

Vergroting areaalkennis met Big Data

Detecteren van kwel met remote sensing technieken



Vergroting areaalkennis met Big Data

Detecteren van kwel met remote sensing technieken

dr.ir. A.R. Koelewijn

Titel

Vergroting areaalkennis met Big Data

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat WVL	11202189-005	11202189-005-ZWS-0001	56

Trefwoorden

Kwel, piping, remote sensing, satellietdata, dronemetingen, infrarood

Samenvatting

In dit project is getracht om satelliet- en dronemetingen aan kwel bij waterkeringen, een voorbeeld van 'Big Data', te ontsluiten voor dijkbeheerders van Rijkswaterstaat. Hiertoe is voor een viertal locaties waar kwelproblemen vanuit het veld bekend zijn, gekeken in hoeverre deze ook vanuit deze metingen te herleiden zijn.

Met satellietmetingen van twee verschillende resoluties met zichtbaar licht bij de Dungense Brug, het Julianakanaal bij Echt en het Amsterdam-Rijnkanaal bij Nigtevegt, en met dronemetingen met zowel zichtbaar licht als infrarood bij de Zuid-Willemsvaart bij Weert zijn wisselende resultaten bereikt: de kwel was ten dele zichtbaar, soms zeer duidelijk, maar ten dele ook niet terug te vinden in de beelden, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van hoog opgaande vegetatie. Daardoor bleek de ontwikkeling van eenvoudig bruikbare tools voor waterkeringbeheerders vooralsnog niet goed uitvoerbaar.

Aanbevolen wordt om eerst nader te onderzoeken in hoeverre kennis uit de landbouw gecombineerd met kennis over remote-sensingtechnieken en de interpretatie van data daaruit een zinvolle bijdrage kan leveren aan de detectie van kwel. Vervolgens zou opnieuw onderzocht kunnen worden hoe dergelijke metingen gebruikt zouden kunnen worden in het dagelijks beheer van waterkeringen. Gelet op de snelle technische ontwikkelingen bij zowel de data-inwintechnieken als de analysetools zou dit al binnen twee tot vier jaar tot een bruikbaar resultaat kunnen leiden.

In de tussentijd kunnen situaties met kwel (al dan niet in ernstige mate) kunnen worden toegevoegd aan de pipingdatabase van de POV Piping. Bij een volgende gelegenheid om kweldetectie met satelliet- en dronemetingen toegankelijk te maken voor dijkbeheerders kan dan niet alleen gebruik worden gemaakt van de autonoom plaatsvindende doorontwikkeling van meettechnieken en meetplatforms, maar ook van een groter aantal locaties om de methode aan te toetsen – met actuele en/of archiefdata.

Referenties

2018 HV02-A5

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.1	dec. 2018	dr.ir. A.R. Koelewijn		ing. H.T.J. de Bruijn		ing. A.T. Aantjes	
1.3	jan. 2019	dr.ir. A.R. Koelewijn		ing. H.T.J. de Bruijn		ing. A.T. Aantjes	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Kader	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Leeswijzer	2
2 Uitwerking	3
2.1 Relevantie van kwel	3
2.2 Satellietmetingen: Sentinel-2 data	3
2.2.1 Dungense Brug	3
2.2.2 Julianakanaal nabij Echt	6
2.2.3 Amsterdam-Rijnkanaal nabij Nigtevegt	6
2.3 Satellietmetingen: Triplesat data	6
2.3.1 Dungense Brug	6
2.3.2 Julianakanaal nabij Echt	8
2.4 Dronemetingen	9
2.4.1 Zuid-Willemsvaart nabij Weert	9
2.5 Infraroodmetingen van een dijk inclusief falen	12
3 Discussie, conclusies en aanbevelingen	15
3.1 Discussie	15
3.2 Conclusies	16
3.3 Aanbevelingen	16
Bijlage(n)	
A Sentinel-2 data van Dungense Brug	A-1
B Triplesat data van Dungense Brug	B-1
C Triplesat data van Julianakanaal bij Echt	C-1
D CTW-verslag “Lekkage bij Tungelroysebeek Zuid-Willemsvaart ZZ”	D-1
E Dronebeelden Weert	E-1
F Infraroodbeelden van kwel tot aan falen (IJKdijk 2009)	F-1

1 Inleiding

1.1 Kader

Big Data is de term voor grote hoeveelheden gegevens die voor uiteenlopende doelen worden verzameld, opgeslagen en uitgewisseld. De bronnen van deze data zijn zeer uiteenlopend: aardobservatie via satellieten, vliegtuigen, helikopters en drones, berichten op sociale media, locaties van mobiele telefoons, informatie-uitwisseling tussen apparaten ('Internet of Things'), enz.

Door dergelijke data intelligent te combineren en te filteren is het vaak mogelijk om verrassende informatie af te leiden op heel andere gebieden dan waarvoor de oorspronkelijke gegevens ooit bedoeld waren. Een bekend voorbeeld hiervan is het aantal mobiele telefoons en de snelheid waarmee deze zich verplaatsen via het wegennet. Dit zijn proxies op grond waarvan files getraceerd kunnen worden. In het waterkeringbeheer staat het gebruik van dergelijke 'Big Data sets' nog in de kinderschoenen, maar de verwachting is dat dit ook hier grote potentie heeft.

Dit deelproject is onderdeel van het onderzoeksproject met Rijkswaterstaat gericht op de versterking van het onderzoek naar waterveiligheid. In 2017 is een verkenning uitgevoerd naar de mogelijke inzet van 'Big Data' voor vergroting van de areaalkennis bij waterkeringen. Daaruit kwam kweldetectie naar voren als één van de kansrijke onderwerpen. Dit onderzoek is als urgent geclassificeerd omdat kanaaldijken regelmatig worden afgekeurd op basis van kwel en het vrij veel capaciteit vergt om deze overlast regelmatig in het veld te controleren. Hiervan is vooralsnog aangenomen dat dit met de bestaande aardobservatietechnieken op zichzelf goed mogelijk is en dat het toegankelijk krijgen van de data voor de eindgebruikers nu de grootste uitdaging vormt.

Relevante aspecten die hierbij geïdentificeerd zijn, betreffen de inwinning van gegevens via drones, de ontwikkeling van een data lab en het ontsluiten van deze kennis voor de dijkbeheerders van, in de eerste plaats, Rijkswaterstaat.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit project is het ontsluiten van satelliet- en dronemetingen aan kwel voor dijkbeheerders van Rijkswaterstaat. Hierbij wordt gebruik gemaakt van verschillende typen metingen, op verschillende schaalgroottes.

Voor mogelijke locaties/gebieden voor dit onderzoek naar het detecteren van kwel zijn de volgende voorwaarden gesteld:

- Het moet gaan om een gebied waar volgens de tot dan toe gebruikte surveymethode aanzienlijke kwelproblematiek optreedt, of in het recente verleden (minder dan 2,5 jaar geleden) is opgetreden;
- Voor deze pilot moeten er beschikbare gegevens zijn van een eerdere survey die ook door RWS-WVL beschikbaar kunnen worden gesteld. Dit kan lastig zijn, omdat de inspecties vaak zijn uitbesteed waardoor de resultaten er wel zijn, maar de ruwe data vaak ontbreekt;
- De timing van de overlast is cruciaal. Het is bijvoorbeeld niet logisch om kwel of piping te detecteren tijdens een periode van langdurige regenval, omdat dit dan wegvalt tegen de plasvorming door de regen. Het benutten van een wat langere droge periode in het jaar is daarom logisch;

- Naast de locaties die bij de surveys zichtbaar worden, zijn er misschien ook wel verdachte locaties die extra gemonitord zullen worden op kwel. Op voorhand kan gedacht worden aan locaties bij aanleg/verbetering met verwachte of bekende problemen.

Er is voor drie verschillende platforms uitgetest in hoeverre deze geschikt zijn om kwel te detecteren, omdat op voorhand niet helder is welke resolutie het meest geschikt is. Er is gebruik gemaakt van de volgende drie platforms:

- Moderate resolutie (10 m pixels) optische satellietdata van het Sentinel-2 platform;
- Hoge resolutie (1,8 m pixels) optische satellietdata beschikbaar via het NSO-satellietdataportaal;
- Areaalfoto's genomen met een dronevlucht en verwerkt tot RGB Orthophotos. Daarnaast is recentelijk gebleken dat infraroodsensoren gemonteerd aan drones ook piping kunnen detecteren. Ook deze meetmethode wordt daarom meegenomen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de uitwerking beschreven. Na eerst een korte tekst over de relevantie van kweldetectie wordt ingegaan op verschillende typen metingen op een aantal locaties. Hierbij wordt ten dele ook data betrokken uit een eerder project.

