

## Wateroverlast in kaart gebracht met satellieten

*Anne de Nijs, Richard de Jeu (VanderSat), Arnoud Soetens (waterschap Limburg), Arjan Peters (waterschap Aa en Maas)*

**Aardobservatiebedrijf VanderSat heeft in samenwerking met de waterschappen Limburg en Aa en Maas onderzocht of satellietobservaties geschikt zijn om ondergelopen velden in kaart te brengen. Op basis van radarbeelden van ESA's satelliet Sentinel-1A heeft VanderSat een inundatieproduct ontwikkeld. Dit product is vergeleken met helikopterfoto's van de wateroverlast in mei en juni 2016. Uit de vergelijking is gebleken dat velden van meer dan 10 x 10 meter die duidelijk onder water staan en weinig bedekkende vegetatie hebben, goed te detecteren zijn. Het inundatieproduct kan voor waterschappen van grote waarde zijn, omdat het gebied snel en relatief goedkoop consistent gemonitord kan worden.**

De laatste tijd heeft Nederland regelmatig te maken met extreme neerslag. In juni 2016 was er bijvoorbeeld veel overlast in zuid- en midden-Nederland door verschillende hoosbuien. Beken traden buiten hun oevers en landbouwpercelen liepen onder water. Dit soort wateroverlast is een enorme kostenpost. Zo zorgden de buien van juni 2016 voor een schade van honderden miljoenen euro's [1].

Een van de kerntaken van waterschappen is bescherming tegen wateroverlast. Het is daarvoor noodzakelijk om het gebied goed te monitoren en op de hoogte te zijn van de situatie, om tijdig en adequaat te kunnen ingrijpen. Momenteel wordt bij extreme neerslagoverlast naast inspectie door gebiedsbeheerders ook ad hoc gebruik gemaakt van drones of helikoptervluchten, die dan speciaal ingezet worden om het gebied in beeld te krijgen. Vervolgens worden de inundatievelden aan de hand van de gemaakte foto's ruimtelijk digitaal ingetekend. Het voordeel van deze foto's is dat ze een onbetwist beeld geven van de situatie. Echter, helikoptervluchten zijn kostbaar en handelingen als inspecties en het intekenen van de foto's tijdrovend. Bovendien blijft het handwerk en kunnen velden verkeerd ingetekend worden. Daarnaast zijn inundatiebepalingen met drones over het algemeen zeer bewerkelijk en laat de weersituatie het vliegen niet altijd toe.

