1/3	SB	25/9	1/5	CA	27/9	1/10/ 2008	WT	1/8	1/5	PU1	3/12/ 30-8	WT
Weischool	15/4	SK	20/12	31/10/ 2006	WT/IR	8/5	16/4	CA	29/9	13/10/ 2008	WT	28/7	14/4	SB/SK	28/10	CA
Kampen-Dekker		GR1			BG/ GR2			WT/ ZT			SB			WT	12/8	WT
Erve		SK		22/12/ 2006	WT	2/8	16/4	CA	10/9	13/10/ 2008	WT	28/7		ZU	1/9	SK
Greup	27/9/ 2005	WT	24/8	3/4	CA	3/9	21/2	BG	30/7	19/3	BZ	4/8	1/5	SK	1/12	CA
Langeweg	18/3	BG	27/7	1/4	PU1	1/8	4/4	CA	10/7	2/4	BG/CI	22/9	16/3	SB	28/10	WT
Manege	23/3	ZT	28/8				1/4	CE	27/9	1/10/ 2008	ZU	1/9	1/4	BP	1/11	
Noordvliet	6/5	TB	20/7	27/3	SB	24/9	12/4	SM	22/9	22/10/ 2008	WT	3/8	14/4	CA	21/9	SM
Oranjeweg	12/4	CA	17/10		WT			SB/ SSB			WT			CA		
Kavel1	14/4	CA	20/9	16/10/ 2006	WT	20/7	10/4	SB	21/11	18/5	KS	31/10	15/4	CA	20/9	PU1

WT: wintertarwe; SB: suikerbieten; CA: consumptie aardappelen; PU1: plant uien eerstejaars; SK: spruitkool; IR: Italiaans raaigras; SM: snij mais; GR1: graszaad engels raaigras eerstejaars; GR2: graszaad engels raaigras tweedejaars; BG: brouwerst; CI: cichorei; CE: conserven erwten; BP: bospeen; ZU: zaai uien; TB: tuinbonen; SSB; stam slabonen; KS: knol selderij.

Remote sensing beelden

Voor de analyse is een onderzoek gedaan naar de beschikbaarheid van geschikte remote sensing beelden. Uitgangspunt was om beelden te verzamelen van hoge kwaliteit (geen bewolking) en gedetailleerde ruimtelijke resolutie (waar mogelijk < 15m), welke een continue tijdsreeks vormen over de periode 2006-2010. Daarnaast is rekening gehouden met: 1) de fasen van groeiseizoen die we willen onderscheiden waarbij rekening wordt gehouden met de werkelijke zaai/poot en oogsttijdstippen (tabel 3); 2) selectie van enkele 'indicator' gewassen en 3) het meenemen van de invloed van extremere weersomstandigheden (natte of droge groeiseizoenen). Op basis van deze specificatie en ook om binnen de kosten van het data budget te blijven is primair gekeken naar beelden van Landsat, Aster en SPOT5 (Tabel 1). Tabel 4 geeft een overzicht van de beelden die zijn gebruikt in het onderzoek. Het bleek dat de beschikbaarheid van geschikte remote sensing beelden voor 2010 beperkt was door de relatief bewolkte zomer. Daardoor zijn er voor 2010 maar 2 beelden beschikbaar. De beschikbaarheid van beelden met een ruimtelijke resolutie van 10 m bleek relatief klein omdat deze alleen kunnen worden geleverd door de SPOT5 sensor. Aster is met een resolutie van 15 m een goed alternatief. Om de meerwaarde van hoog-resolutie beelden voor deze toepassing te kunnen beoordelen is besloten om voor 2011 een Worldview-2 beeld te laten opnemen. Doordat dit beeld relatief laat in het seizoen is opgenomen, 2 augustus 2011, konden voor de percelen met vroege gewassen geen gewas patronen worden bepaald. Alle beschikbare remote sensing beelden (tabel 4) zijn geometrisch en atmosferische gecorrigeerd door TerraSphere op basis van standaard procedures . De atmosferische correctie is uitgevoerd met de ATCOR software en met deze procedure zijn de DN waarden omgerekend naar reflectiewaarden. Alle beelden zijn geo-gereferenciert naar het nationale coördinatensysteem (Rijksdriehoeksstelsel).en geresampled naar een pixel grootte van 10 m. De laatste bewerking is niet uitgevoerd voor het Worldview-2 beeld omdat we voor dit beeld de originele pixel grootte van 2m wilden behouden. De data zijn beschikbaar in verschillende bestandsformaten: img-formaat welke wordt gebruikt in remote sensing software zoals Erdas-Imagine, en het meer generieke geo-tiff formaat welke in de gangbare gis-pakketten zoals ArcGIS en Farmworks kan worden ingelezen. Voor alle beelden zijn uitsneden gemaakt van de 10 percelen op basis waarvan de verdere bewerkingen zijn uitgevoerd.

Tabel 4: Overzicht van remote sensing beelden (specificatie tabel 1) die in dit onderzoek zijn gebruikt.

Jaar	Datum	Sensor	Orginele resolutie (m)
2006	6 mei	Landsat TM5	25
	1 juli	Aster	15
	25 juli	Landsat TM5	25
2007	7 juni	Spot 5	10
	21 juli	Spot 2	20
	25 augustus	Spot 5	10
2008	11 mei	Landsat TM5	25
	10 juni	Spot 4	20
	9 augustus	Spot 2	20
2009	30 mei	Landsat TM5	25
	24 juni	Spot 4	20
	18 augustus	Landsat TM5	25
2010	17 juni	Aster	15
	6 september	Landsat TM5	25
2011	2 augustus	Worldview-2	2

Methodes voor genereren gewas patronen

Berekening WdVI

Als basis voor het genereren van gewas patronen hebben we in dit onderzoek de WdVI als vegetatie index gebruikt (Tabel 2). De Weighted Difference Vegetation Index (WdVI), ook wel 'biomassa index' genoemd, is een maat voor de groene chlorofyl houdende bladmassa of biomassa. De WdVI wordt berekend op basis van het verschil tussen de reflectiewaarden in de nabij-infrarode en de rode band gecorrigeerd voor de reflectie van de kale (onder-) grond (Clevers, 1989). De beschikbare set van remote sensing beelden (Tabel 4) hebben allemaal een rode en nabij-infrarode band zodat voor alle beelden een WdVI kaart met een resolutie van 10*10 m kon worden berekend. Ook voor de WdVI kaarten zijn uitsnedes gemaakt naar de begrenzing van de 10 percelen.

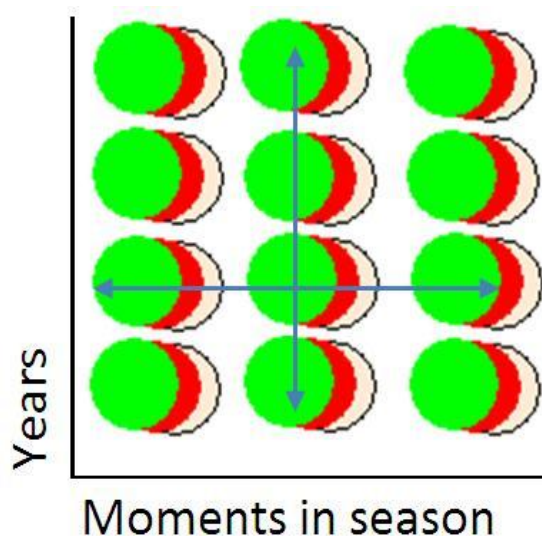
In de volgende paragrafen worden de methodes beschreven die gebruikt zijn om de gewas patronen te bepalen en te analyseren. Al deze methoden zijn toegepast voor de WdVI.

Heterogeniteitindex

Als eerste is per perceel en per beschikbare opname een heterogeniteitsindex berekend. Deze index is een maat voor de variatie van de WdVI binnen een perceel. De basis is een berekening van de standaard deviatie (SD) van alle WdVI waardes binnen een perceel. Deze SD waarde wordt geïndexeerd, waarbij een hoog getal staat voor een hoge heterogeniteit van het gewas binnen een perceel, en lage waardes geven aan dat het gewas een homogene spreiding binnen het gewas heeft.

Clustering

Een nieuwe methode voor de identificatie van patronen in satelliet data is de toepassing van cluster analyse (Seiffert et al., 2011). Verschillen in gewasstatus veroorzaken verschillen in de reflectiewaarde voor de verschillende spectrale banden van een remote sensing beeld. Door multivariate statistische technieken toe te passen, zogenaamde clustering technieken, worden pixels met vergelijkbare reflectiepatronen samengevoegd in groepen. Wanneer deze groepen worden gevisualiseerd in een kaart worden patronen zichtbaar van het gewas met gelijkwaardige eigenschappen.



Figuur 14: Schematisch overzicht van clustering van verschillende beeld combinaties binnen en tussen jaren.

In dit onderzoek zijn drie cluster technieken toegepast Interative Self-organising Data Analysis Techniques (ISODATA), K-means and fuzzy C-means (Lillesand et al., 2007; Hamerveld et al., 2011). De cluster analyse kan worden gemaakt voor een beeld op een moment maar kan ook worden uitgevoerd voor alle beschikbare beelden binnen een groeiseizoen (Figuur 14).

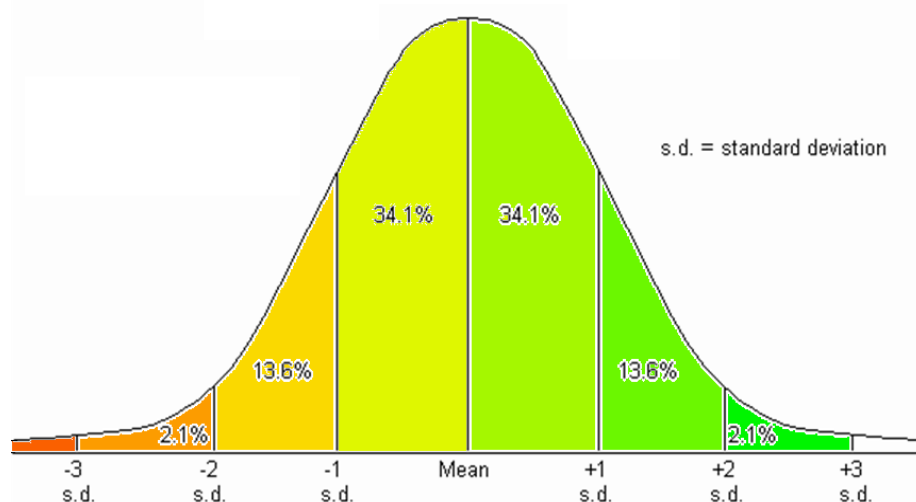
Classificatie op basis van normaal verdeling

Door gewas rotatie zullen op hetzelfde perceel gedurende opeenvolgende jaren verschillende gewassen worden geplant (Tabel 3). Doordat deze gewassen verschillende reflectiepatronen en dus een verschillende variatie in WdVI zullen hebben, zijn gewas patronen binnen een jaar en tussen jaren moeilijk vergelijkbaar. Om verschillen voor een remote sensing beeld te standaardiseren is daarom gebruik gemaakt van een classificatie methode op basis van een normaal verdeling (Figuur 15). Voor elk beeld wordt op basis van het histogram van WdVI waarden een normaal verdeling opgesteld. Deze verdeling wordt verdeeld in 6 klassen op basis van de afstand tot het gemiddelde. Als afstand maat wordt de standaard deviatie gebruikt. Dit betekent dat elk WdVI beeld wordt geschaald van een continue schaal naar een verdeling met 6 klassen.

Naast de schaling op basis van een normaal verdeling is ook histogram schaling toegepast. Hierbij worden het oorspronkelijke bereik van de WdVI waarden in de vorm van een histogram geoptimaliseerd door de waarden te hertransformeren zodat elke klasse van het histogram ongeveer een gelijk aantal punten bevat.