In hoofdstuk 3 worden na een korte discussie enkele conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2 Uitwerking

2.1 Relevantie van kwel

Kwel is grondwater dat uit de bodem komt en van elders afkomstig is. Vanuit het oogpunt van waterbeheer kunnen er vier redenen zijn waarom kwel een probleem vormt, in opklimmende gradatie:

- waterbezwaar: het kwelwater moet worden afgevoerd, indien het om een significante hoeveelheid gaat, moet hier voldoende capaciteit voor zijn;
- waterkwaliteit: kwelwater kan een ongewenste samenstelling hebben, zo kan het bijvoorbeeld een hoog zoutgehalte kennen, wat een ongunstige invloed heeft op het waterkwaliteitsbeheer;
- bedreiging van de waterveiligheid door microstabiliteit, waarbij uittredend water of natte plekken in het binnentalud het symptoom vormen van wateroverspanningen onder de dijkbekleding, die weggedrukt kan worden of kan openscheuren. Dit kan progressief tot falen leiden, al bestaat de indruk op basis van praktijkgevallen en experimenten op verschillende schalen dat het hier om een betrekkelijk traag verlopend proces gaat waarbij doorgaans tijdig ingegrepen zal kunnen worden;
- bedreiging van de waterveiligheid in het geval van ernstige zandmeevoerende wellen (piping, bij kunstwerken vaak aangeduid als onder- of achterloopsheid) achter een waterkering (dijk of kunstwerk): hierbij is de grondwaterstroming dermate sterk dat zandkorrels worden meegevoerd. Als dit vanonder een kleilaag (of iets anders wat samenhang vertoont, zoals het beton van een kunstwerk) komt, dan kan hieronder een klein kanaaltje of 'pipe' ontstaan die bij een voldoende sterke stroming kan doorgroeien voorbij een locatie onder de waterkering waarna bij gelijkblijvend verval verdere uitschuring zal optreden tot aan bresvorming en daarmee falen van de waterkering aan toe.

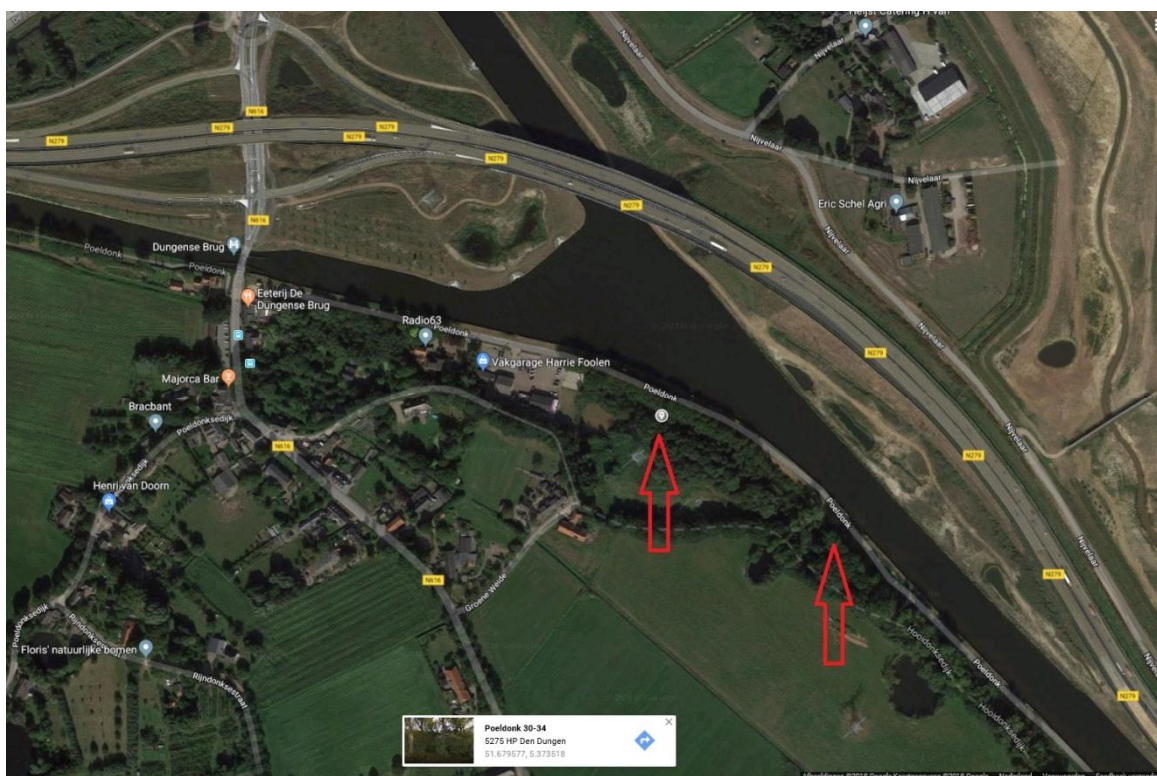
Voor de laatste situatie geldt dat aan een zandmeevoerende wel aan de uitstroomzijde op zichzelf niet goed te zien is in hoeverre deze al tot een alarmerende conditie zijn uitgegroeid. Ook kan de concentratie aan zand laag zijn, zodat het kan lijken alsof het kwelwater schoon is.

2.2 Satellietmetingen: Sentinel-2 data

De Sentinel-2 data wordt ingewonnen met de Sentinel-2 satellieten, waarvan de eerste is gelanceerd in juni 2015 en de tweede in maart 2017. Iedere 5 dagen komt een van beide over dezelfde locatie, telkens op hetzelfde tijdstip van de dag. Met een resolutie van 10 m wordt zowel gemeten in de visuele en nabije infraroodband (VNIR) en in de korte golf infraroodband.

2.2.1 Dungense Brug

Ten oosten van de Dungense Brug (pal ten oosten van 's-Hertogenbosch) is op twee locaties sprake van kwel, zie Figuur 2.1. De dijkbeheerder geeft hierover aan: *“Datum kan ik niet speciaal aangeven. Volgens mij is er doorlopend sprake van meer dan wel minder kwel.”*



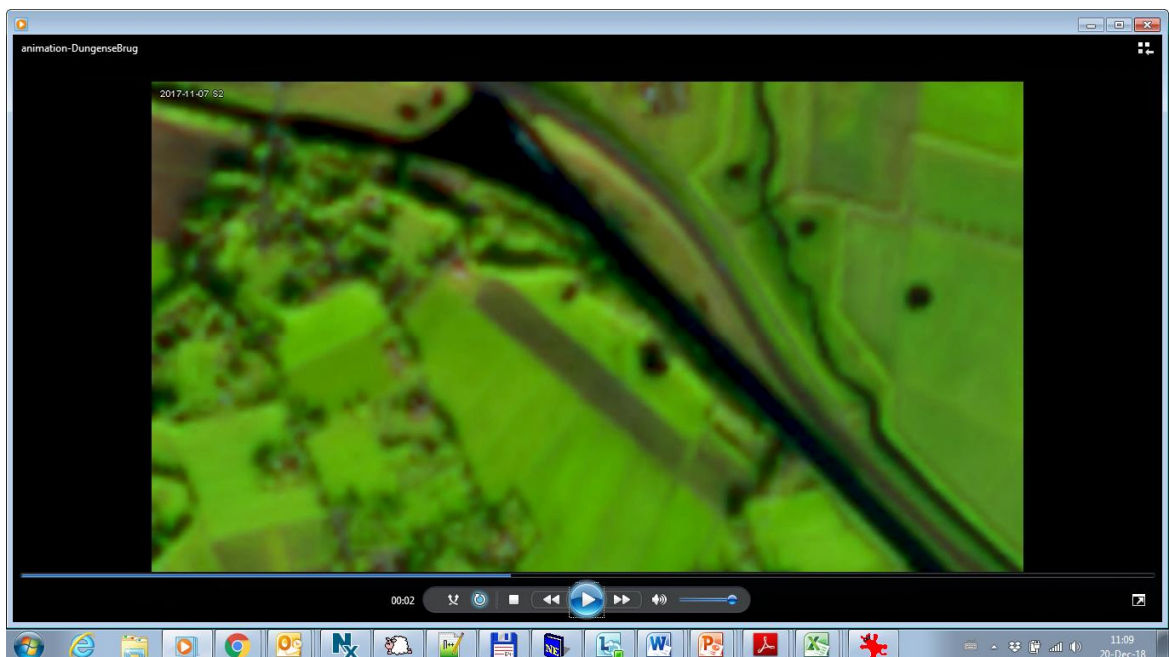
Figuur 2.1 Kwellocaties nabij de Dungense Brug

Uit de Sentinel-2 data die beschikbaar zijn voor de periode van februari 2017 tot en met augustus 2018 zijn de beelden geselecteerd waar geen (of slechts weinig) wolken het zicht belemmeren. Deze zijn weergegeven in bijlage A.