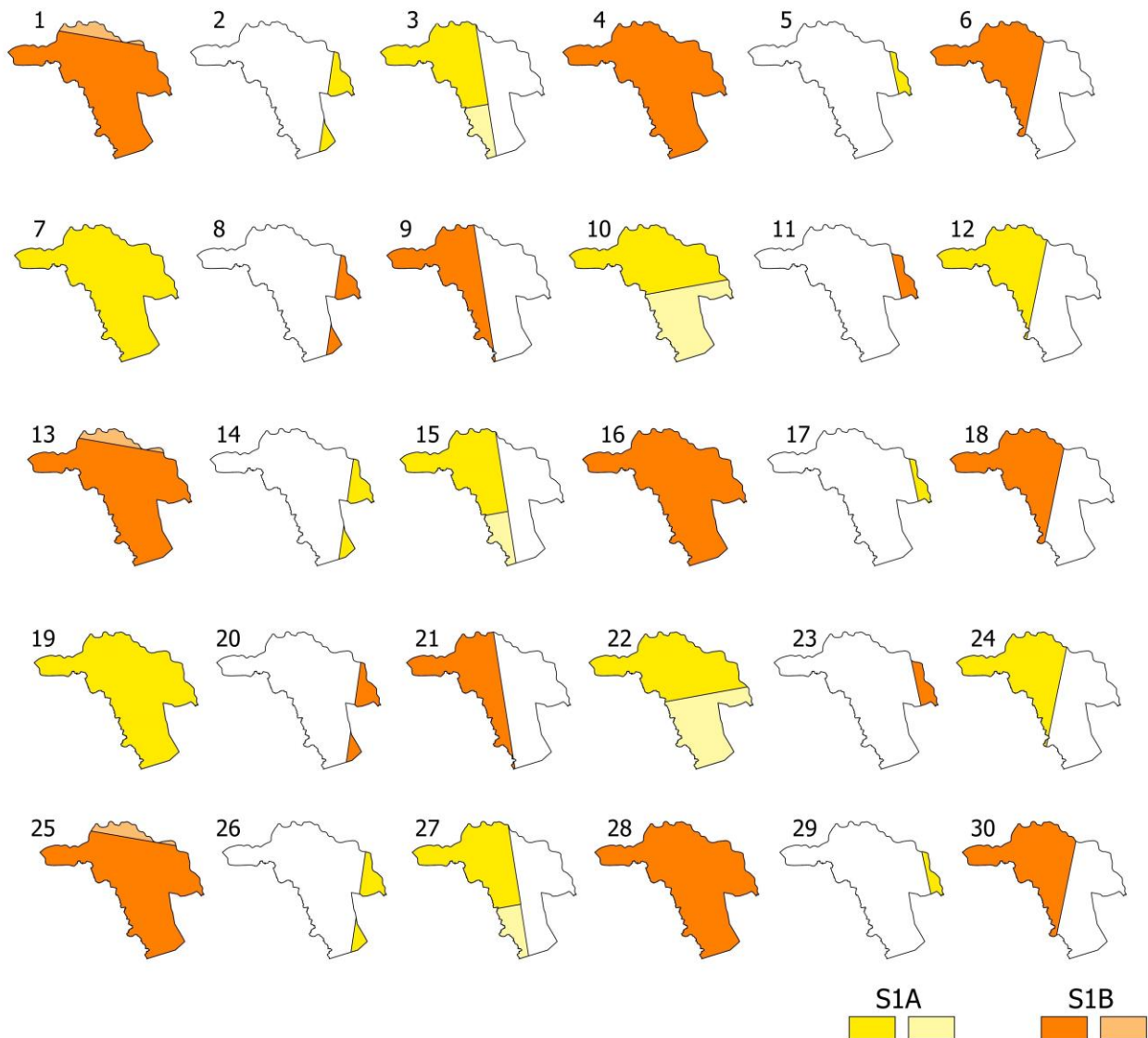
Naar aanleiding van de overlast in de zomer van 2016 heeft aardobservatiebedrijf VanderSat daarom voor een aantal waterschappen onderzocht of satellietobservaties een alternatieve oplossing zouden kunnen zijn om inundatie in kaart te brengen. Het grote voordeel van satellietobservaties, en dan met name radarsystemen, is dat ze ook onder bewolkte omstandigheden werken en dat ze binnen een paar uur nadat de satelliet is overgevlogen al een goed beeld kunnen geven van de situatie. Dit artikel beschrijft in het kort de methode van het door VanderSat ontwikkelde inundatieproduct en wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van het gebruik van radar-satellietsystemen bij het monitoren van wateroverlast.

## Data

De gebruikte radarbeelden zijn afkomstig van de in 2014 gelanceerde Sentinel-1A. Deze satelliet is onderdeel van het Copernicusprogramma van ruimtevaartorganisatie ESA, waarin meerdere soorten satellieten gelanceerd worden voor het operationeel monitoren van onder andere klimaatverandering, land en water. Twee jaar na de lancering van Sentinel-1A is een identieke sensor gelanceerd, Sentinel-1B. Hierdoor is het aantal observaties toegenomen. Om een idee te krijgen hoe vaak per maand een inundatiebeeld gegenereerd kan worden, laat afbeelding 1 zien wanneer Sentinel-1A en -B over het beheersgebied van Aa en Maas vloog in april 2017. Dit gebied had elke drie dagen een Sentinel-1A of -B radarbeeld met een 100% dekking en in de twee tussenliggende dagen bij elkaar meer dan 50%. De dekking over de rest van Nederland is soortgelijk, maar niet altijd exact hetzelfde. Zo had Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden in april 2017 gedurende 20 dagen een 100% dekking.

Wat betreft de ruimtelijke resolutie worden de observaties van de Sentinel-1 sensoren geleverd in een grid van 10 x 10 meter. In werkelijkheid is de ruimtelijke resolutie rond 20 x 20 meter, maar de data is *geresampeld* op 10 meter [2]. Voor na 2020 ook de lanceringen van Sentinel-1C en -1D op het programma, waardoor voorlopig de toekomst van dit soort sensoren gewaarborgd is.

In deze studie wordt alleen het inundatieproduct op basis van Sentinel-1A gebruikt, omdat de focus ligt op de overlast in de zomer van 2016. Sentinel-1B leverde op dat moment nog geen beelden.