Som vegetatie index over het groeiseizoen

De laatste methode die is toegepast is gebaseerd op de constatering dat de som van NDVI of WdVI een relatie heeft met de gesommeerde biomassa over het groeiseizoen. Voor de percelen Greup en Langshaven is voor de jaren 2007, 2008 en 2009 de som van WdVI berekend van de drie beschikbare satelliet beelden in het seizoen. Op het resulterend beeld is daarna histogram schaling toegepast.



Figuur 15: Voorbeeld van schaling van WdVI waarden in remote sensing beeld naar 6 klassen op basis van schaling naar een normaal distributie.

Resultaten: gewaspatronen uit historische beelden

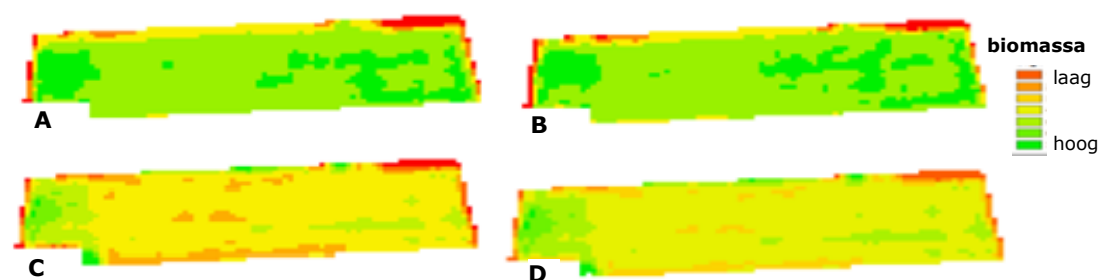
In deze paragraaf zullen de resultaten voor de toepassing van verschillende methoden om gewaspatronen te identificeren op een rij worden gezet. We hebben ervoor gekozen om voor twee velden, Greup en Langshaven, de resultaten uitgebreider te bespreken. Voor de gewaspatronen van alle 10 percelen die in dit onderzoek zijn meegenomen is een apart deelrapport gemaakt: Gewaspatronen H-WodKa: Studie Atlas (Olthof et al., 2011). Dit rapport is besproken met de agrariërs van de 10 percelen tijdens een studiebijeenkomst op 12 juli 2011. De uitkomsten van deze bijeenkomst zullen verder worden behandeld in de discussie van dit rapport.

Vergelijking vegetatie indices

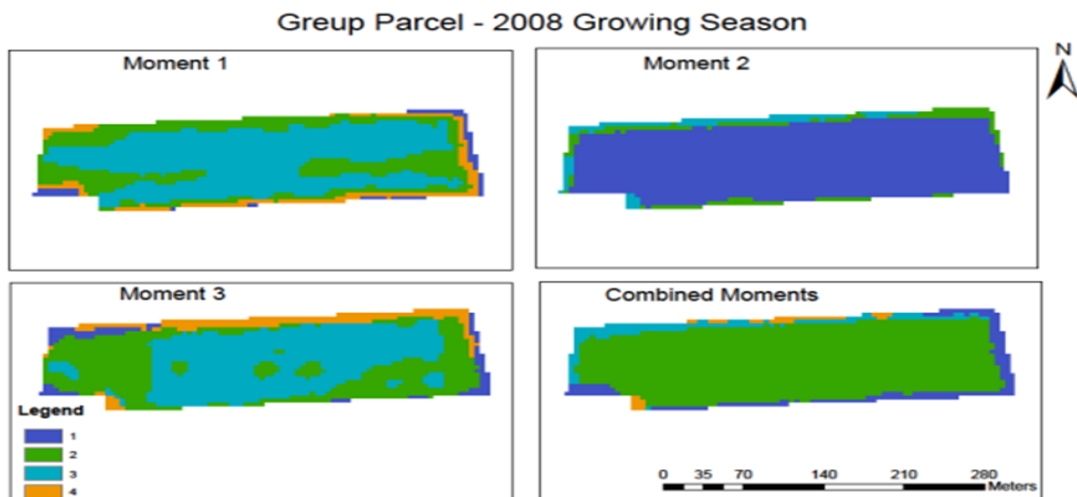
Voor remote sensing studies van agrarische gewassen zijn een groot aantal vegetatie indices beschikbaar (Tabel 2). De toepassing van deze indices wordt wel beperkt door de beschikbare spectrale banden van de remote sensing beelden (Tabel 1). Voor dit onderzoek waren beelden beschikbaar met banden in het zichtbare en nabij-infrarood deel van het elektromagnetische spectrum. De vegetatie indices die hieruit kunnen worden berekend zijn primair gerelateerd aan de hoeveelheid bovengrondse biomassa van het gewas. Als eerste stap hebben we bekeken in hoeverre verschillende vegetatie indices patronen opleveren die kunnen worden gerelateerd aan bekende bodem patronen (Hamersveld et al., 2011). Figuur 16 laat een vergelijking zien van de gewaspatronen voor 4 verschillende vegetatie indices (NDVI, GNDVI, MSAVI en WdVI) voor het perceel Greup op 10 juni 2008. Overeenkomstige patronen zijn zichtbaar voor NDVI en GNDVI die op een vergelijkbare manier worden berekend. Een probleem voor deze twee indices is dat bij een hoge biomassa van het gewas, de waarde van deze indices niet meer onderscheidend is doordat deze op hetzelfde hoge niveau blijft (verzadiging). Dit is in de figuur ook te zien omdat in de productieve delen van de percelen de maximum waarde al is bereikt. De MSAVI en WdVI die beide worden gecorrigeerd voor bodeminvloed en ook sterk op elkaar lijken zijn meer onderscheidend bij hoge gewas biomassa. Dit is ook duidelijk te zien in het linker deel van het Greup perceel met 'de oude kracht' waar binnen het hoog productieve deel nog onderscheid wordt gemaakt in verschillende klassen. Op basis van dit resultaat is ervoor gekozen om voor de verdere analyse van gewaspatronen de WdVI als uitgangspunt te gebruiken.

Clustering methode

De resultaten van de clustering methode worden gepresenteerd in Figuur 16 voor perceel Greup in 2008. Toepassing van clustering resulteert in globale patronen die ook sterk worden beïnvloedt door mix effecten voor pixels langs de rand van het perceel (Hamersveld et al., 2011). Voor clustering wordt een keuze gemaakt van het aantal toe te wijzen klassen. Een groot deel van die klassen wordt gebruikt om pixels langs te rand te groeperen. Dit gaat ten koste van detail in het centrale deel van het perceel.



Figuur 16: Vergelijking van gewaspatronen voor perceel Greup voor 10 juni 2008 (brouwgerst) op basis van classificatie van verschillende vegetatie indices: a) NDVI; b) GNDVI; c) MSAVI; d) WdVI (bron: Hamersveld et al., 2011).



Figuur 17: Vergelijking van gewaspatronen voor perceel Greup voor 2008 (brouwgerst) op basis van clustering methode (bron: Hamersveld et al., 2011).

Figuur 17 laat zien dat voor brouwgerst de grootste verschillen in gewaspatroon zijn te zien in het eerste deel en laatste deel van het groeiseizoen. Een voordeel van clustering is dat je verschillende datasets kunt combineren. In deze analyse hebben we de WdVI beelden voor de drie momenten over het seizoen gecombineerd en op basis daarvan een clustering gemaakt. Het resulterende gewaspatroon wordt primair bepaald door moment 2 met de minste variatie en de randeffecten. Eerdere studies hebben gewaspatronen kunnen onderscheiden voor de vitaliteit van suikerbieten op basis van clustering methoden (Zhang *et al.*, 2011).

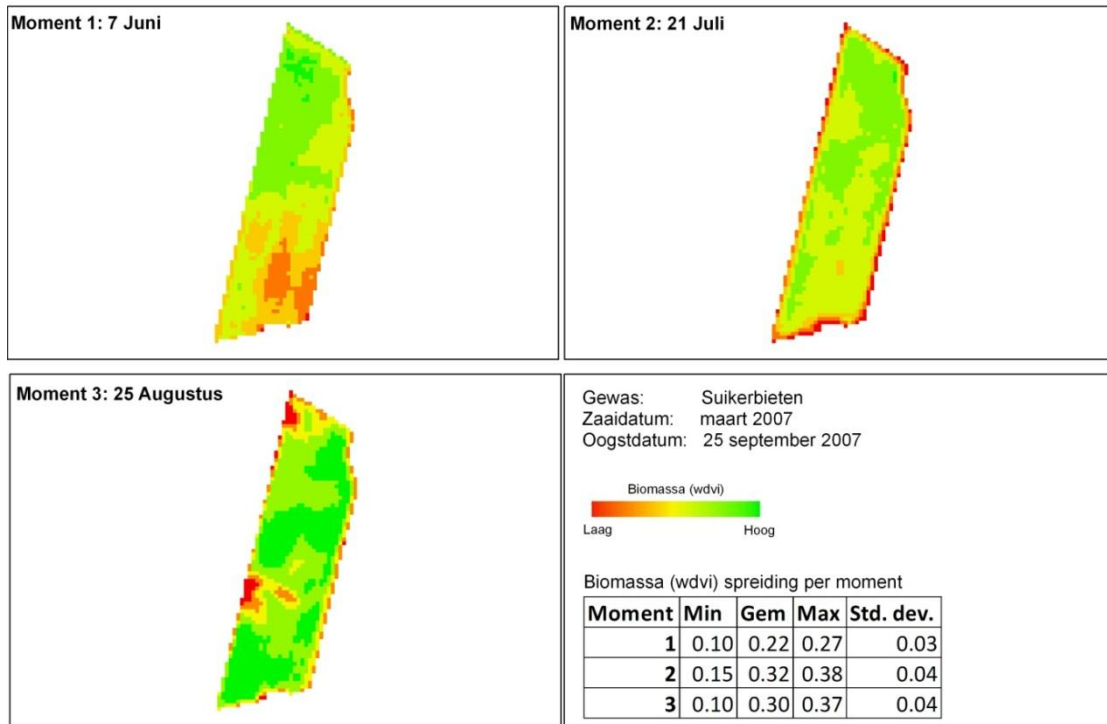
Classificatie op basis van normaal verdeling

Voor alle 10 percelen over de periode 2006-2010 zijn kaarten gemaakt met de gewaspatronen op basis van de classificatie van WdVI normale verdeling in 6 klassen. Deze resultaten worden gepresenteerd in het deelrapport: Gewaspatronen H-WodKa: Studie Atlas (Olthof *et al.*, 2011). Figuur 18 geeft een voorbeeld van deze classificatie voor het perceel Langshaven in 2007 (suikerbieten). De figuur laat duidelijk de ontwikkeling zien van verschillende vegetatieve fases van het gewas waarbij het patroon verschilt per fase. De WdVI neemt toe van een gemiddelde waarde van 0.22 op 7 juni naar een waarde van 0.32 en 0.30 op 21 juli en 25 augustus. Het gebied rechtsboven heeft een constant hoge waarde over het seizoen, terwijl het gebied linksonder juist later in het seizoen een hoge biomassa ontwikkelt. De opname van 25 augustus laat voor 2 plekken aan de linkerkant van het perceel (de rode vlekken) een sterke reductie in biomassa zien. De reden hiervoor is niet bekend maar op basis van de observaties in 2007 zou het interessant zijn om in relatie tot de bodemeigenschappen dit gebied aanvullend te onderzoeken. Wanneer we daarentegen naar de andere geanalyseerde jaren kijken, dan zien we dit gebied er niet specifiek uit springen.