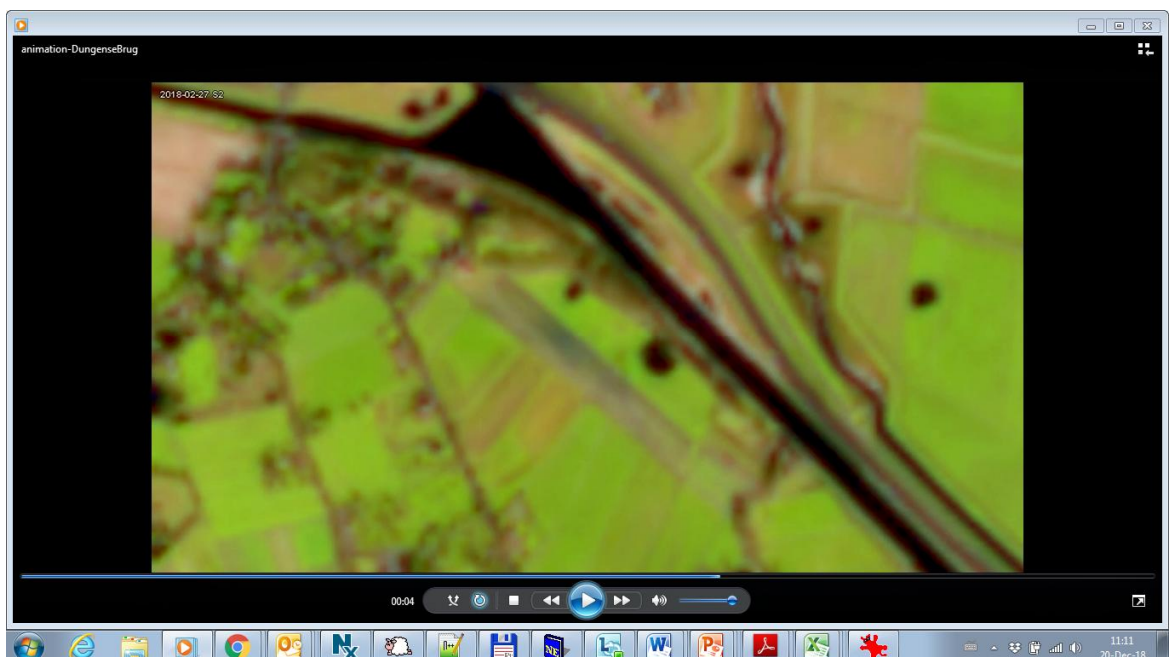
Inspectie van deze beelden bevestigt de veldwaarnemingen: het gebied bij de westelijke pijl uit Figuur 2.1 is groen in de zomer en bruin in de winter, maar oogt nat op de beelden van 23 september 2017 t/m 21 januari 2018: de beelden vertonen daar dan dezelfde tint als de nabijgelegen waterpartijen (zie ter illustratie Figuur 2.2 en Figuur 2.3). Vergelijking met de neerslaggegevens van vliegbasis Volkel, op ongeveer 20 km afstand, laat zien dat deze periode relatief nat was (zie Tabel 2.1). Bij de oostelijke pijl uit Figuur 2.1 zijn vaker wel dan niet dergelijke vlekken te zien, ook in de drogere perioden.

Tabel 2.1 Neerslag in mm per maand op vliegbasis Volkel (bron: KNMI)

Maand	2017	2018
januari	57	108
februari	59	18
maart	64	66
april	21	86
mei	41	65
juni	29	9
juli	122	3
augustus	50	69
september	69	33
oktober	46	37
november	63	34
december	100	-



Figuur 2.2 Sentinel-2 beeld nabij de Dungense Brug van 7 november 2017



Figuur 2.3 Sentinel-2 beeld nabij de Dungense Brug van 27 februari 2018

Wanneer deze beelden als uitgangspunt zouden worden genomen voor eventuele inspecties in het veld, dan dient het volgende daarbij in aanmerking te worden genomen:

- Alleen wolkenvrije beelden kunnen worden geïnspecteerd. Als er voor langere tijd telkens een wolk aanwezig is op het moment dat de satelliet passeert, dan is er voor langere tijd ook geen informatie beschikbaar;
- De aanwezigheid van hoog opgaande vegetatie zoals struiken en bomen kan de detectie bemoeilijken (gras daarentegen is juist een goede indicator, doordat het in een drogere periode niet verdroogt, en riet vormt een nog sterker indicator van bovenmatige kwel);

- De ruimtelijke resolutie (pixelgrootte) van 10 meter maakt alleen de detectie van grotere plekken mogelijk. Dus locaties waar over een grotere lengte kwel optreedt en/of locaties waar uittredend kwelwater, eventueel uit een geconcentreerde wel, niet meteen wordt afgevoerd;
- Niet alleen neerslag, maar ook verdamping zal het beeld vertroebelen. Dit kan de verschillen tussen zomer en herfst 2017 voor de westelijke locatie verklaren.

In §2.3.1 wordt ingegaan op beelden van dezelfde locatie met een hogere resolutie.

2.2.2 Julianakanaal nabij Echt

De Sentinel-2 data geeft voor deze locatie geen duidelijk beeld. Op deze locatie wordt in §2.3.2 nader ingegaan met beelden met een hogere resolutie.

2.2.3 Amsterdam-Rijnkanaal nabij Nigtevegt

De precieze locatie van de waargenomen kwel was niet bekend. De Sentinel-2 data is voor dit gebied bekeken, maar er zijn geen verschillen zichtbaar en ook geen permanente opvallend natte plekken nabij de kanaaldijk.

NB: de kwel zou zich hier vooral in de teensloot voordoen. Gegeven de resolutie van de Sentinel-2 data en het feit dat het kwelwater dan direct wordt afgevoerd is het logisch dat dit niet zichtbaar is op de beelden.

2.3 Satellietmetingen: Triplesat data

De Triplesat data wordt ingewonnen met de drie Triplesat-satellieten die op 10 juli 2015 zijn gelanceerd. Hiermee kunnen eenmaal per dag van iedere plaats op aarde beelden worden gemaakt. Dit wordt gedaan met een resolutie van 0,8 m met zichtbaar licht en met een resolutie van 3,2 m multispectraal.

Een gedeelte van de ingewonnen data voor Nederland is eenvoudig toegankelijk via satellietdataportaal.nl. Door naar die website te gaan, linksboven het interessegebied in te voeren, te filteren op 'Ruimtelijke resolutie' door alleen de keuze voor 0,8 m aan te vinken en vervolgens voldoende in te zoomen is een deel van de beelden van de Triplesat eenvoudig te bekijken en desgewenst op te slaan. Uitschakeling van het gebruikte 'wolkenfilter' levert iets meer beelden op (NB: dagelijkse beelden zijn niet beschikbaar via deze gratis website).

Door (ook) voor andere resoluties te kiezen, zijn ook beelden van andere satellieten beschikbaar:

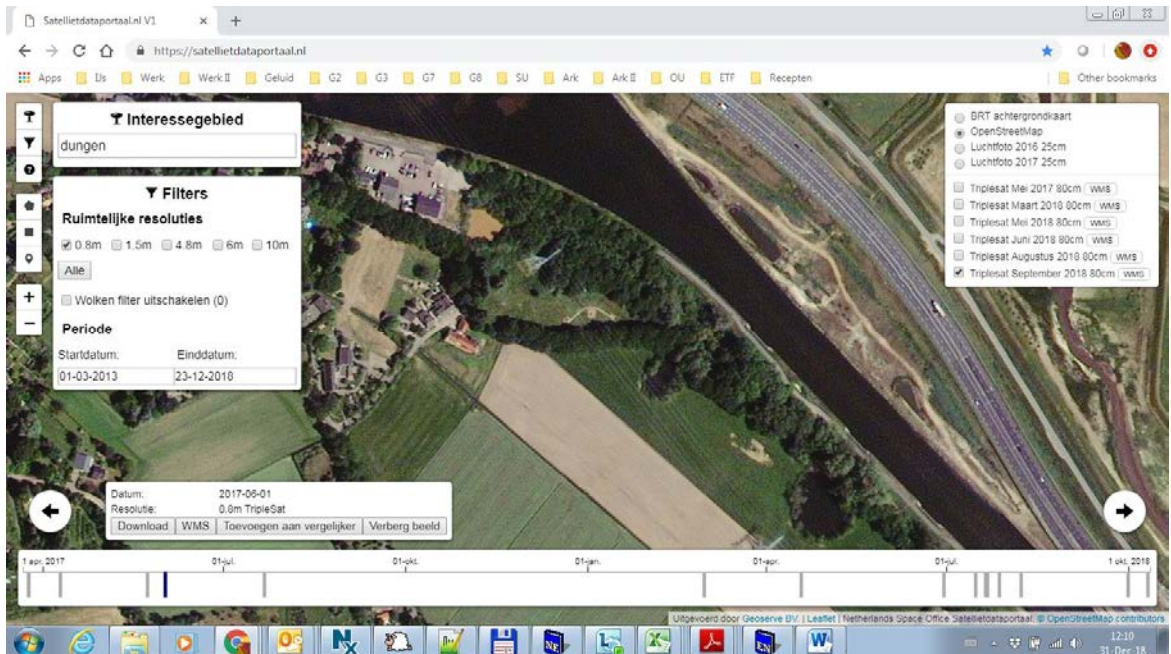
- met een resolutie van 1,5 m: Spot6_7 (nieuw)
- met een resolutie van 4,8 m: PlanetScope
- met een resolutie van 6 m: Spot6_7 (oud), RapidEye
- met een resolutie van 10 m: Sentinel-2