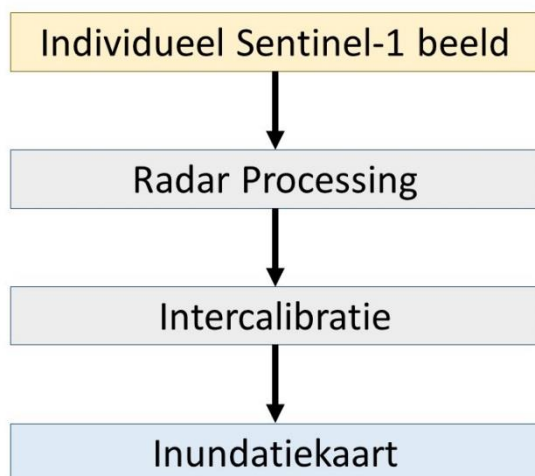


Afbeelding 1. Dekking van Sentinel-1A- en -1B-observaties voor april 2017 in het beheersgebied van waterschap Aa en Maas. Een kleurverschil in licht en donker geeft aan dat de dekking voor die dag uit twee beelden bestaat

### Methode

Radarsensoren als Sentinel-1 zenden microgolven uit en meten de hoeveelheid energie die terugkomt. Dit wordt uitgedrukt in een zogeheten backscatter-coëfficiënt. Deze informatie kan worden gebruikt om eigenschappen van het aardoppervlak af te leiden. Water heeft bijvoorbeeld een totaal andere reflectie dan land, waardoor waterlichamen zeer goed te onderscheiden zijn. Om erachter te komen of de kwaliteit van het inundatieproduct op basis van Sentinel-1-beelden hoog genoeg is om te gebruiken voor inundatiedetectie, is het inundatieproduct vergeleken met helikopterfoto's van de wateroverlast in mei en juni 2016. Deze foto's zijn gedeeld door de waterschappen Aa en Maas en Limburg.

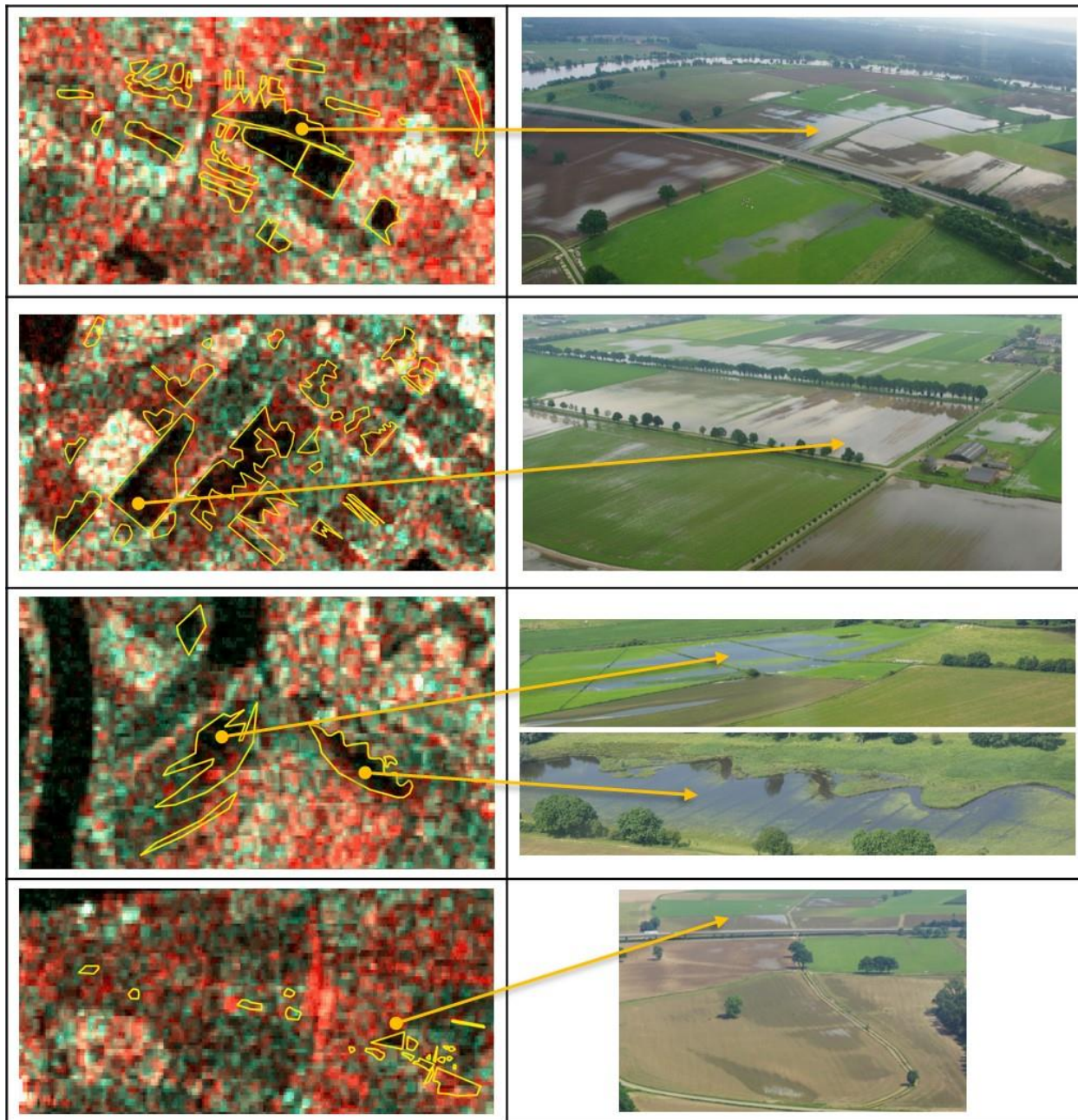
Zoals in de flowchart van afbeelding 2 weergegeven, moeten de satellietbeelden eerst een aantal stappen ondergaan voordat ze omgezet kunnen worden naar het inundatieproduct. Ruwe radarbeelden kunnen namelijk ruis bevatten en staan doorgaans niet meteen op de juiste geografische plek als gevolg van bijvoorbeeld vervormingen in het beeld door topografie en de stand van de satelliet. Verschillende correcties moeten daarom toegepast worden op de beelden. Deze correcties vallen in afbeelding 2 onder *Radar Processing*. Vervolgens vindt er een intercalibratie plaats, waarbij de radarkarakteristieken van waterlichamen bepaald worden aan de hand van bekende open waterlichamen. Op basis hiervan kunnen de inundatiekaarten gegenereerd worden. Al deze stappen moeten per radarbeeld gedaan worden om inundatie op de juiste manier te bepalen en om tot een consistente dataset te kunnen komen.