Op basis van discussies tijdens een studiebijeenkomst met de akkerbouwers over de gewaspatronen voor hun percelen (Olthof *et al.*, 2011) kunnen we stellen dat een **terugkerend basispatroon** dat gerelateerd is aan plaatselijke intrinsieke, d.w.z. onveranderlijke, bodemeigenschappen (textuur, storende lagen, grondwaterpeil, hoogte mv, etc.) **overschaduwd** wordt door patronen die verband houden met:

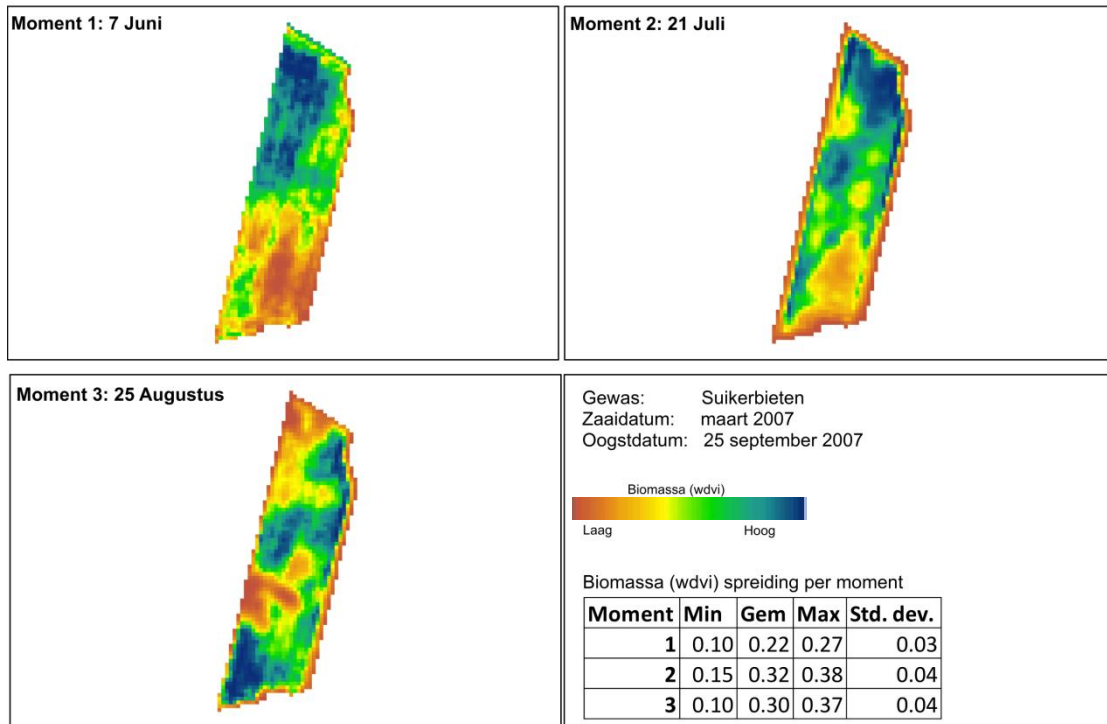
- verschillende voorvruchten op één perceel;
- verschil in oogsttijdstip (structuurschade);
- verschillende gewassen op één perceel;
- verschillende rassen op één perceel;
- natte plekken bij calamiteiten

Perceel Langshaven - 2007



Figuur 18: Vergelijking van gewaspatronen voor suikerbieten in het perceel Langshaven voor drie remote sensing opnames in 2007 op basis van classificatie van WdVI normaal verdeling in 6 klassen.

Perceel Langshaven - 2007



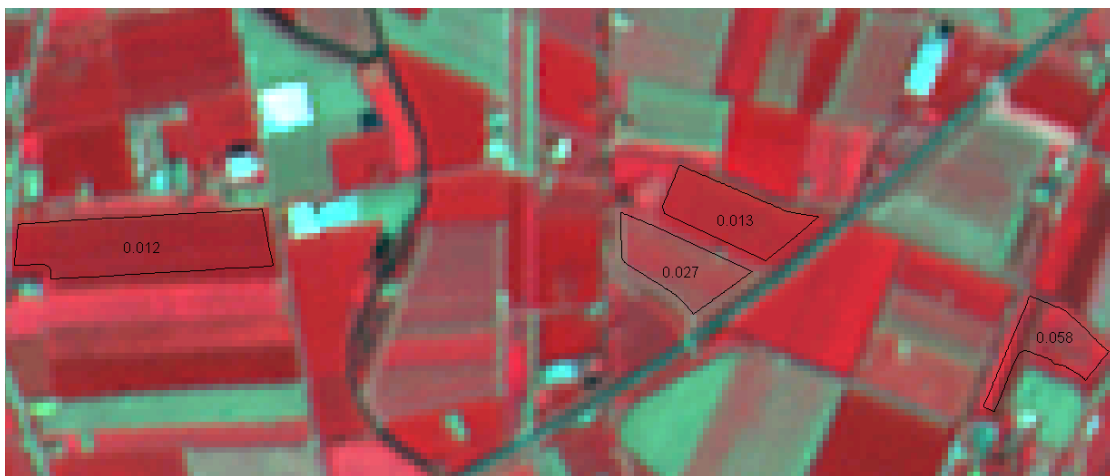
Figuur 19: Vergelijking van gewaspatronen voor suikerbieten in het perceel Langshaven voor 3 remote sensing opnames in 2007 op basis van classificatie van WdVI en histogram schaling.

Classificatie en histogram schaling

Een beperking van de classificatie op basis van de WdVI normaal verdeling (Figuur 18) is dat je de data schaalt naar een beperkt aantal klassen waardoor je inzicht verliest in de geleidelijke verandering van de WdVI. Daarom hebben we ook een methode toegepast waarbij de WdVI waarden continu blijven en alleen worden geschaald op basis van in dit geval histogram schaling. Figuur 19 geeft een voorbeeld van de resultaten van deze methode voor het Langshaven perceel welke kan worden vergeleken met de resultaten van Figuur 18. Door alleen schaling toe te passen zijn de patronen veel geleidelijker en is er ook grotere mate van detail zichtbaar. Bijvoorbeeld voor het patroon van 7 juni 2007 zijn de rijpaden deels zichtbaar wat ook deels kan worden verklaard door de hoge ruimtelijke resolutie van de SPOT 5 beelden van 10m. Het voordeel van deze methode voor de akkerbouwer is dat deze meer zijn eigen grenzen kan trekken en dus de gewaspatronen uit het beeld kan combineren met veldkennis. Daarnaast kunnen in een geografisch informatiesysteem de patronen ook vergeleken worden met andere ruimtelijke bestanden zoals de hoogtekaart, bodemkaart etc. Deze analyse valt buiten de scope van dit project.

Heterogeniteitsindex

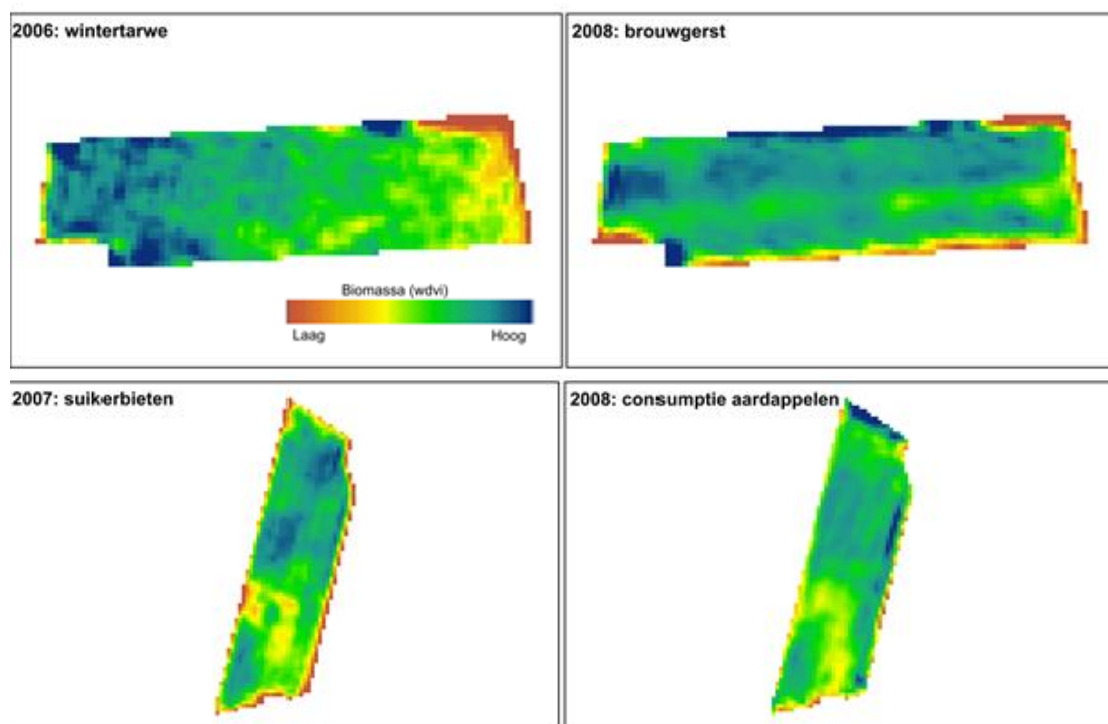
Naast inzicht in de ruimtelijke variatie binnen percelen is het voor bepaalde toepassingen binnen een bedrijf bijvoorbeeld prioritering van irrigatie activiteiten ook van belang om inzicht te hebben in de verschillen tussen percelen. Een parameter die hierin inzicht geeft is de heterogeniteitsindex (HI) die wordt berekend door de standaard deviatie voor een specifieke vegetatie index voor alle pixels binnen een afgebakend perceel te bepalen. Figuur 20 geeft een voorbeeld van de heterogeniteitsindex voor een selectie van de 10 percelen op basis van het SPOT beeld van 10 juni 2008. Hierbij is voor de berekening een buffer toegepast zodat de rand pixels niet worden meegenomen. Deze zouden door hun afwijkende waarde een grote invloed hebben op de berekende standaard deviatie. Figuur 20 laat zien dat 2 percelen een relatief lage variatie (lage HI) hebben en het perceel aan de oostkant van het perceel een relatief hoge variatie. De waarde van de heterogeniteitsindex is afhankelijk van de vegetatie index waarvoor deze wordt berekend. De heterogeniteitsindex is nu alleen berekend voor de geselecteerde percelen maar deze zou voor alle velden met GIS-data van de begrenzing kunnen worden bepaald.



Figuur 20: Heterogeniteitsindex per perceel bepaald op basis van WdVI voor een selectie van de percelen voor het SPOT5 remote sensing beeld van 10 juni 2008.

Som van WdVI over groeiseizoen

Aangezien de uiteindelijke gewasopbrengst een accumulatie is van alle effecten over het groeiseizoen ligt het ook voor de hand om het patroon van de som van een index als WdVI op basis van verschillende remote sensing beelden over het groeiseizoen te analyseren. Voor bovengrondse gewassen zoals granen zou dit een interessante indicator kunnen zijn voor gewasopbrengst. Voor wortelgewassen (b.v. aardappels en suikerbieten) is de bovengrondse biomassa niet altijd een rechtstreekse indicator voor de ondergrondse biomassa. Figuur 21 laat de gewaspatronen zien voor twee verschillende jaren op basis van gesommeerde WdVI voor de percelen Greup en Langshaven. Voor het perceel Greup zijn er niet direct consistente patronen vast te stellen alhoewel de oude weide aan de westkant hoge biomassa's laat zien en de oostkant juist relatief lagere waarden. Maar de tussenliggende patronen zijn duidelijk verschillende. Voor perceel Langshaven zijn wel vergelijkbare ruimtelijke patronen te onderscheiden.



Figuur 21: Vergelijking van gewaspatronen voor perceel Greup (boven) en Langshaven (onder) op basis van som van WdVI op drie momenten over het groeiseizoen voor verschillende jaren.