2.3.1 Dungense Brug

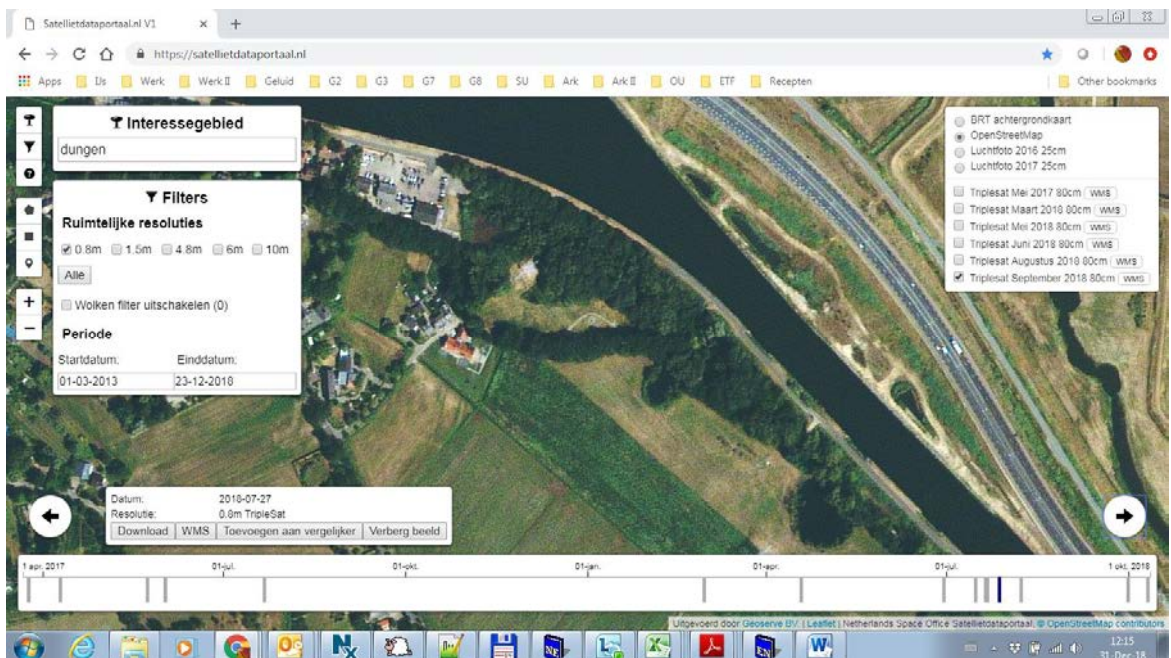
De wolkenvrije beelden met een resolutie van 0,8 m bij de Dungense Brug die via satellietportaal.nl beschikbaar zijn, zijn weergegeven in bijlage B.

Inspectie van deze beelden levert voor de westelijke locatie die is aangegeven in Figuur 2.1 niets bijzonders op. Voor de oostelijke locatie valt vooral de droogte in mei en juni 2017 op, waar ook deze plaats niet van uitgezonderd lijkt te zijn – ondanks eventuele kwel (zie ter illustratie Figuur 2.4). De donkerder vlekken in juli 2018 hier zijn hoogstwaarschijnlijk toe te

schrijven aan het dichte bladerdek van de bomen en de schaduwen daarvan (zie ter illustratie Figuur 2.5). Voor de detectie van kwel is dit weinig bruikbaar.



Figuur 2.4 Triplesat data van Dungenese Brug van 1 juni 2017



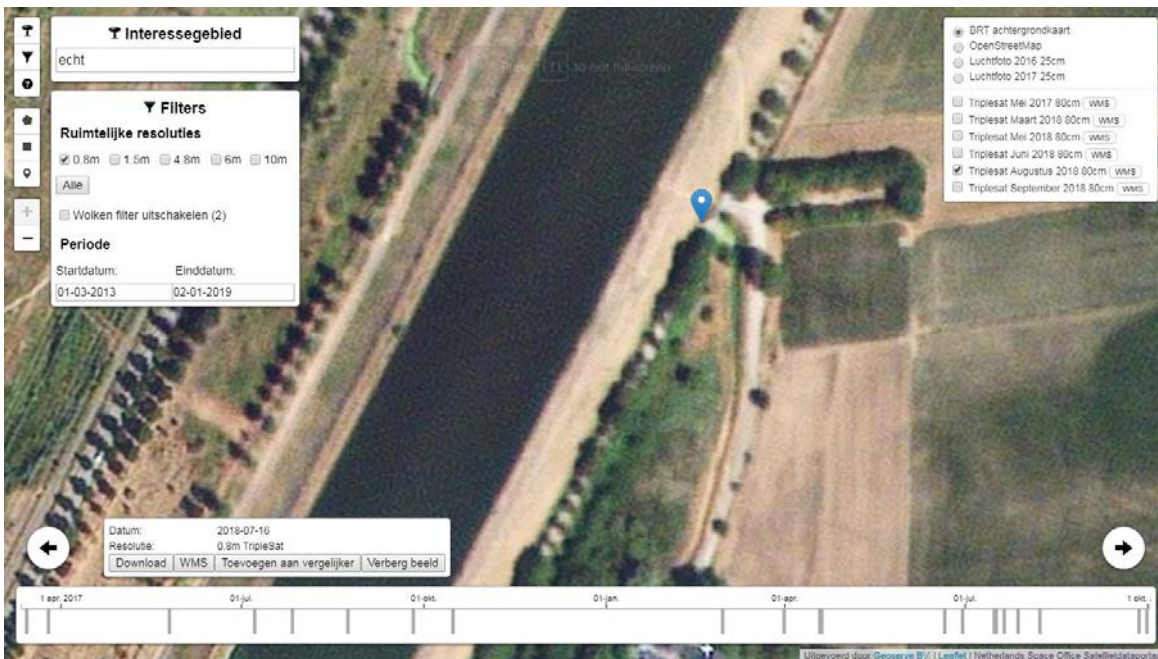
Figuur 2.5 Triplesat data van Dungenese Brug van 27 juli 2018

Hierbij moet worden aangetekend dat beelden ontbreken uit de periode van september 2017 t/m januari 2018; dit is de periode die het meest opviel in de Sentinel-2 data. Uitschakeling van het wolkenfilter maakt voor de beschikbaarheid van beelden uit die periode overigens niets uit. De reden voor het ontbreken van data over een zo lange periode is niet bekend. Onvoldoende beschikbaarheid van beelden kan zodoende van grote invloed zijn op de detectie. Hierbij geldt bovendien dat in een operationele context het juist gaat om de

beschikbare actuele beelden, waarbij de archiefbeelden alleen als referentie dienen. Als er voor langere tijd geen beelden beschikbaar komen, dan levert dit een beperking op voor de bruikbaarheid van de data.

2.3.2 Julianakanaal nabij Echt

Langs het Julianakanaal komt op meerdere locaties kwel voor. Eén van de locaties is weergegeven in Figuur 2.6. De Triplesat-beelden die voor deze locatie beschikbaar zijn, zijn weergegeven in bijlage C.