*Afbeelding 2. Flowchart van de processtappen van VanderSat's inundatieproduct om inundatiekaarten te genereren uit individuele radarbeelden*

### **Vergelijking inundatieproduct met helikopterfoto's**

In afbeelding 3 wordt een aantal voorbeelden gegeven van de vergelijking van het inundatieproduct met helikopterfoto's voor locaties in het beheersgebied van waterschap Limburg. Het inundatieproduct wordt in dit geval weergegeven als 'false colour'-beelden. Open water wordt hierin als een donkere kleur weergegeven. Over de *false colour*-beelden zijn de inundatievlakken op basis van helikopterfoto's in het geel geprojecteerd. De foto's waarop de inundatievlakken zijn gebaseerd staan naast de *false colour*-beelden. Tabel 1 biedt achtergrondinformatie over de afbeeldingen.



Afbeelding 3. False colour-beelden (links) met ingetekende inundatievlakken op basis van helikopterfoto's (geel); en de helikopterfoto's (rechts)

Tabel 1. Achtergrondinformatie voor afbeelding 3, in dezelfde volgorde

	<i>Locatie</i>	<i>Breedtegraad</i>	<i>Lengtegraad</i>	<i>Datum</i>	<i>Tijd S1A</i>	<i>Tijd foto</i>
1	Ten oosten van Wanssum	51.54	6.10	2 juni 2016	19:24	11:37, lokale tijd
2	Ten zuiden van Reuver	51.26	6.09	2 juni 2016	19:24	10:14, lokale tijd
3	Ten noordwesten van Swalmen	51.25	6.02	6 juni 2016	07:41	14:19, lokale tijd
4	Ten oosten van Wanssum	51.54	6.10	6 juni 2016	07:41	14:02, lokale tijd