Discussie

Beschikbaarheid en geschiktheid historische remote sensing beelden

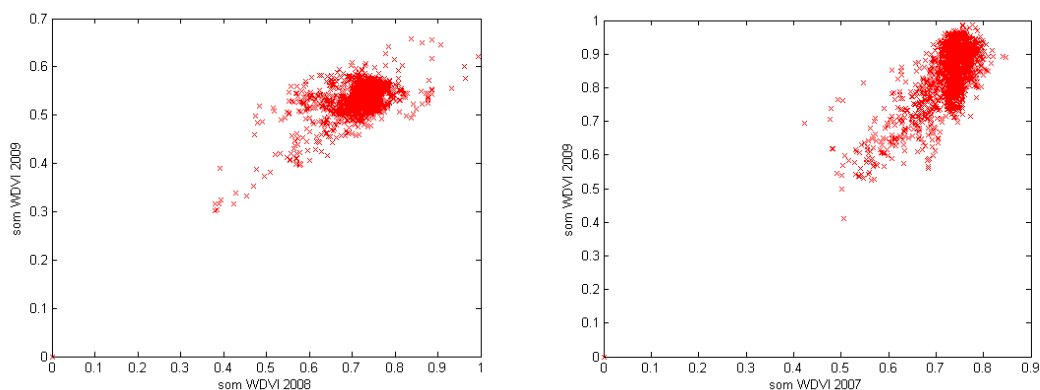
Het doel van dit project was om te onderzoeken in hoeverre historische remote sensing beelden kunnen worden ingezet om gewas- en opbrengstpatronen binnen een perceel in beeld te brengen. Dit als basis voor plaats specifiek perceel management (PSPM). De eerste stap die hierbij is gemaakt is de inventarisatie van geschikte beelden onder de voorwaarden van timing binnen het groeiseizoen, gedetailleerde ruimtelijke resolutie en kosten-effectief.

De aanname was dat met drie beelden over het groeiseizoen een goed beeld van de gewasontwikkeling kon worden verkregen. Ondanks dat voor de meeste jaren, drie beelden beschikbaar waren (tabel 4), zijn in de praktijk vaak maar twee beelden relevant voor een specifiek perceel. Dit heeft vooral te maken met de grote diversiteit aan gewassen die wordt geteeld (tabel 3) waardoor voor een vroeg gewas alleen de twee vroege beelden relevant zijn en voor late gewassen alleen de twee late

beelden. Naast het aantal beelden is het voor het detecteren van een 'duidelijk' basispatroon ook belangrijk dat de remote sensing beelden corresponderen met markante fasen in het groeiseizoen: de beginontwikkeling, even voor het sluiten van het gewas, na een droge periode in het middenseizoen, en de fase van afrijping in het eindseizoen. Afhankelijk van de weersomstandigheden en het type gewas binnen het perceel zal de timing van deze markante fasen verschillen en kan er niet een eenduidig moment per fase worden bepaald. Daarnaast hebben management activiteiten (b.v. irrigatie en bijbemesting tijdens het seizoen) binnen het perceel significante effecten op de variatie van de staat van het gewas binnen het perceel. Verder bleek dat voor een goede analyse, gewaspatronen binnen dezelfde variëteit van het gewas bepaald dienen te worden. Zo liet de analyse van het gewas patroon voor het perceel Greup in 2007 duidelijk verschillen binnen het aardappel gewas zien welke konden worden gerelateerd aan het poten van drie verschillende variëteiten binnen het perceel (zie voor kaart: Olthof et al., 2011). In 2008 was de invloed van deze verschillen nog steeds zichtbaar in de patronen (bijlage 1).

In deze studie zijn verschillende methoden voor het genereren van gewaspatronen met elkaar vergeleken. De resultaten van de clustering methode liet zien dat deze gevoelig is voor de effecten van rand pixels (figuur 17). Doordat de grenseffecten (mix van vegetatie, water, weg etc.) zorgen voor relatief veel variatie, wordt een groot aantal clusters toegewezen aan deze variatie. Maar dat is niet de variatie binnen het gewas waar we voor PSPM in geïnteresseerd zijn. Eventueel zou een buffer rond de grenzen van het perceel hiervoor een oplossing kunnen zijn. Daarnaast zou de toepassing van hoog-resolutie remote sensing data (< 10m) deels een oplossing kunnen zijn omdat het effect van mixing dan kleiner is. In deze studie is dit niet verder onderzocht.

De classificatie methoden gaven een goed onderscheid tussen patronen binnen een perceel (figuur 18 en 19). Histogram schaling gaf meer detail in de gewaspatronen op een moment terwijl op basis van schaling in klassen een betere vergelijking van patronen in de tijd kon worden gemaakt. Op basis van de heterogeniteitsindex (figuur 20) kan een vergelijking tussen percelen worden gemaakt maar deze geeft geen inzicht in de plaats specifieke variatie binnen een perceel. De laatste methode die is toegepast is gebaseerd op de som van de vegetatie index WDVl (figuur 21) over het groeiseizoen. Het lijkt alsof deze methode ook een consistentere patroon geeft over verschillende jaren. Als voorbeeld laat figuur 22 de vergelijking zien van de som van de WDVl voor verschillende jaren voor perceel Greup (2008 en 2009) en perceel Langshaven (2007 en 2009). De spreiding van het cluster punten voor perceel Greup is hierbij groter (meer variatie tussen jaren) dan voor perceel Langshaven (constanter tussen jaren).



Figuur 22: Vergelijking van de som WDVl tussen 2 verschillende jaren voor perceel Greup (links) en perceel Langshaven (rechts).

Hierbij speelt nog wel mee dat voor bovengrondse gewassen zoals granen, de geaccumuleerde biomassa ook daadwerkelijk een indicator is voor productie terwijl voor ondergrondse gewassen zoals aardappels of suikerbieten, de biomassa ondergronds wordt aangemaakt.

Ruimtelijke resolutie en rand effecten

De remote sensing beelden die in dit onderzoek zijn gebruikt hadden een ruimtelijke resolutie van 10 m of groter. Het is gebleken dat dit vooral resulteerde in rand-effecten aangezien hier verschillende objecten worden gemixt en een methode als clustering is hiervoor gevoelig. Naast de rand effecten dient ook nog rekening te worden gehouden met het effect van resampling. Een groot deel van de satelliet beelden (tabel 4) had een resolutie groter dan 10 m, wat betekent dat deze beelden naar een meer gedetailleerde resolutie zijn geresampled. Het feit dat de gebruikte beelden voor de analyse van de groeipatronen zijn geresampled naar 10m betekent dat hier in de interpretatie rekening mee gehouden moet worden. De gevonden patronen kunnen daardoor afwijken van de patronen die gevonden zullen worden wanneer er daadwerkelijk data met een ruimtelijke resolutie van 10m gebruikt zouden worden (figuur 5 en 6). Hier dient bij beoordeling van deze resultaten maar ook in het algemeen bij de toepassing van remote sensing producten rekening mee te worden gehouden. Gevonden patronen kunnen deels het gevolg zijn van het resampling proces. Hoog-resolutie beelden zoals opgenomen door Worldview-2 (figuur 22) beperken dit probleem grotendeels.

De waarde van historische remote sensing beelden voor patroonherkenning in gewasontwikkeling en -opbrengst

Uit dit onderzoek komt naar voren dat bij de analyse van een tijdserie van historische remote sensing beelden een terugkerend basispatroon dat gerelateerd is aan plaatselijke intrinsieke, d.w.z. onveranderlijke bodemeigenschappen (textuur, storende lagen, grondwaterpeil, hoogte mv, etc.) niet direct eenduidig kan worden afgeleid. Het verwachte basispatroon wordt overschaduwd door effecten die verband houden met:

- verschillende voorvruchten op één perceel;
- verschil in oogsttijd (structuurschade);
- verschillende gewassen op één perceel;
- verschillende rassen op één perceel;
- natte plekken bij calamiteiten.

Wanneer bovenstaande factoren zijn vastgelegd in andere geo-informatie datasets kan hier in de analyse van de patronen rekening mee worden gehouden en kunnen deze effecten als het ware gefilterd worden.

De uitkomsten van de studiebijeenkomst van 15 juli 2011 lieten zien dat een agrariër bij de beoordeling van een serie gewaspatronen voor een specifiek perceel zoals gepresenteerd in de H-WodKa Studie-atlas (Olthof et al., 2011), het ene gewaspatroon als herkenbaar aanduidt, terwijl een gewaspatroon voor hetzelfde perceel later dat jaar niet meer correspondeert met het beeld van variatie wat hij van z'n perceel voor ogen heeft. Dit raakt direct aan een belangrijk aandachtspunt voor deze studie want hoe kan worden vastgesteld welk gewaspatroon 'duidelijk' en de 'juiste' is. Een objectieve beoordeling van de gevonden patronen zou gemaakt kunnen worden wanneer deze vergeleken zouden kunnen worden met onafhankelijke datasets zoals bodemgegevens (Heijting et al., 2011) of opbrengstgegevens. De vergelijking met bodemgegevens valt buiten de afgesproken doelstelling van dit project maar zou in een vervolgonderzoek zeker verder onderzocht moeten worden. De vergelijking van de gevonden gewas patronen met opbrengstgegevens is vanuit de literatuur (Migdall et al., 2009) ook een bekende

manier om gewaspatronen te objectiveren en zal worden behandeld in het volgende hoofdstuk.

Alhoewel de absolute waarde van historische remote sensing beelden nog getoetst moet worden, is een groot voordeel natuurlijk dat op basis van een serie van remote sensing beelden, de plaats specifieke variatie van alle percelen in de Hoeksche Waard kan worden bepaald. Het valt hierbij te verwachten dat een toenemend aantal akkerbouwers in de nabije toekomst de monitoring van hun gewassen zullen baseren in toenemende mate op (gestandaardiseerde) remote sensing producten en close sensing technieken. Hierbij zullen een aantal beperkingen van dit onderzoek worden opgeheven omdat de frequentie van beschikbaarheid van sensing data zal toenemen (figuur 13) en ook lijkt het meten van plaats-specifieke opbrengst ook steeds meer gemeengoed te worden.

Hoe verder?

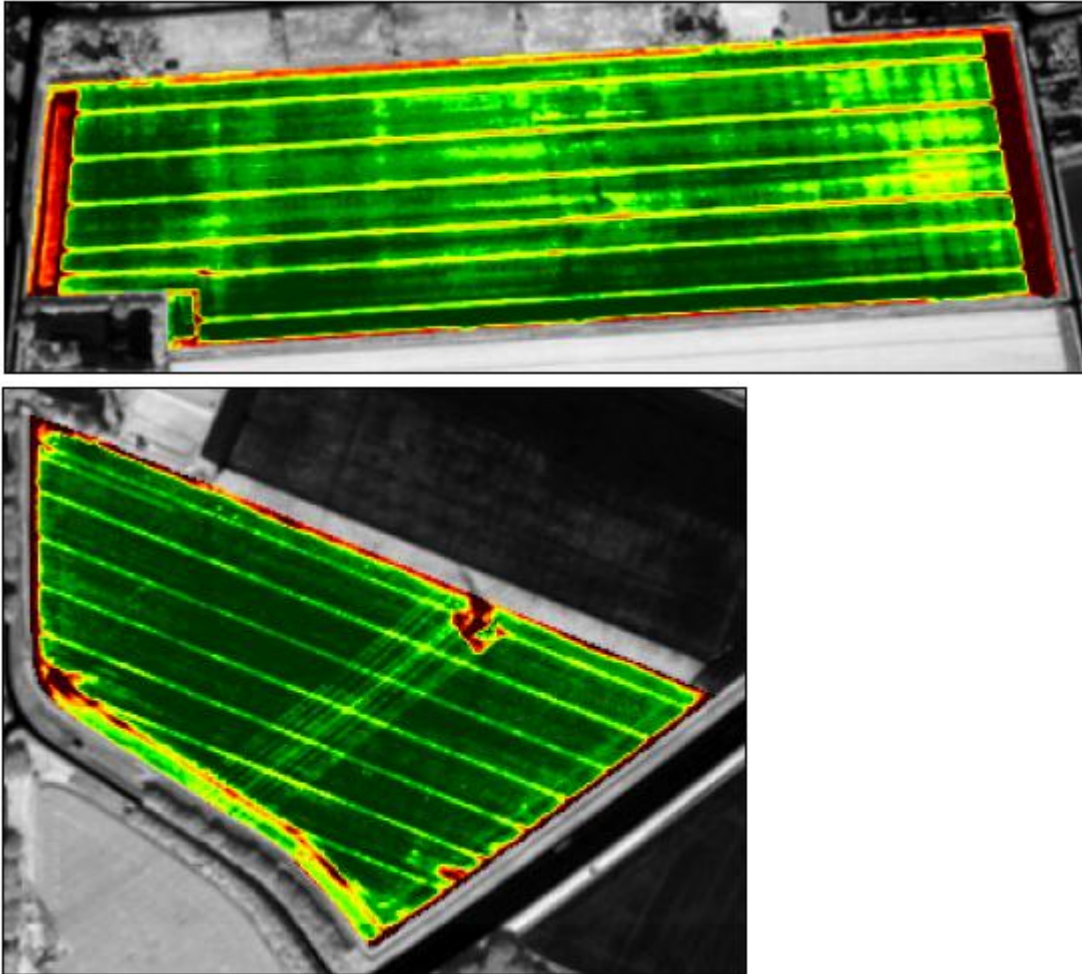
De uitkomsten van dit onderzoek laten zien dat de toepassing van historische remote sensing beelden voor de identificatie van bodemverschillen als input voor plaats specifiek perceel management een aantal beperkingen kent. In de voorafgaande hoofdstukken zijn al een aantal verbeteringen aangegeven op basis waarvan multi-temporele remote sensing beelden kunnen worden gebruikt om gewas patronen in beeld te brengen. In dit hoofdstuk zullen een aantal oplossingsrichtingen verder worden gepresenteerd die binnen dit project nog zijn uitgewerkt.