Figuur 2.6 Kwellocatie langs het Julianakanaal nabij Echt (beeld van 16 juli 2018)

Inspectie van de beelden op en nabij de aangegeven locatie toont dat deze plek vochtiger lijkt op basis van de aanwezigheid van lichtgroene vegetatie (zoals onder andere op het beeld van 16 juli 2018 dat gebruikt is voor Figuur 2.6) of ronduit nat, zoals op de beelden van 25 maart, 25 mei en 15 oktober 2017 en op de beelden van 28 februari, 19 april (zie Figuur 2.7), 27 juli en 7 augustus 2018. Vergelijking met de neerslag op vliegbasis Volkel (Tabel 2.1), die hier ongeveer 60 km vandaan ligt, laat geen verband zien met de algemene droogteperiodes. Bovengemiddelde kwel vormt zodoende de beste verklaring voor de natheid van deze locatie in vergelijking met de naastgelegen kanaaldijkstrekkingen.



Figuur 2.7 Kwellocatie langs het Julianakanaal nabij Echt (beeld van 19 april 2018)

2.4 Dronemetingen

Drones (onbemande, op afstand bestuurd vliegende objecten) kunnen ook worden ingezet voor het inwinnen van gegevens vanuit de lucht. Te denken valt aan een speciale vlucht om bij ongewone omstandigheden een specifieke locatie of dijkstrekking beter in beeld te krijgen of reguliere inspecties waarmee een volledige strekking periodiek in beeld kan worden gebracht.

Voordelen van drones boven satellieten zijn dat deze op een gewenst tijdstip kunnen worden ingezet en dat deze over het algemeen onder een wolkendeck door kunnen vliegen. Door de veel geringere afstand kan de resolutie ook hoger zijn, al levert de beperkte laadcapaciteit van de meeste drones ook beperkingen aan de apparatuur waarmee gevlogen kan worden. Hiervoor geldt overigens dat er voor de gangbare remote sensing-apparatuur doorgaans wel een drone te vinden is met voldoende capaciteit; er zijn drones met meer dan 10 kg nuttige laadcapaciteit beschikbaar waar ook relatief grote apparatuur mee kan worden genomen.

Een vaak gehanteerd argument tegen het gebruik van drones is dat er veel beperkingen zijn aan het gebruik ervan, waaronder de diverse vliegverboden boven grote delen van Nederland, zoals weergegeven op de overzichtskaart op de website kadata.kadaster.nl/dronekaart/ waardoor een aanzienlijk percentage van het land sowieso al afvalt. Deze beperkingen gelden echter in veel mindere mate voor professionele bedrijven met een vergunning om met drones te vliegen.

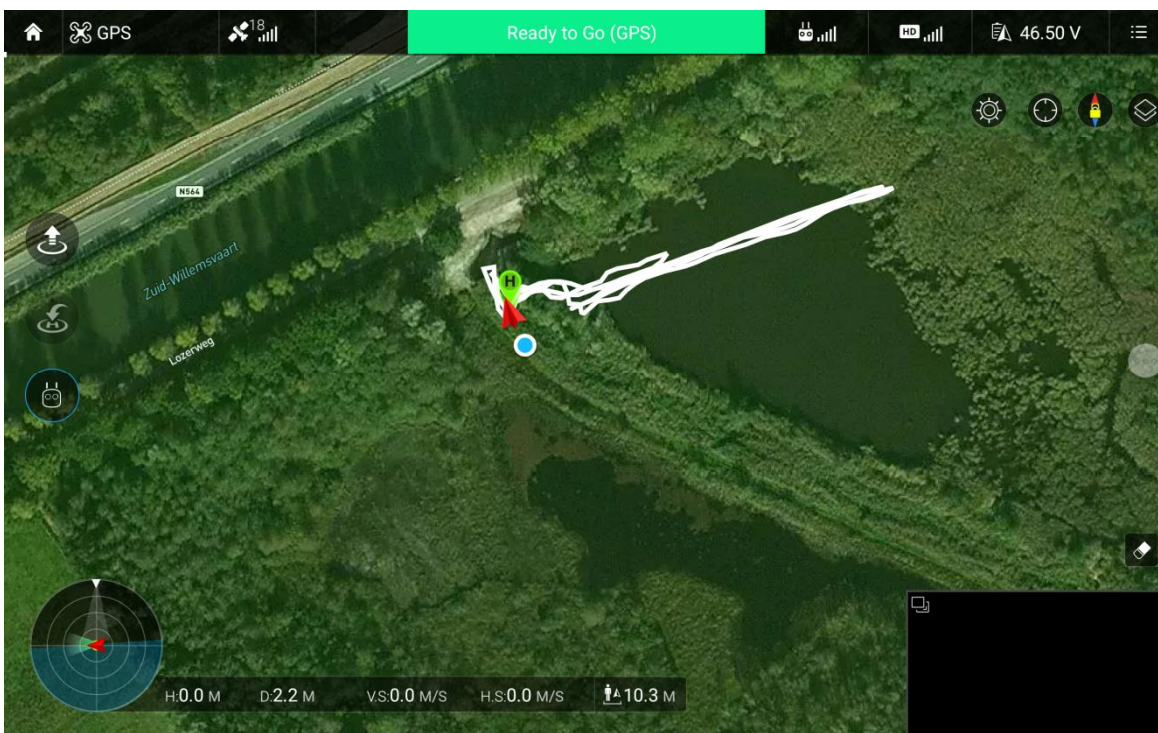
2.4.1 Zuid-Willemsvaart nabij Weert

In het kader van dit project is op 16 oktober een drone ingezet op en rond de locatie van een calamiteit als gevolg van kwel bij een oude duiker onder de Zuid-Willemsvaart bij Weert. Op 28 augustus 2018 is via Waterschap Limburg een melding bij Rijkswaterstaat binnengekomen van kwel halverwege het talud van de Zuid-Willemsvaart (zuidzijde), nabij de kruising met de Tungelroyse beek. Hiervoor is vervolgens het calamiteitenteam Waterkeringen (CTW) ingeschakeld om de ernst van de situatie te beoordelen. Een gedetailleerd verslag hierover is opgenomen in bijlage D. Concrete maatregelen, anders dan een verkeersmaatregel, zijn pas

genomen na afloop van de dronevlucht. Vanwege de aanhoudende droogte leverde dit uitstel overigens geen enkel veiligheidsrisico op.

De lekkage was enerzijds zorgwekkend, anderzijds was deze met het blote oog maar moeilijk waar te nemen vanwege de slechte toegankelijkheid voor inspectie. Als deze situatie gemakkelijk zichtbaar zou zijn met behulp van een drone of op satellietbeelden, dan zou dit een goed argument vormen om dergelijke methoden breder in te zetten. De lekkage is namelijk pas eind augustus geconstateerd, terwijl deze vermoedelijk beïnvloed is door een reparatie begin mei en dus mogelijk al langer aanwezig was.

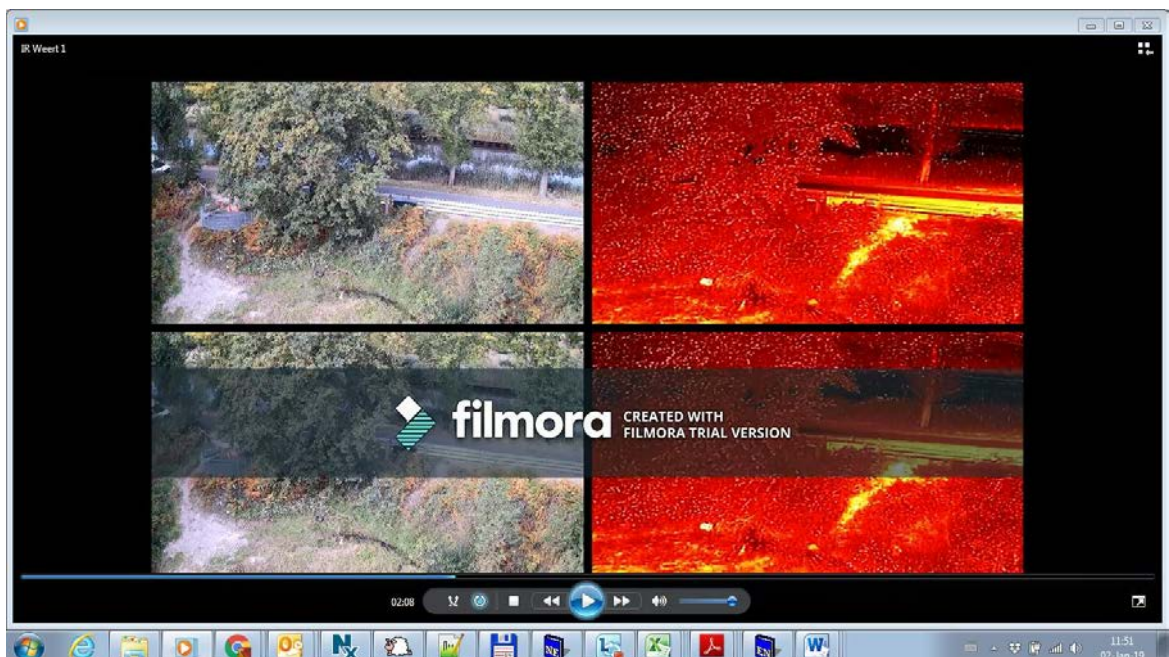
In Figuur 2.8 zijn de vliegroutes aangegeven van de drie uitgevoerde dronevluchten, waarbij zowel met zichtbaar licht als met infrarood is gemeten. Enkele screenshots met beide beelden daarbij parallel weergegeven zijn te vinden in bijlage E.