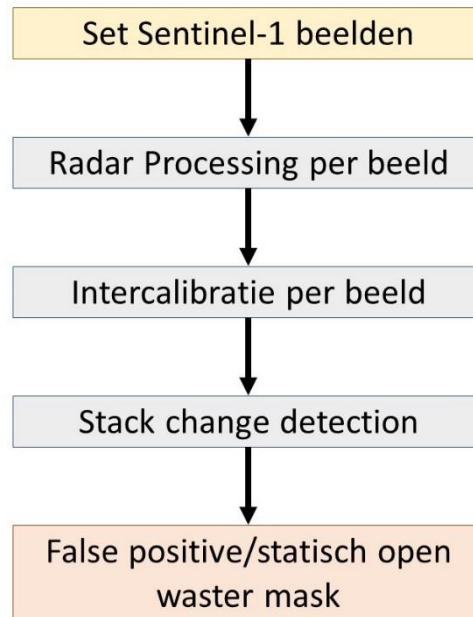
Uit de vergelijking met de *false colour*-beelden blijkt dat velden die duidelijk onder water staan goed zichtbaar zijn. Dit is ook te zien in de voorbeelden van afbeelding 3, waarin de grotere inundatievelden een donkere kleur hebben. Niet alle velden die als open water ingetekend zijn komen echter terug op de *false colour*-beelden. Het significante tijdsverschil tussen de foto en de satellietobservatie zou dit voor een deel kunnen verklaren, omdat de situatie in de tussentijd veranderd kan zijn. Daarnaast is het zo dat vegetatie op een landbouwperceel ook kan zorgen voor dergelijke ‘missing positives’. Het gewas ligt dan als het ware ‘over de inundatie heen’. Een ruw *footprint* van de Sentinel-1-satelliet is ongeveer 20 x 20 meter groot. Daardoor is er minstens een veld van 10 bij 10 meter vrij open water nodig om gedetecteerd te kunnen worden [3], [4]. In het geval van bijvoorbeeld een maïsveld moet de inundatie van bovenaf 10 x 10 meter vrij zichtbaar zijn om als inundatie gedetecteerd te worden. Geïnundeerde landbouwgronden met gewassen met een sterke dekkingsgraad zijn daardoor moeilijk te detecteren.

*Missing positives* kunnen ook ontstaan doordat een veld geheel onder water moet staan om door het inundatieproduct aangemerkt te worden als geïnundeerd. Drassige velden worden daardoor niet direct gedetecteerd. Andersom komt het ook voor dat het inundatieproduct bepaalde velden wel als geïnundeerd zag, maar dat ze niet ingetekend waren. Ook dit zou te maken kunnen hebben met het tijdsverschil, maar het wordt voornamelijk veroorzaakt door *false positives*. Dit zijn gebieden die hetzelfde backscattersignaal geven als open water en daarom foutief als inundatie gezien kunnen worden. Voorbeelden zijn asfalt, kunstgras, droge open plekken, golfbanen en plastic op bijvoorbeeld aspergevelden. Om radarbeelden te gebruiken als oplossing om inundatie in kaart te brengen, moeten dit soort velden gefilterd worden.

### ***False positives***

VanderSat heeft een methode ontwikkeld om op basis van radardata van meerdere dagen een filter te creëren om de statische open waterlichamen en *false positives* zo goed mogelijk te detecteren. Afbeelding 4 geeft de stappen weer van deze methode voor ‘change detection’. De individuele beelden in de set Sentinel-1-beelden moeten eerst dezelfde stappen ondergaan als het bepalen van inundatie (afbeelding 2). Vervolgens wordt er een ‘stack’ gemaakt waarbij de beelden als het ware over elkaar heen gelegd worden. Gebieden die binnen de *stack* constant als geïnundeerd gezien worden, komen overeen met

statische waterlichamen en *false positives*. Door hier een *mask* van te maken en over het inundatieproduct heen te leggen, kan er onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds statische open waterlichamen en *false positives* en anderzijds nieuwe inundatievelden.