Nieuwe mogelijkheden: hoog resolutie beelden

Een belangrijke beperking van de historische satelliet beelden is de beperkte ruimtelijke resolutie (> 10 m) van de beschikbare remote sensing beelden. Dit geeft afwijkingen aan de randen van de percelen maar ook de resampling van beelden naar een meer gedetailleerde resolutie kunnen afwijkingen in de gewas patronen tot gevolg hebben. Om de meerwaarde van hoog-resolutie beelden te onderzoeken is voor het seizoen 2011 een opdracht gegeven om een Worldview-2 beeld op te nemen. De Worldview-2 sensor heeft in multispectrale mode een ruimtelijke resolutie van 2 m en heeft daarbij ook nog een panchromatische band met een resolutie van 0.5 m. Daarbij kan deze sensor in totaal 8 banden opnemen waarbij 2 banden in het red-edge deel van het vegetatie spectrum een belangrijke meerwaarde ten opzichte van sensoren als SPOT en Aster. Op 2 augustus 2011 waren de atmosferische condities goed genoeg voor een opname boven de Hoeksche Waard. In bijlage 3 wordt het totaal opgenomen beeld gepresenteerd (16*16 km) terwijl figuur 1 (blz.7). een deel van het beeld rond het perceel Greup laat zien. Afgezien van een band van laaghangende bewolking en de daarmee samenhangende wolkschaduw heeft het beeld een goede kwaliteit.

Het eerste opvallende is natuurlijk het grote detail niveau van het Worldview-2 beeld wat vooral zichtbaar is in de duidelijk herkenbare rijpaden binnen de percelen. Deze zijn bijvoorbeeld niet duidelijk herkenbaar in het SPOT 5 beeld van hetzelfde gebied zoals gepresenteerd in figuur 20. Daarnaast zijn de gewaspatronen veel kleinschaliger en vergelijkbaar met de patronen zoals die vanuit een helikopter worden gefotografeerd (Figuur 10). Figuur 23 geeft een voorbeeld van twee WdVI kaarten afgeleid uit het Worldview-2 beeld voor de percelen Greup (aardappelen) en Erve (spruitkool). In bijlage 4 worden de WdVI kaarten voor de andere percelen gegeven behalve voor Oranjeweg en Langeveld omdat hier het gewas al was geoogst en voor Langshaven en Weischool omdat deze onder bewolking of een wolkschaduw lagen.

Figuur 23 laat duidelijk de gedetailleerde variatie van het aardappel gewas binnen het Greup perceel zien. Met aan de west kant de invloed van de bodem met hoge organische stof resulterend in een hoge WdVI van het aardappel gewas omdat er nog veel biomassa staat. Aan de oostkant van het perceel is de biomassa al relatief laag. De invloed van overlap voor de pixels aan de rand van het perceel is klein. Terwijl de lage biomassa op de rijsporen duidelijk zichtbaar is in de vorm van lage WdVI waarden (rood en gele kleur). De aardappels op perceel Greup zijn begin augustus alweer over hun hoogste groei heen en daardoor nemen de verschillen binnen het perceel weer toe. Het interessante aan het perceel Erve is dat dit juist een vrije homogeen patroon laat zien voor de met een gewas bebouwde delen. Dit heeft vooral te maken met het feit dat op dit perceel spruitkool wordt verbouwd wat begin augustus nog volop in de groei zit met een relatief hoge biomassa waardoor verschillen binnen een perceel bij goed management en een relatief homogene bodem klein zijn.



Figuur 23: WDVI kaarten voor de percelen Greup (boven) en Erve (onder) afgeleid uit het Worldview-2 beeld van Hoeksche Waard opgenomen 2 augustus 2011.

Dit betekent dat de timing van de remote sensing opname in relatie tot het gewas erg belangrijk is wanneer men de beschikking heeft over een beperkte set van remote sensing beelden. Wat verder nog opvalt aan de WDVI kaart van perceel Erve is de aanwezigheid van schuine strepen door het perceel. In dit geval gaat het om hoogspanningskabels die een dubbel effect hebben op de opname van het remote sensing beeld. Allereerst wordt de reflectie van de kabels gemeten waardoor je een afwijkende waarde krijgt. Maar daarnaast zorgt de schaduw werking van de kabels tot een verlaagde bovengrondse productie voor het gewas onder de kabels. Dat is in dit geval te zien aan de gele kleur die een lagere WDVI waarde voorstelt en dus een lagere biomassa.

Samenvattend kan worden gesteld dat hoog resolutie remote sensing data interessant zouden kunnen zijn in de toepassing van plaats specifiek perceel management. Dit geeft de mogelijkheid om binnen een perceel, bronnen van variatie die niet geleidelijk verlopen, zoals structuurbederf door rijsporen, drainagebuizen, plek waar per ongeluk teveel drijfmest gedeponeed is etc. te identificeren. Door de relatief hoge kosten dienen er voor de opnames gewasafhankelijke periodes te worden vastgesteld die overeenkomen met de momenten waarin de meeste aan de bodem gerelateerde verschillen in gewas reflectie naar voren komen.

Mogelijkheid voor standaard: vergelijking van remote sensing met opbrengst data

Voor een objectivering van de gewaspatronen bepaald op basis van de remote sensing beelden zou een vergelijking met bodem of opbrengst data moeten worden gemaakt. In de wetenschappelijke literatuur zijn al eerder studies gedaan naar de relaties tussen remote sensing patronen en gewasopbrengst gemeten in het veld (figuur 24: Migdall et al., 2009). Dit zou betekenen dat wanneer er een significante relatie is, omgekeerd een goed getimed remote sensing beeld zou kunnen worden gebruikt om de variatie in oogst in beeld te brengen. Deze remote sensing gebaseerde oogstvariatie zou dan ook een voorspeller kunnen zijn voor de variatie in onderliggende bodemeigenschappen. Dit concept is vooral van toepassing voor graan aangezien dit een bovengronds gewas is. Een relatie tussen graanopbrengst en remote sensing beeld zou bepaald moeten worden een moment vlak voor de oogst datum.

Voor de 10 percelen die binnen dit onderzoek zijn onderzocht zijn oogstgegevens nog beperkt beschikbaar. Vooral ook omdat de plaats-specifieke bepaling van opbrengst nog geen standaard meting is. Voor het perceel Langshaven zijn gegevens over de tarweopbrengst in 2011 beschikbaar terwijl voor het perceel Kavel1 opbrengst data voor een aantal jaar beschikbaar waren maar alleen voor 2009 wintertarwe. Voor 2011 was het Worldview-2 beeld te laat opgenomen zodat geen vergelijking kon worden gemaakt voor het perceel Langshaven. Figuur 25 laat nog wel de vergelijking zien van de som van WDVI in 2009 (op basis van wintertarwe) en de variatie in gewasopbrengst in 2011 (ook wintertarwe). Een aantal patronen lijken overeen te komen maar er zijn ook duidelijke verschillen bijvoorbeeld de plek met de lage opbrengst (nulbemesting) wat meer een effect voor 2011 lijkt te zijn.

De opbrengst data voor het perceel Kavel1 kon worden vergeleken met een beeld van 24 juni 2009. Maar het perceel was relatief klein en ook het beeld te vroeg om een goede vergelijking te kunnen maken. De resulterende regressie tussen opbrengst (zowel droge als natte) en WDVI is daardoor niet significant. Alhoewel in de literatuur een aantal interessante relaties zijn gevonden tussen remote sensing gewaspatronen en opbrengst dient dit nog verder te worden uitgezocht voor de situatie in de Hoeksche Waard.

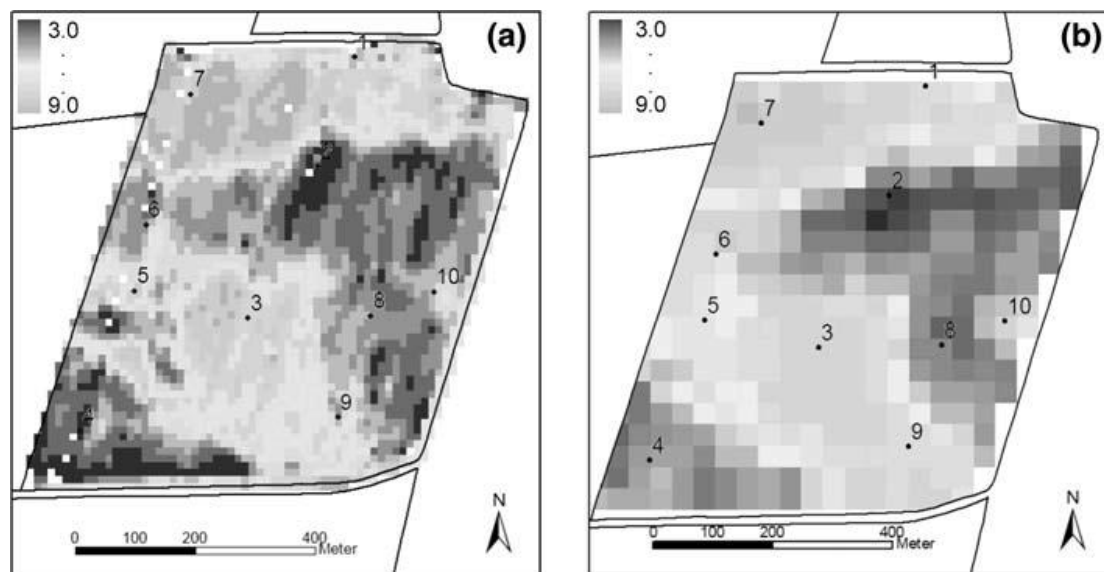
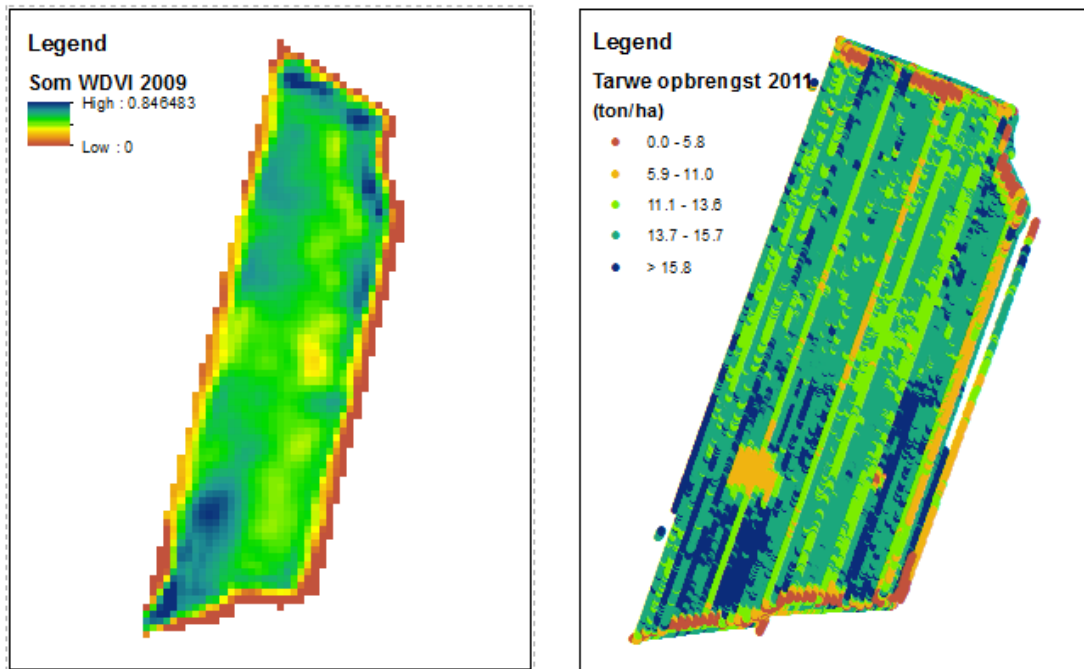