Figuur 2.8 Vliegroutes van de dronevluchten bij de Tungelroyse Beek nabij Weert

Op de beelden van de eerste vlucht is de locatie van de lekkage goed te zien na 1:43. Het linkerbeeld laat het effect van de lekkage, een donkere lijn, zien vanaf net een klein stukje links van een verkeerspylon naar rechts, waar het kwelwater op de rand van het beeld uitstroomt in het kanaaltje vanaf de bestaande duiker. Het infraroodbeeld aan de rechterzijde beslaat een iets kleiner gebied, ook hier is de kwel zichtbaar als een donkere streep (het uitstromende water was relatief koel).

Op het volgende beeld (2:08) is de kwellocatie nog iets beter zichtbaar op het infraroodbeeld zie ook Figuur 2.9.



Figuur 2.9 Beelden uit de eerste dronevlucht nabij Weert, links gewoon beeld, rechts infrarood, op 2:08.

Op het derde beeld (2:18) is op het infraroodbeeld ook de kwelsloot aan de andere kant van de duiker zichtbaar als een gedeeltelijk door de vegetatie verborgen donkere lijn. Deze kwelsloot is onderaan de teen van de dijk aangelegd om de normale grondwaterstroming vanuit het kanaal op een goede manier af te voeren.

Verderop tijdens dezelfde vlucht schemert de kwelsloot nog even door de vegetatie heen (3:07 – op 1/5 vanaf de bovenkant in het infraroodbeeld).

Kort voor terugkeer van de eerste vlucht (4:06) is de kwelsloot nabij de duiker opnieuw zichtbaar in het infraroodbeeld.

Op het eerste beeld van de tweede vlucht (0:31) is de kwellocatie en het daarvandaan stromende water vanuit een iets lagere hoek zichtbaar.

Ook bij deze vlucht schemerde de kwelsloot nabij de duiker nog redelijk door de vegetatie heen (beeld van 0:47, zie ook Figuur 2.10). Verderop was deze kwelsloot echter niet meer terug te zien.



Figuur 2.10 Beelden uit de tweede dronevlucht nabij Weert, links gewoon beeld, rechts infrarood, op 0:47.

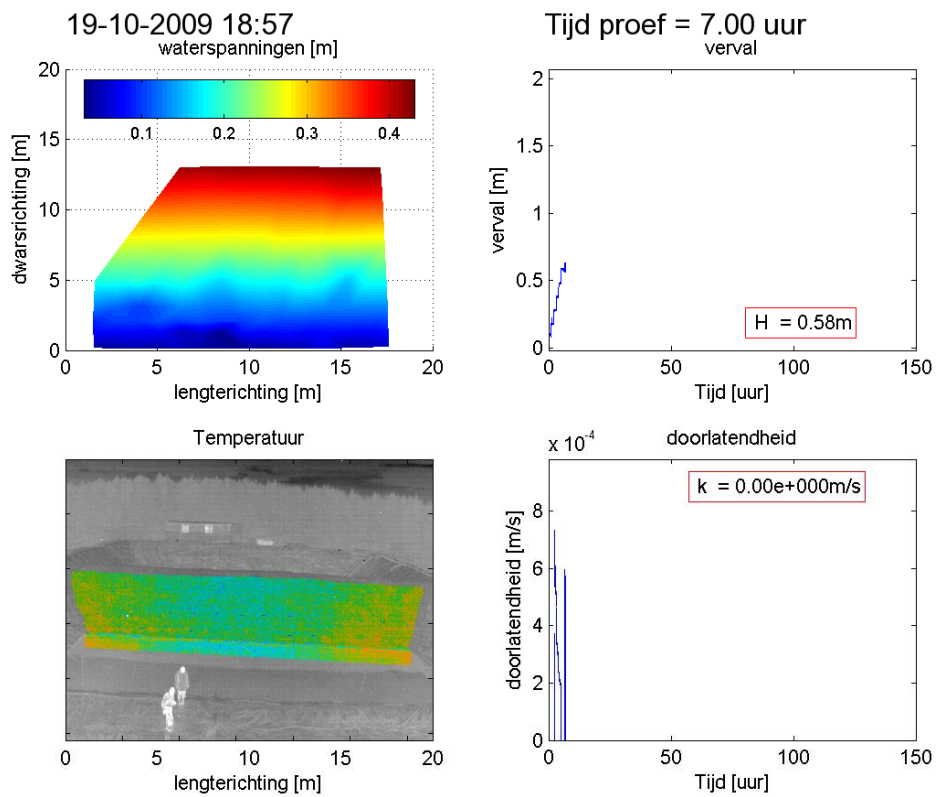
Overigens is ook voor deze locatie onderzocht of deze lekkage op enigerlei wijze terug te zien is via Triplesat-data, maar dat blijkt niet het geval.

2.5 Infraroodmetingen van een dijk inclusief falen

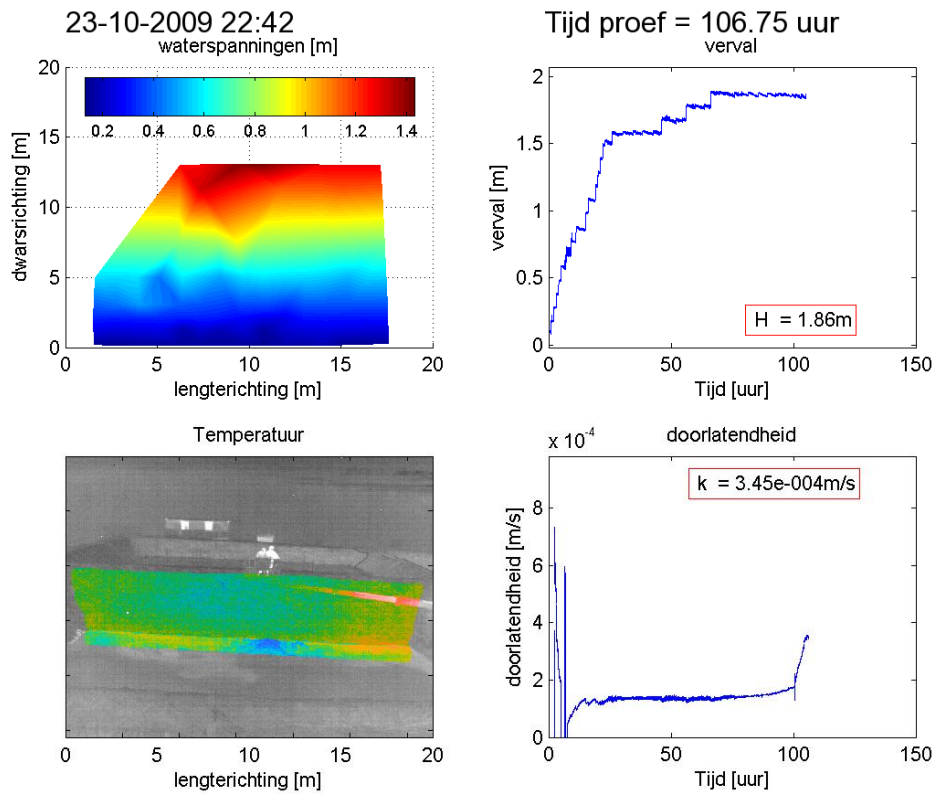
Ter illustratie is in bijlage F een tiental beelden opgenomen van infraroodmetingen aan een dijk waaronder bovenmatig veel kwel optrad, tot uiteindelijk bezwijken toe. Dit betreft metingen van Intech bij de IJkdijk-experimenten met piping in 2009. Hier waren min of meer de ideale omstandigheden gecreëerd om tot falen te komen én daar goed aan te kunnen meten. De beelden zijn gemaakt met een infraroodcamera bovenaan een (uitschuifbare) mast op een terreinwagen. De mast was daarbij gestabiliseerd met spandraden.

Een dergelijke vaste opstelling is overigens niet noodzakelijk; met dezelfde camera en wagen zijn al rijdend beelden gemaakt van de sloot langs een gedeelte van het Amsterdam-Rijnkanaal waarop de kwel onder invloed van voorbijvarende schepen goed zichtbaar is (hiervan zijn geen beelden beschikbaar om in deze rapportage op te nemen).