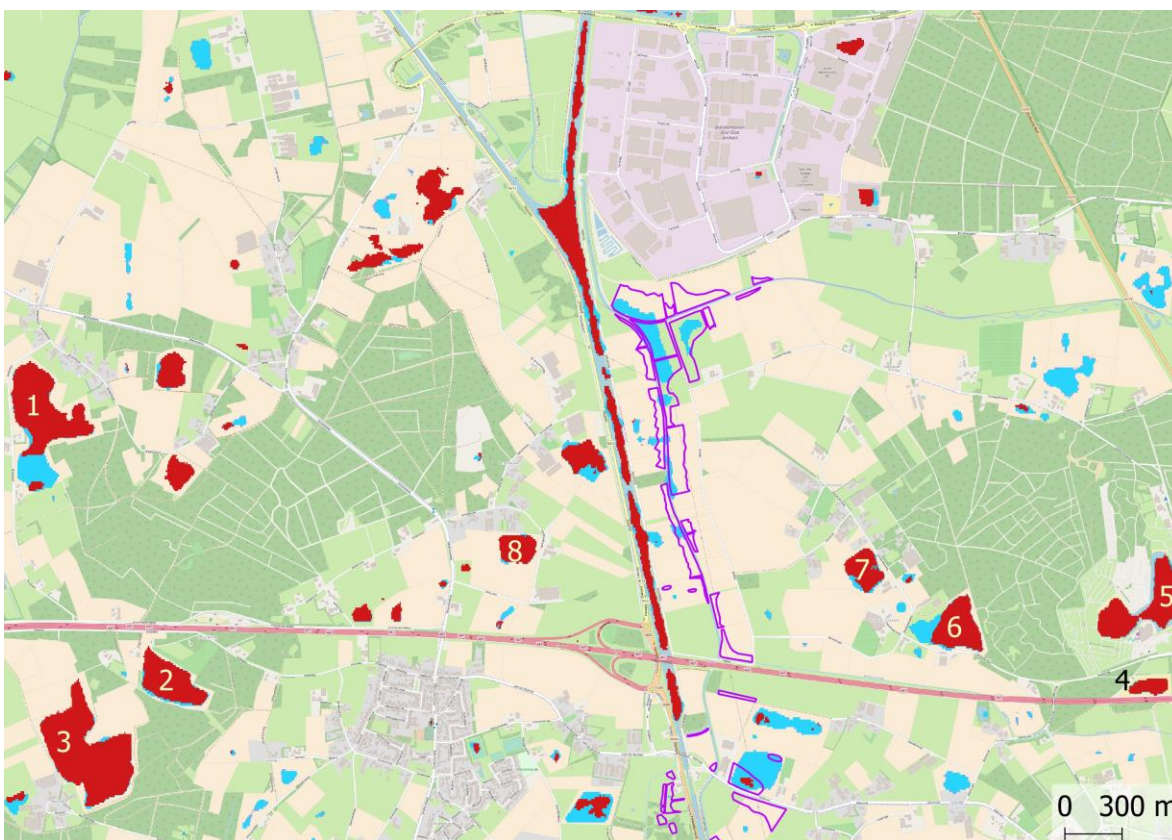


Afbeelding 4. Flowchart van de processtappen om *false positive/statisch open water mask* te genereren

Afbeelding 5 laat een voorbeeld zien van de *mask*. De rode gebieden geven aan waar statische open waterlichamen en *false positives* zijn. De blauwe gebieden geven geïnundeerde velden weer volgens het inundatieproduct, in dit geval weergegeven als een binair beeld: wel/geen open water. In het paars zijn inundatievlakken op basis van helikopterfoto's weergegeven.

*False positives* kunnen gekoppeld worden aan landgebruik. In tabel 2 is voor een aantal velden uit afbeelding 5 aangegeven welke gewassen er geteeld werden in 2016. In dit geval zijn de *false positives* onder andere veroorzaakt door het gebruik van plastic op asperge- en aardbeinvelden.

Deze manier van filteren is voor een aantal gebieden in Nederland getest en blijkt een veelbelovende methode om foutieve pixels uit het beeld te filteren. Vooral *false positives* als gevolg van asfalt en kunstgras kunnen gemakkelijk gefilterd worden doordat ze constant blijven over de tijdsperiode. Het herkennen van *false positives* als gevolg van bijvoorbeeld plastic en kale gronden is wat ingewikkelder, doordat deze velden door de tijd niet helemaal constant zijn. Het voordeel van de huidige Sentinel-constellatie is dat er een steeds langer datageheugen beschikbaar komt, waardoor ook dit soort velden steeds makkelijker te herkennen en te filteren is. Het nadeel is wel dat het heel moeilijk wordt om inundatie over dit soort velden te detecteren, omdat ze simpelweg hetzelfde signaal geven als open water.