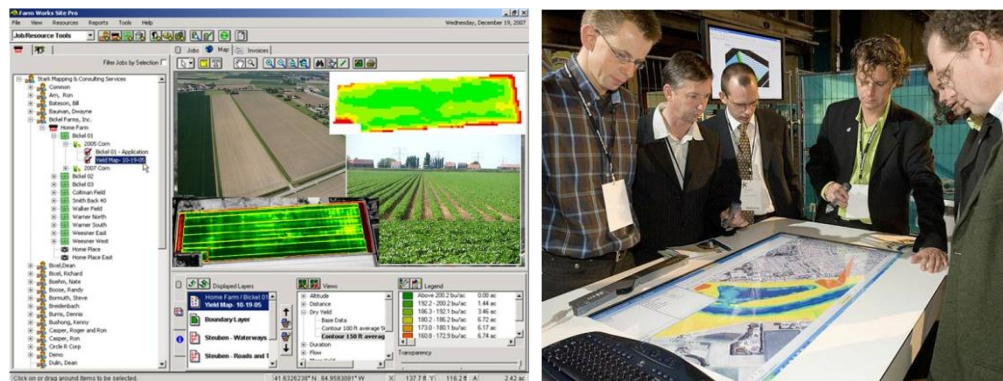
Figure 24: Opbrengst kaarten voor graan (a) gemeten met combine op 1 augustus 2005 en (b) berekend op basis van CHRIS remote sensing beeld (18 m en 10 banden) opgenomen op 19 juni 2005 en gewasgroeimodel PROMET-V (bron: Migdall et al., 2009).



Figuur 25: Vergelijking ruimtelijke variatie van som van WDWI voor wintertarwe in 2009 (links) en natte tarwe opbrengst voor wintertarwe in 2011 (rechts) voor perceel Langshaven.

Beeld interpretatie hoe doe je dat?

Akkerbouwers krijgen in toenemende mate de mogelijkheid om de staat van hun gewas tijdens het groeiseizoen te monitoren. Gestandaardiseerde producten zijn commercieel beschikbaar zowel op basis van remote sensing (Mijnakker) als ook voor close sensing (Sensispray). Belangrijk punt voor de akkerbouw is hierbij in hoeverre deze producten voor operationele beslissingen kan worden ingezet tijdens het groeiseizoen (b.v. wanneer en waar beginnen met beregening, op welke plekken bijmesten). Maar ook na het groeiseizoen in voorbereiding op de management activiteiten voor het volgende seizoen kunnen door combinatie en analyse van verschillende geo-data lagen keuzes worden gemaakt over de inrichting van een perceel in management zones. Hiervoor is het nodig dat in de bestaande agrarische bedrijfsmanagement software nieuwe functionaliteit wordt gecreëerd waarin verschillende kaarten met elkaar kunnen worden gecombineerd (figuur 26).



Figuur 26: Voorbeelden van links een GIS applicatie waarin een agrariër kaarten met gewaspatronen van verschillende tijdstippen en andere informatiebronnen met elkaar kan combineren en rechts een voorbeeld van een Maptable benadering waarbij

agrariërs op een interactieve manier over een breed scala van informatiebronnen voor een specifiek perceel kunnen discussiëren.

Daarnaast zou je hierbij ook kunnen denken aan nieuwe manieren van interactieve visualisatie van , zoals de toepassing van Maptables waarbij verschillende experts en agrariërs met elkaar kunnen discussieren over de status van een perceel en op een interactieve manier verschillende informatiebronnen met elkaar kunnen combineren (figuur 26).

Referenties

Bouman, B.A.M., Uenk, D., Haverkort, A.J., 1992. The estimation of ground cover of potato by reflectance measurements. *Potato Research* 35: 111-125.

Dang, Y.P., Pringle, M.J., Schmidt, M., Dalal, R.C., Apan, A., 2011. Identifying the spatial variability of soil constraints using multi-year remote sensing. *Field Crops Research* 123 (2011) 248–258.

Furby, S., Caccetta, P., Wallace, J., 2010. Salinity monitoring in Western Australia using remotely sensed and other spatial data. *J. Environ. Qual.* 39, 16–25.

Hatfield, J.L., and Prueger, J.H. (2010). Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. *Remote Sensing*, 2, 562-578

Heijting, S., de Bruin, S., Bregt, A.K., 2011. The arable farmer as the assessor of within-field soil variation. *Precision Agriculture* 12:488–507

Hamersveld, L., van der Gun, J., Olthof, W., Drost, A., Beza, E., Mupfiga, E., 2011. Discovering spatial variability within agricultural fields using multi-temporal remote sensing data. Consultancy Report Students Master Geo-Information Science (RGIC-03-11), Wageningen University.

HWodKa, 2009. HWodKa precisielandbouw van de kaart. Visie document Stichting de Hoeksche Waard op de Kaart (http://www.ib-lerink.nl/090923_precisielandbouw%20volgens%20hwodka.pdf).

Kikkert, A.. 2009. Sensingsystemen voor bodem en gewas ten behoeve van precisielandbouw: overzicht van beschikbare producten. HLB rapport 655, februari 2009, Wijster, Nederland.

Kooistra, L., 2011. Verificatie remote versus near sensing voor toepassingen in precisie landbouw. Programma Precisie Landbouw: rapport Leerstoelgroep Geo-Informatie en Remote Sensing, Wageningen Universiteit.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W., 2008. Remote sensing and image interpretation. 6th Edition, Wiley, USA.

Lobell, D.B., Lesch, S.M., Corwin, D.L., Ulmer, M.G., Anderson, K.A., Potts, D.J., Doolittle, J.A., Matos, M.R., Baltes, M.J., 2010. Regional-scale assessment of soil salinity in the Red River Valley using multi-year MODIS EVI and NDVI. *J. Environ. Qual.* 39, 35–41.

Lobell, D.B., Monasterio, J.I., Gurrola, F.C., Valenzuela, L., 2007. Identification of saline soils with multiyear remote sensing of crop yields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 777–783.

Migdall, S., Bach, H., Bobert, J., Wehrhan, M., Mauser, W., 2009. Inversion of a canopy reflectance model using hyperspectral imagery for monitoring wheat growth and estimating yield. *Precision Agriculture* 10: 508-524.

Olthof, W, van der Gun, J., Kooistra, L., 2011. Gewaspatronen H-WodKa: Studie Atlas. Deelrapport project PSPM op de kaart. Programma Precisie Landbouw:

rapport Leerstoelgroep Geo-Informatie en Remote Sensing, Wageningen
Universiteit.

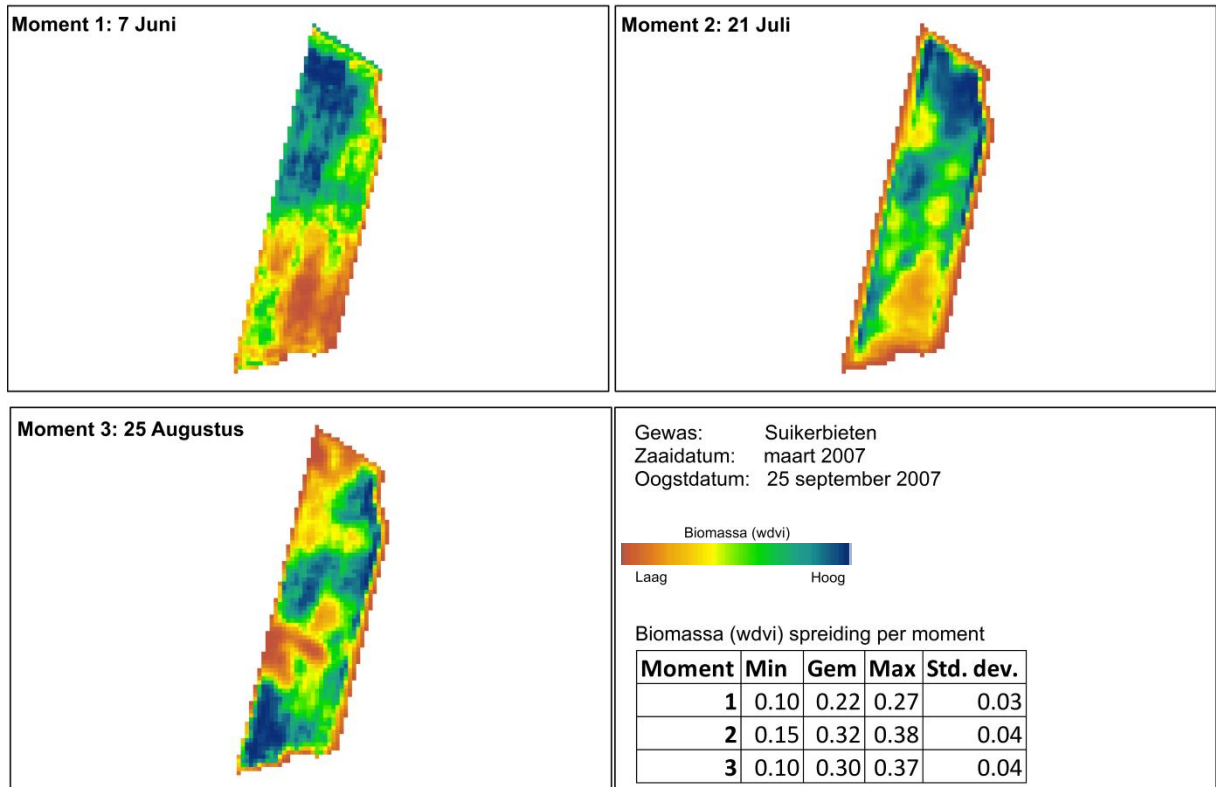
Seiffert, U.; Bollenbeck, F.; Mock, H.-P.; Matros, A., 2011. Clustering of crop phenotypes by means of hyperspectral signatures using artificial neural networks. Proceedings of 2nd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), 14-16 June Reykjavík, Iceland.

Thessler S., Kooistra L., Teye F., Huitu H., Bregt A.K., 2011. Geosensors to Support Crop Production: Current Applications and User Requirements. *Sensors* 11:6656-6684.