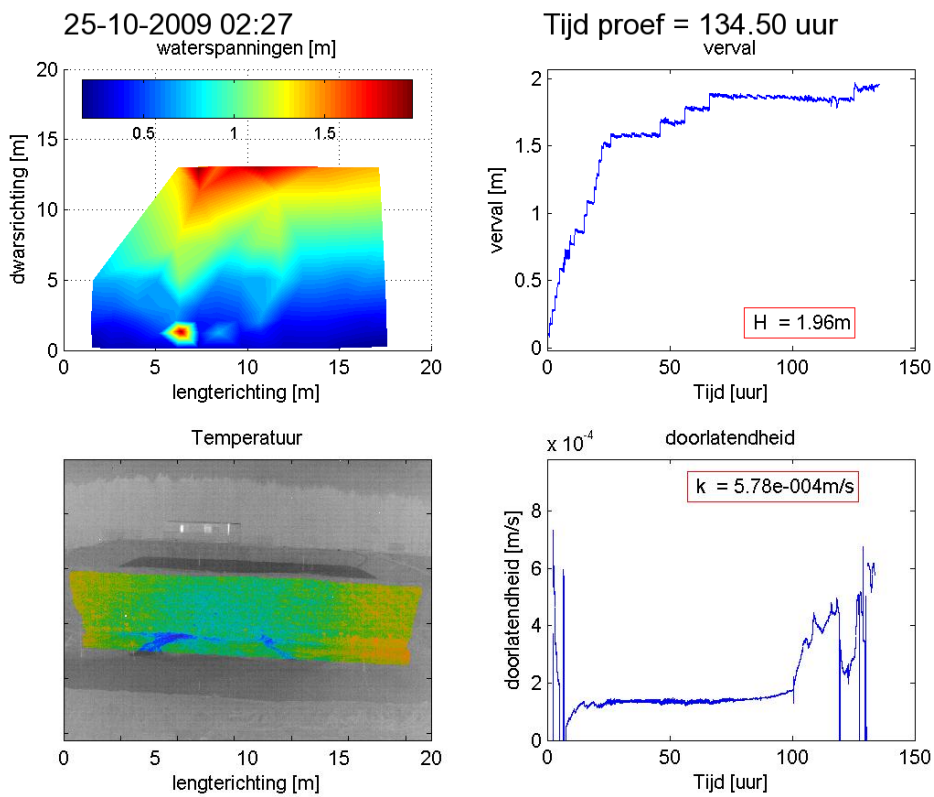
De beelden in bijlage F tonen linksonder het binnentalud van de proefdijk gemaakt van klei, met daaronder een stukje van het waterreservoir nabij de teen van de dijk. Het uitreden van relatief koud water (blauw) is goed zichtbaar (zie ook Figuur 2.11). Dit gebeurt langs de gehele teen van de dijk, maar de sterkere stroming (corresponderend met een relatief grote zandmeevoerende wel) concentreert zich steeds meer op één locatie iets rechts van het midden (zie ook Figuur 2.12), waarna er een tweede grote zandmeevoerende wel meer naar links ontstaat (zie ook Figuur 2.13), maar uiteindelijk faalt de dijk via de eerste grote wel (zie ook Figuur 2.14). Deze beelden laten de mogelijkheden zien van infrarooddetectie van kwel onder ideale omstandigheden.



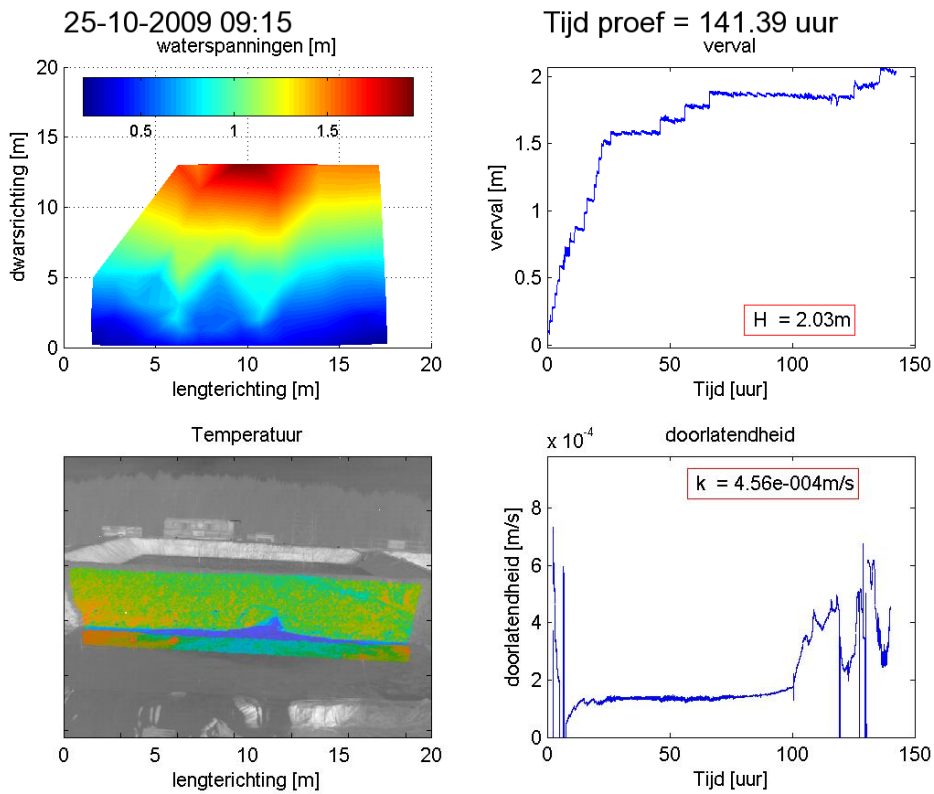
Figuur 2.11 Ikdijkproef met piping, linksonder gedeeltelijk infraroodbeeld kort na aanvang van de proef



Figuur 2.12 Ikdijkproef met piping tijdens de ontwikkeling van de eerste grote zandmeevorende wel



Figuur 2.13 IJkdijkproef met piping in een vergevorderd stadium



Figuur 2.14 IJkdijkproef met piping tijdens falen

3 Discussie, conclusies en aanbevelingen

3.1 Discussie

Recent zijn goede resultaten behaald met remote-sensingtechnieken om kwel op te sporen. Hierbij valt te denken aan de kweldetectie langs het Amsterdam-Rijnkanaal en de diverse andere voorbeelden van detectie op basis van satelliet- en dronemetingen die in dit rapport zijn genoemd. De doelstelling om satelliet- en dronemetingen aan kwel te ontsluiten voor dijkbeheerders van Rijkswaterstaat bleek echter niet haalbaar, omdat onverwachts bleek dat met de thans beschikbare middelen nog lang niet alle situaties met kwel gedetecteerd kunnen worden en er ook nog geen duidelijke criteria zijn ontwikkeld onder welke omstandigheden deze methoden wel of niet succesvol zullen zijn. De voorliggende rapportage kan een bijdrage leveren bij de ontwikkeling van dergelijke criteria, zodat deze methoden tenminste in een gedeelte van de dijkbeheerpraktijk kunnen worden ingezet.

De hier gevolgde aanpak was om op basis van veldwaarnemingen van kwel te zoeken naar aanwijzingen voor kwel in beelden/metingen die van afstand kunnen worden ingewonnen, te beginnen met satellietmetingen en gevolgd door dronemetingen. In de toekomst zou dan eventueel de omgekeerde route kunnen worden gevolgd: op basis van data die op afstand is ingewonnen zou een selectie kunnen worden gemaakt van locaties die nadere inspectie in het veld vereisen. Gaandeweg zou hiermee een hogere graad van perfectie kunnen worden bereikt, dat wil zeggen: een hoger aandeel aan locaties dat terecht als verdacht wordt aangemerkt zoals vervolgens ook uit inspectie in het veld blijkt, terwijl het aandeel aan onterecht niet opgemerkte situaties beperkt blijft, liefst (vrijwel) nihil.

In de beschouwde cases zijn echter zelfs de bekende verdachte locaties uit veldinspecties slechts ten dele teruggevonden. Dit vormde de hoofdreden om de binnen dit project geplande workshop met een aantal dijkbeheerders van Rijkswaterstaat te schrappen. Bij de aanvullende case van de lekkage bij Weert was de feitelijke lekkage wel goed zichtbaar in de dronebeelden, maar het zicht op de goed functionerende kwelsloot ernaast ontbrak grotendeels door de aanwezige vegetatie; deze had als referentie idealiter wel zichtbaar moeten zijn.