Afbeelding 5. Rood: false positive/statisch open water; blauw: inundatieproduct als binair beeld; paars: inundatievlakken op basis van helikopterfoto's. Onderlaag: © OpenStreetMap contributors. Locatie: Lierop, waterschap Aa en Maas. Datum: 2 juni 2016

Tabel 2. Gewassen en landgebruik van de percelen in afbeelding 5 in 2016

Veldnummer	Gewas(sen)/landgebruik
1	Asperges
2	Aardbeien
3	Aardbeien/graszoden/dahilia
4	Parkeerplaats (Google Maps)
5	Meer
6	Japanse haver
7	Japanse haver
8	Asperges



## Conclusies en aanbevelingen

Door wateroverlast ondergelopen velden, zoals in juni 2016, zijn gemakkelijk te detecteren met radarbeelden. Velden die duidelijk onder water staan komen naar voren op radarbeelden vanwege de lage terugkaatsing (backscatter) als gevolg van het vlakke oppervlak. Hierin ligt ook de beperking van het inundatieproduct op basis van radarbeelden. Bepaalde oppervlakken kunnen hetzelfde signaal geven, waardoor ze foutief als open water gezien kunnen worden. Voorbeelden van deze *false positives* zijn asfalt, kunstgras, open zandvlaktes en landbouwpercelen waarbij zeil gebruikt wordt. Deze pixels moeten gefilterd worden en dit is mogelijk door naar veranderingen in de tijd te kijken, oftewel *change detection*. Door alle radarbeelden binnen een bepaalde tijdsperiode te combineren is een *false positive*/statisch openwaterfilter ontwikkeld.

Naast *false positives* zijn er in de vergelijking met helikopterfoto's ook *missing positives* naar voren gekomen. Hiervoor zijn meerdere verklaringen te geven:

1. tijdsverschil tussen het maken van de foto's en het overvliegen van de satelliet, waardoor de situatie kan veranderen
2. drassige velden,
3. de aanwezigheid van vegetatie die de inundatievelden deels bedekt en
4. te kleine inundatievelden.

Voor een optimale validatie van het inundatieproduct zou er een vervolgstudie opgezet moeten worden waarbij grondinspecties worden verricht op hetzelfde moment dat een satelliet overvliegt.

De exacte dekking van Sentinel-1A en -B is afhankelijk van de ligging van het gebied en is bijvoorbeeld elke drie dagen 100% en in de twee tussenliggende dagen bij elkaar meer dan 50% voor het beheersgebied van waterschap Aa en Maas. Voor 2021 staat de lancering van Sentinel-1C gepland en -1D zal later gelanceerd worden. Dit zal zorgen voor een vervolg en mogelijk een hogere temporele resolutie in de toekomst. Wanneer Sentinel-1 geen observatie heeft voor een bepaalde gewenste dag kan er gekeken worden of de satelliet Radarsat-2 of TerraSAR-X (niet gratis) wel een observatie heeft. De temporele resolutie van deze satellieten is echter een stuk lager.

Afhankelijk van de toepassing kan VanderSat het inundatieproduct op basis van radarbeelden in verschillende vormen leveren. Voorbeelden zijn:

1. een *false colour*-beeld op basis van ruwe data, waarbij vrijwel geen informatieverlies is en de herkomst van water het best geïnterpreteerd kan worden,
2. een binair beeld van wel/geen open water, waarbij doorgaans wat informatie verloren gaat door het filteren van ruis en
3. een variant van voorbeeld 2, waarbij gekeken kan worden naar het percentage van het perceel dat onder water staat.

Voor de waterschappen hebben dergelijke beelden een grote toegevoegde waarde bij wateroverlast. De toestand in het gebied kan op een consistente manier gemonitord worden. Technisch gezien is het mogelijk om binnen een dag na observatie een bewerkt beeld te hebben, waarmee meteen gewerkt kan worden. Dit is, naast de enorme kostenbesparing ten opzichte van helikopter-/dronevluchten, het grote voordeel van het gebruik van satellietdata. Zeker wanneer tijdens calamiteiten bruikbare data snel voorhanden moet zijn.

### Referenties

1. Waterschap Peel en Maasvallei (2016). *Omgaan met klimaatverandering, code oranje*.
2. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/resolutions/level-1-ground-range-detected>, geraadpleegd op 14 juni 2017
3. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1 User Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook), geraadpleegd op 14 juni 2017
4. Ulaby, F.T., Moore, R. K. & Fung, A. K. (1982). *Microwave Remote Sensing Active and Passive, Vol II, Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory*, 816-920.