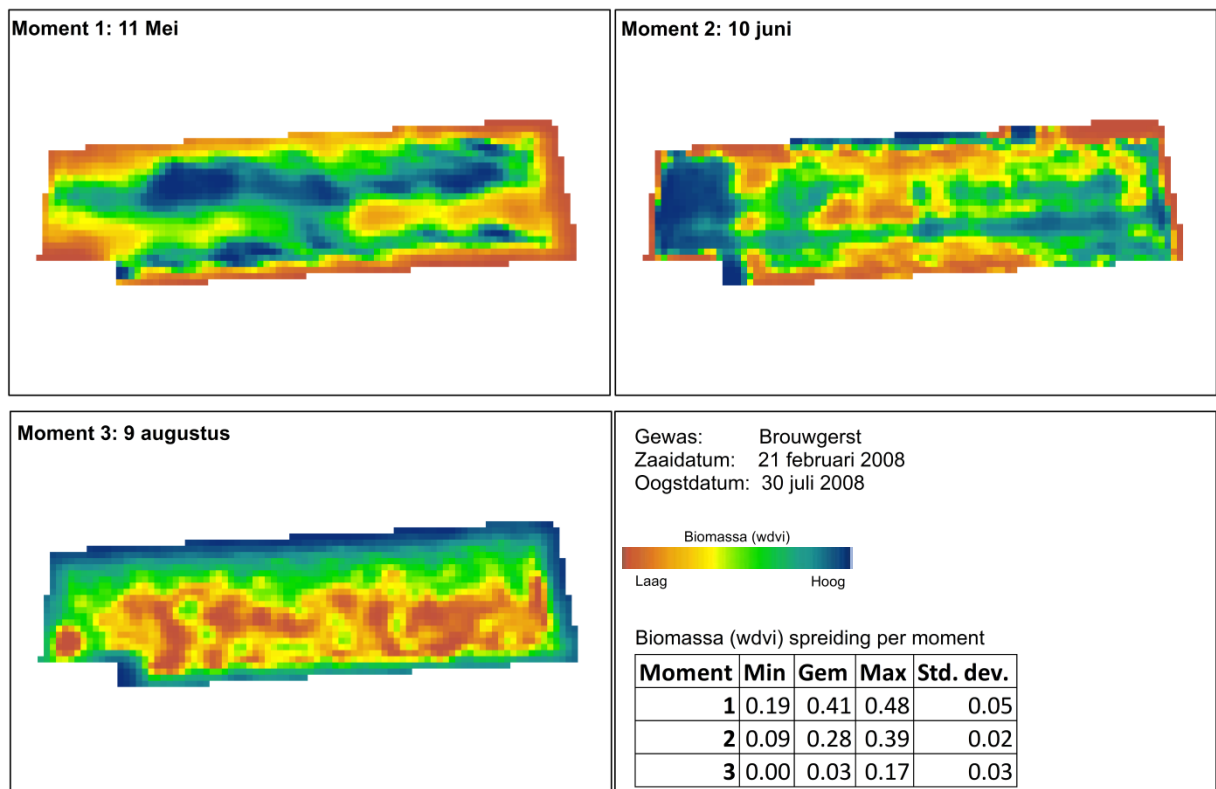
Zhang, L., Clarke, M.L., Steven, M.D., Jaggard, K.W., 2011. Spatial patterns of wilting in sugar beet as an indicator for precision irrigation. *Precision Agriculture* 12:296–316.

Bijlage 1: Gewas patronen op basis van Wdvi classificatie en histogram schaling.

Perceel Langshaven - 2007

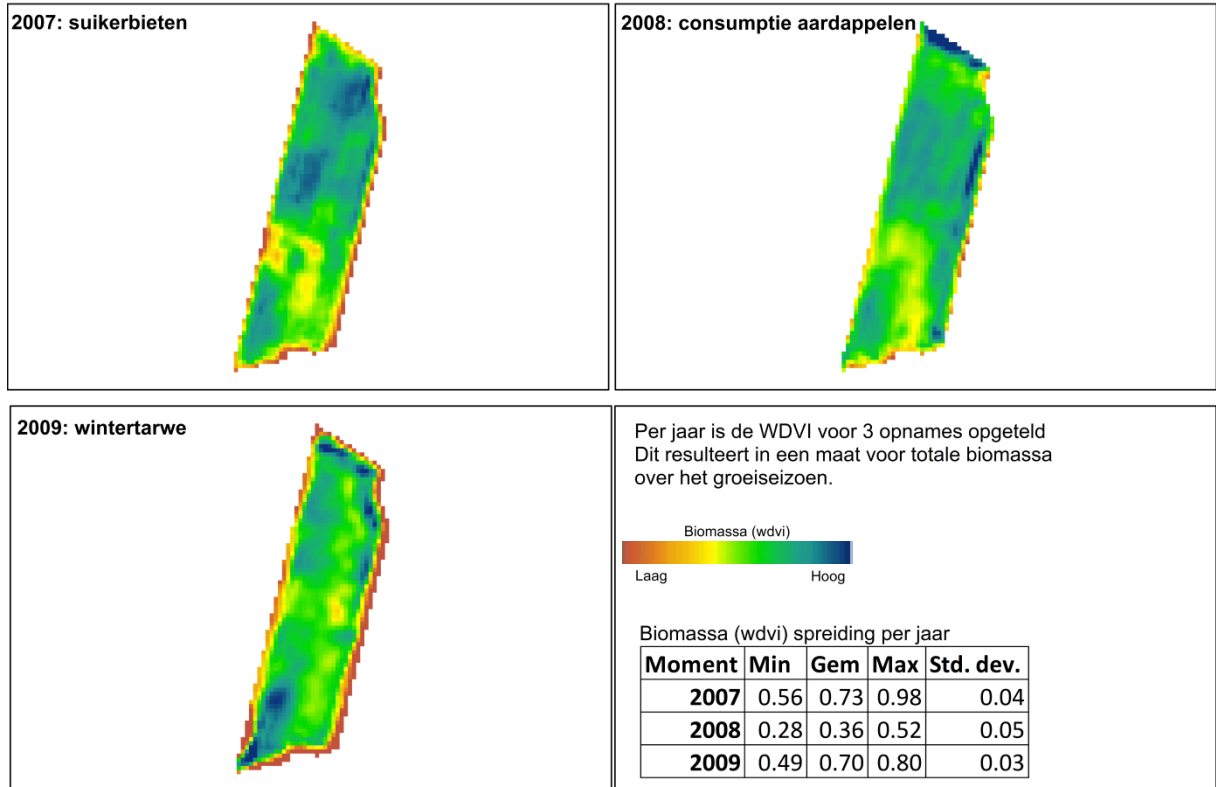


Perceel Greup - 2008

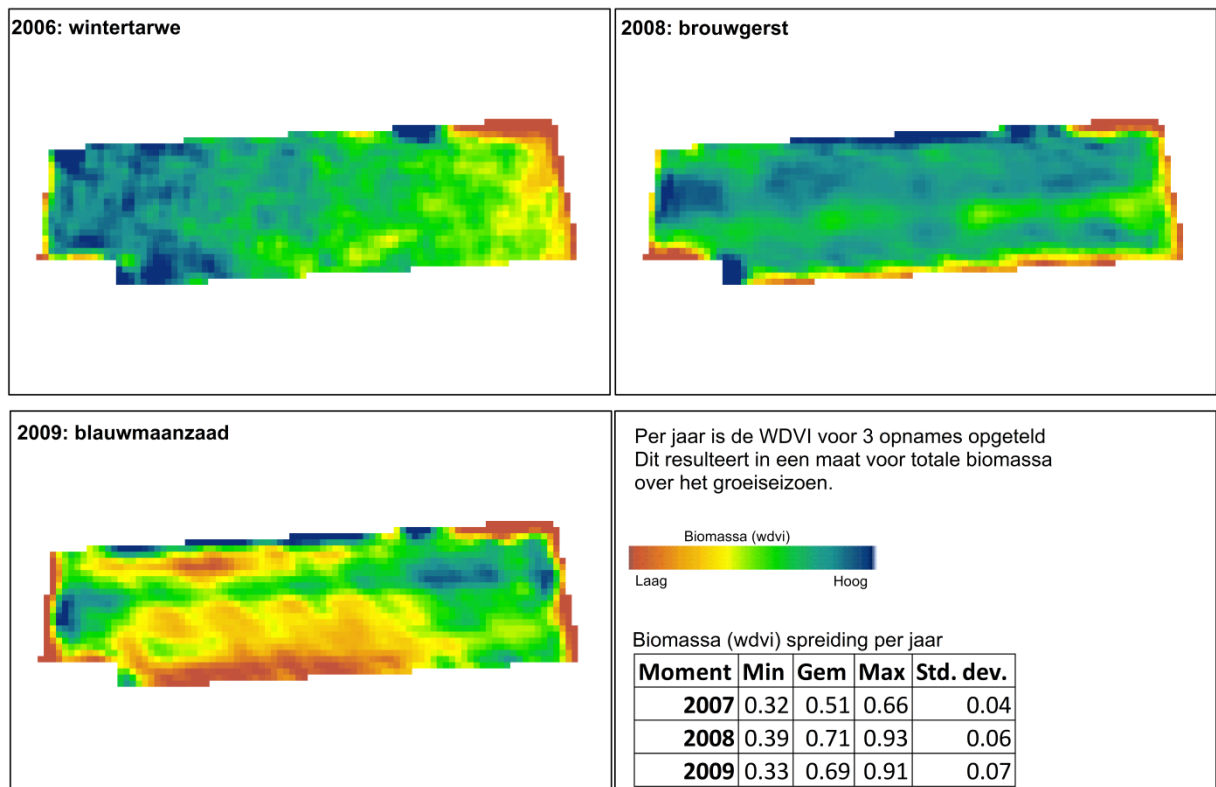


Bijlage 2: Gewaspatronen voor som van WdVI van 3 remote sensing beelden over het groeiseizoen.

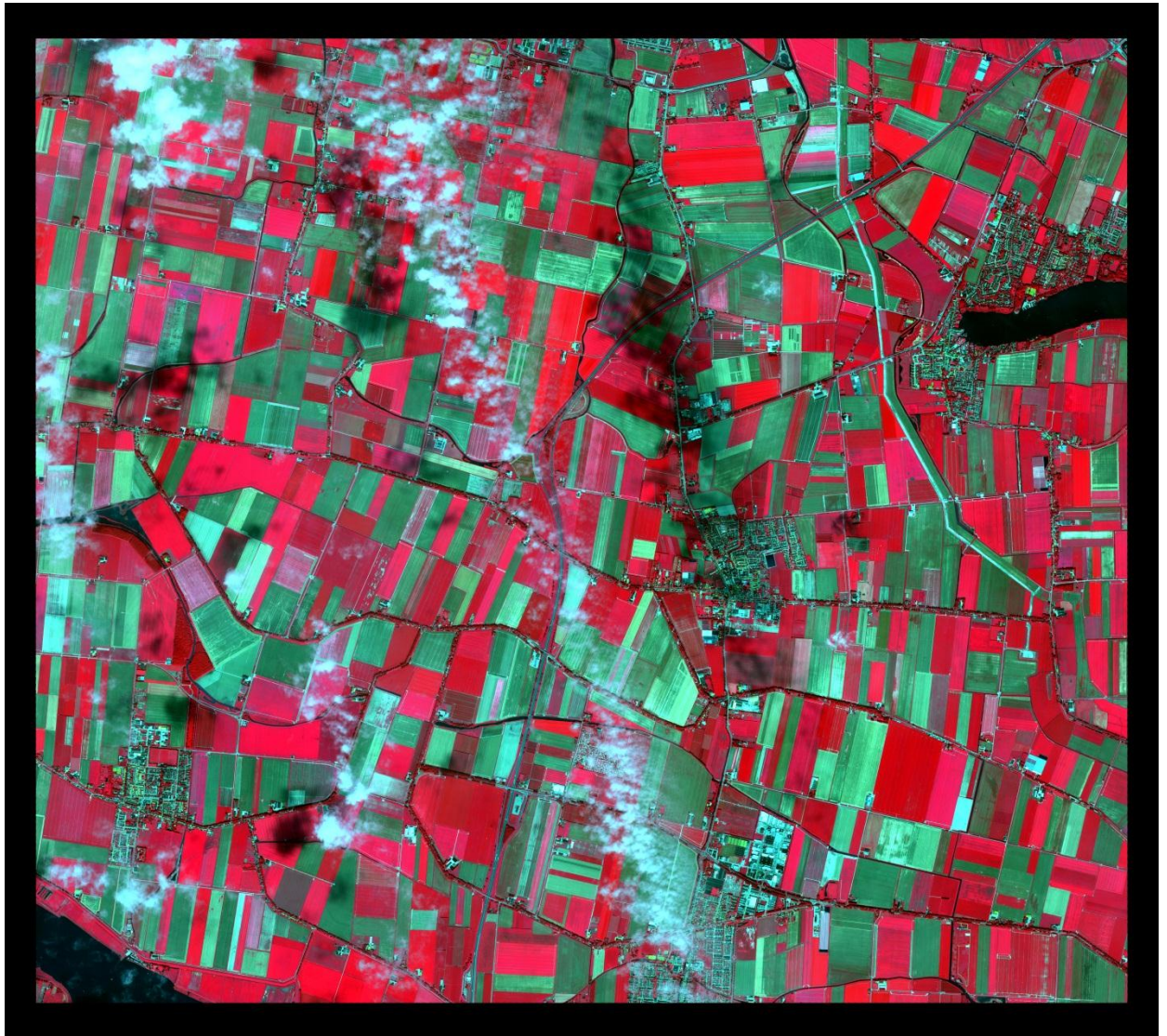
Perceel Langshaven - som WdVI over groeiseizoen



Perceel Greup - som WdVI over groeiseizoen

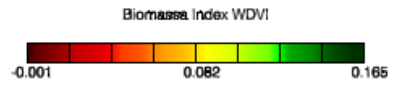
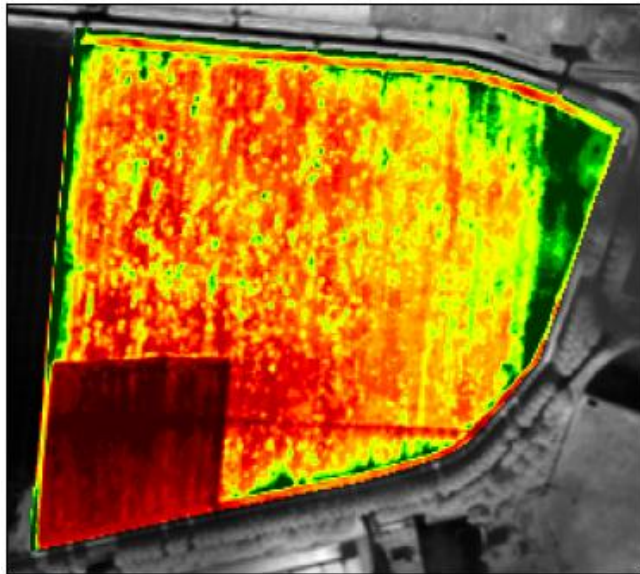


Bijlage 3: Worldview-2 beeld Hoeksche Waard opgenomen op 2 augustus 2011.



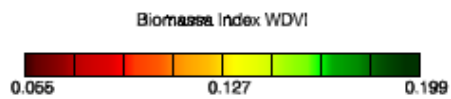
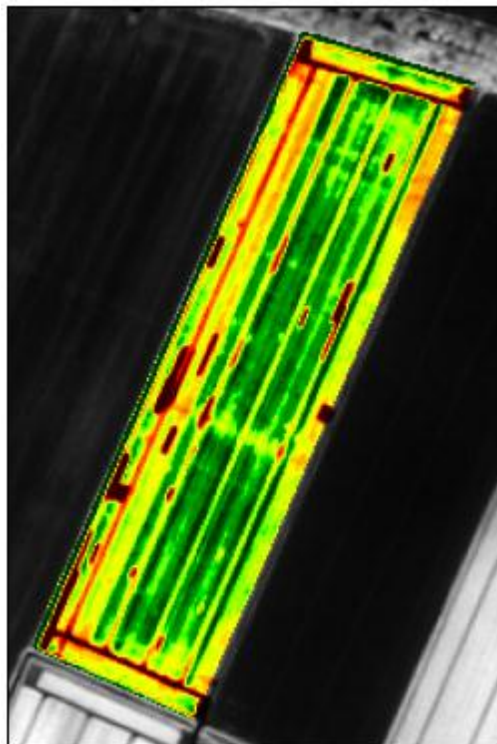
Bijlage 4: WdVI beelden voor 6 percelen op basis van Worldview-2 beeld van 2 augustus 2011.

Perceel Manage



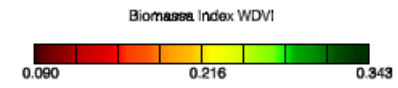
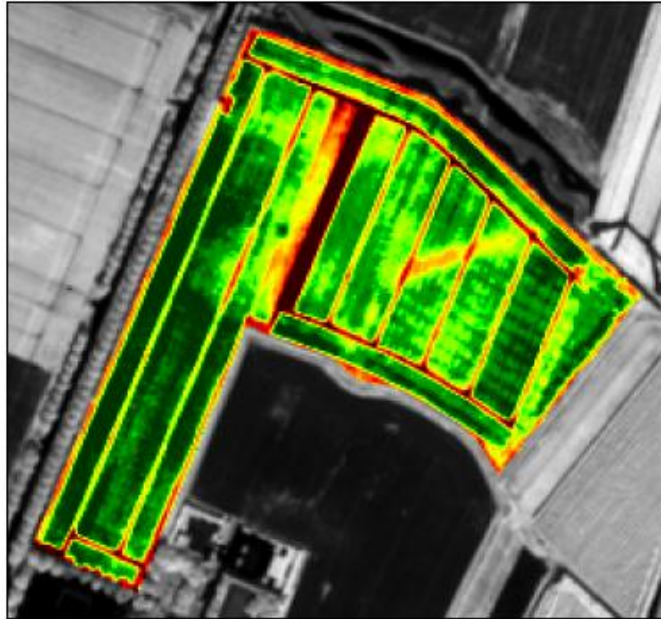
Histogram	% Oppervlakte
-0.001 - 0.020	12.4%
0.020 - 0.041	7.1%
0.041 - 0.061	21.7%
0.061 - 0.082	26.2%
0.082 - 0.103	15.9%
0.103 - 0.124	7.2%
0.124 - 0.144	3.9%
0.144 - 0.294	5.7%

Perceel Kavel1



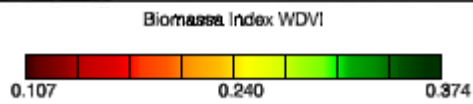
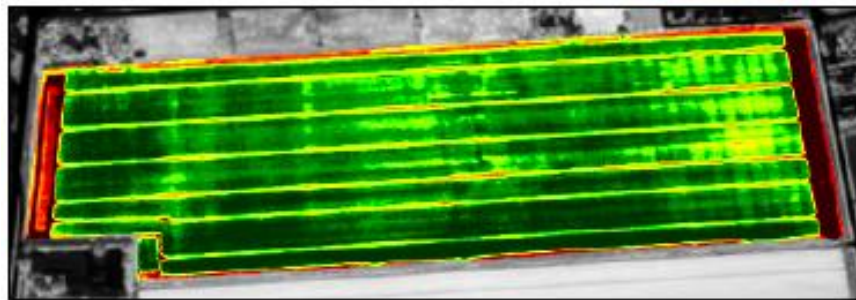
Histogram	% Oppervlakte
0.003 - 0.073	4.2%
0.073 - 0.091	1.7%
0.091 - 0.109	3.6%
0.109 - 0.127	9.5%
0.127 - 0.145	20.1%
0.145 - 0.163	19.9%
0.163 - 0.181	27.8%
0.181 - 0.282	13.2%

Perceel Dekker-Kampen



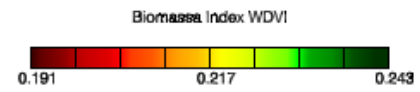
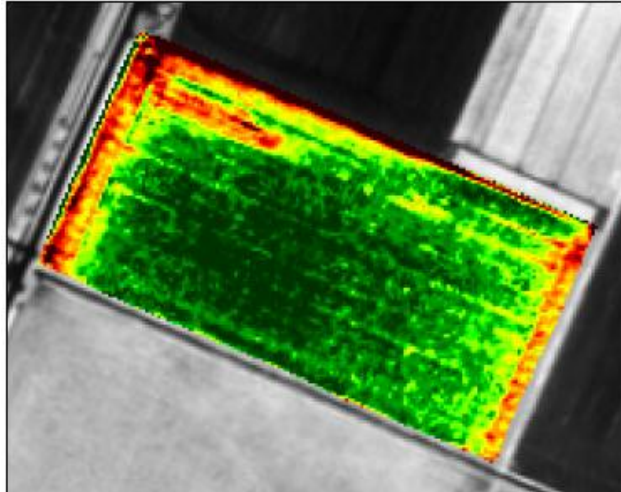
Histogram	% Oppervlakte
0.015 - 0.121	4.2%
0.121 - 0.153	2.0%
0.153 - 0.185	4.3%
0.185 - 0.216	6.2%
0.216 - 0.248	6.5%
0.248 - 0.279	17.5%
0.279 - 0.311	30.4%
0.311 - 0.370	24.9%

Perceel Greup



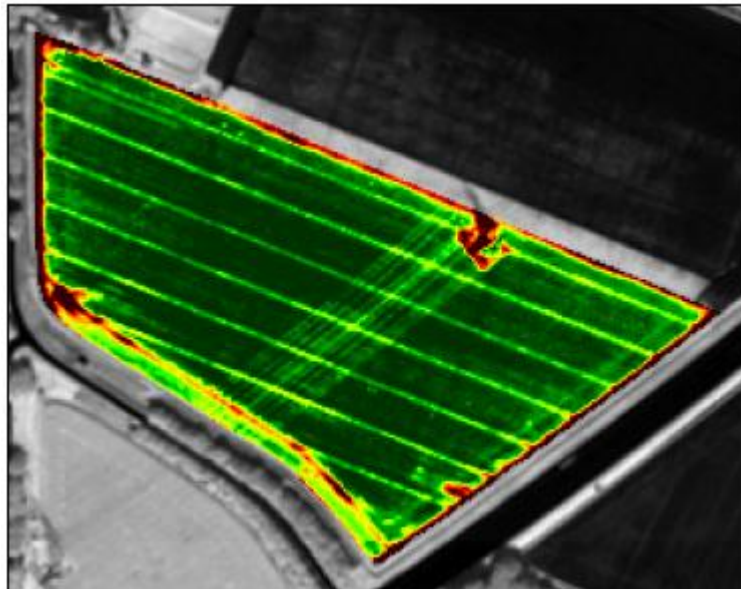
Histogram	% Oppervlakte
0.019 - 0.140	3.8%
0.140 - 0.173	1.4%
0.173 - 0.207	2.4%
0.207 - 0.240	2.9%
0.240 - 0.274	6.7%
0.274 - 0.307	12.8%
0.307 - 0.340	36.7%
0.340 - 0.400	33.3%

Perceel Noordvliet

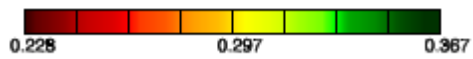


Histogram	% Oppervlakte
0.039 - 0.197	3.7%
0.197 - 0.204	1.8%
0.204 - 0.210	3.8%
0.210 - 0.217	6.2%
0.217 - 0.223	6.4%
0.223 - 0.230	12.1%
0.230 - 0.236	31.4%
0.236 - 0.293	34.5%

Perceel Erve



Biomassa Index WDI



Histogram	% Oppervlakte
0.073 - 0.245	3.8%
0.245 - 0.263	1.2%
0.263 - 0.280	1.5%
0.280 - 0.297	1.8%
0.297 - 0.315	2.7%
0.315 - 0.332	7.6%
0.332 - 0.349	20.7%
0.349 - 0.376	60.5%