Zoals genoemd in de inleiding wordt tevens vermoed dat betere resultaten kunnen worden verkregen door combinatie van meerdere databronnen. In deze studie zijn voornamelijk visuele beelden, ten dele ook infraroodbeelden, gecombineerd met inspecties in het veld. Er zouden meer databronnen geraadpleegd kunnen worden, relevante bronnen kunnen bijvoorbeeld de groenheid van de vegetatie en de zogeheten 'waterindex' voor vegetatie zijn, welke toegankelijk zijn via de Google Earth Engine. Dit is vervallen omdat de andere bronnen voor kweldetectie, zichtbaar licht en infrarood, in onvoldoende mate positieve resultaten laten zien op locaties waar kwel voorkomt.

Wellicht is over enige tijd meer mogelijk op dit gebied: door betere meettechnieken met een hogere resolutie en frequentie van meten. Daarnaast kunnen de bevindingen uit deze studie bijdragen aan het formuleren van de omstandigheden waaronder zinvolle metingen überhaupt mogelijk zijn. Ook zou de detectie van anomalieën in satelliet- en dronebeelden verder verbeterd kunnen worden. Toepassing van kennis uit de landbouw, toegespitst op type en conditie van vegetatie onder kwelrijke omstandigheden, gecombineerd met de interpretatie van remote-sensingmetingen, zou hier verder aan bij kunnen dragen.

3.2 Conclusies

Het detecteren van kwel met remote-sensingtechnieken blijkt in de dagelijkse praktijk minder eenvoudig te zijn dan bij aanvang van dit project werd gedacht. Het ontwikkelen van eenvoudig bruikbare tools voor waterkeringbeheerders en aanbieden daarvan in een ééndaagse workshop was daarom binnen dit project vooralsnog niet goed uitvoerbaar.

De detectie van kwel op basis van satelliet- en/of dronemetingen is weliswaar in een aantal situaties goed mogelijk, maar de onderzochte cases hebben ook laten zien dat kwel hiermee beslist niet altijd wordt opgemerkt, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van vegetatie.

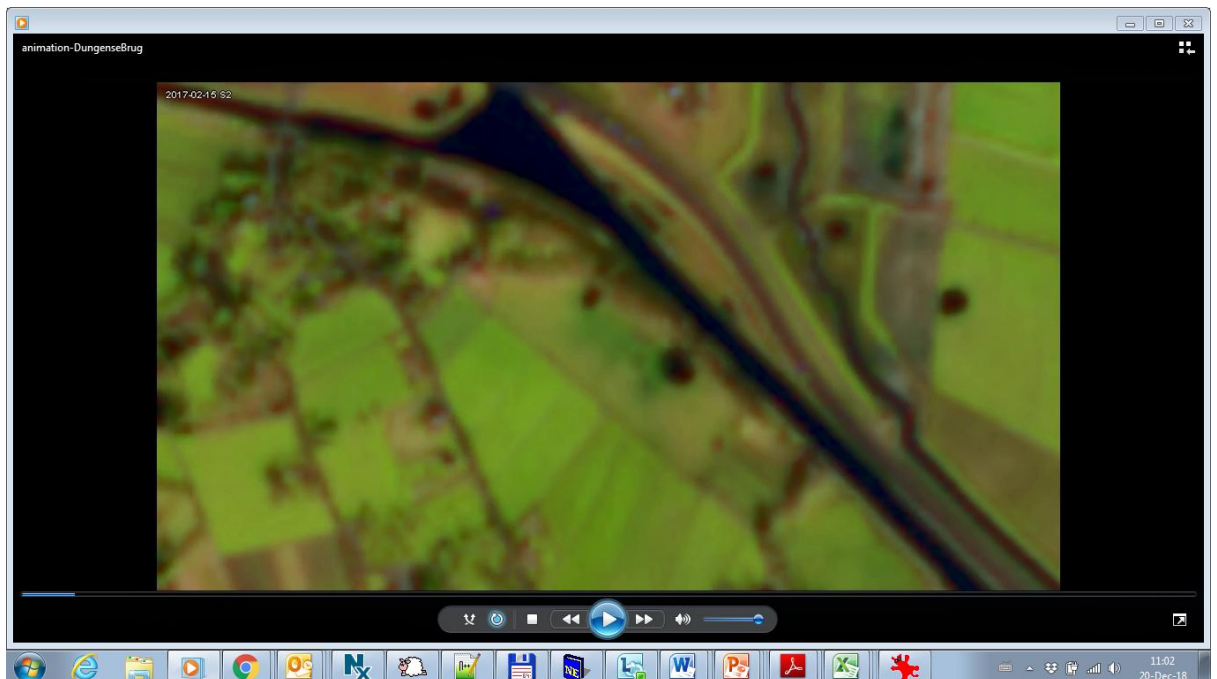
3.3 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om eerst nader te onderzoeken in hoeverre kennis uit de landbouw gecombineerd met kennis over remote-sensingtechnieken en de interpretatie van data daaruit een zinvolle bijdrage kan leveren aan de detectie van kwel. Vervolgens zou opnieuw onderzocht kunnen worden hoe dergelijke metingen gebruikt zouden kunnen worden in het dagelijks beheer van waterkeringen. Gelet op de snelle technische ontwikkelingen bij zowel de data-inwintechieken als de analysetools zou dit al binnen twee tot vier jaar tot een bruikbaar resultaat kunnen leiden.

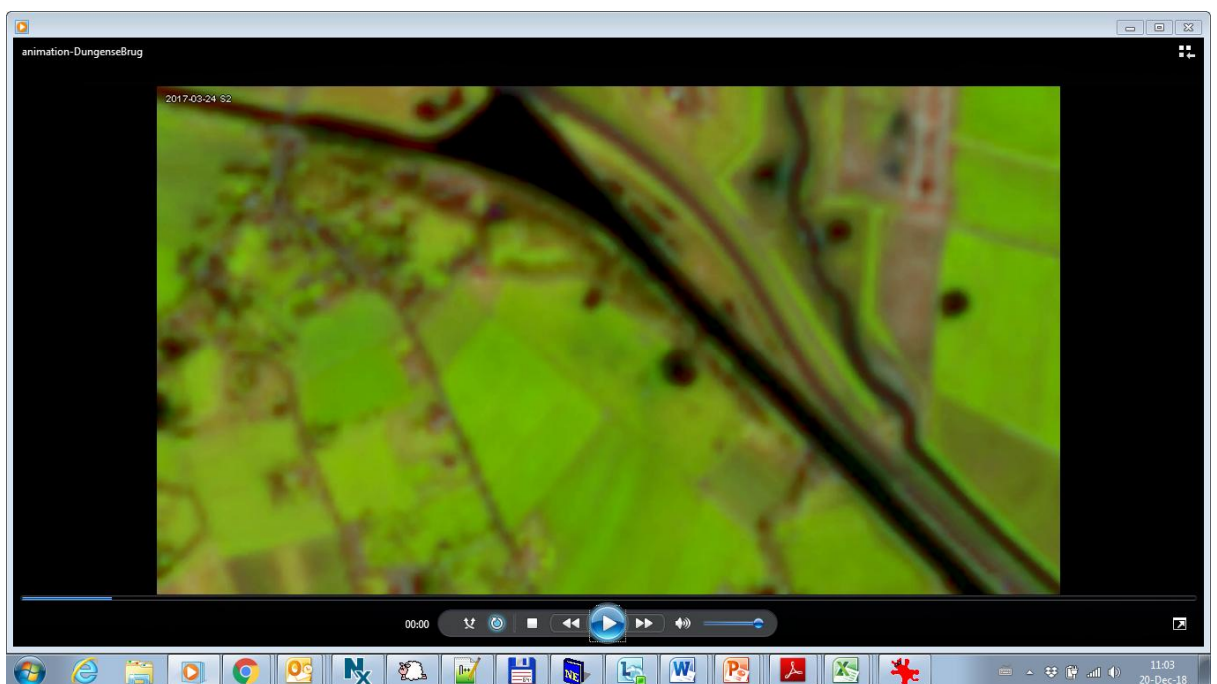
In de tussentijd kunnen situaties met kwel (al dan niet in ernstige mate) kunnen worden toegevoegd aan de pipingdatabase die momenteel wordt door enkele ingenieursbureaus gevuld in opdracht van de POV Piping. Bij een volgende gelegenheid om kweldetectie met satelliet- en dronemetingen toegankelijk te maken voor dijkbeheerders kan dan niet alleen gebruik worden gemaakt van de autonoom plaatsvindende doorontwikkeling van meettechnieken en meetplatforms, maar ook van een groter aantal locaties om de methode aan te toetsen – met actuele en/of archiefdata.

A Sentinel-2 data van Dungense Brug

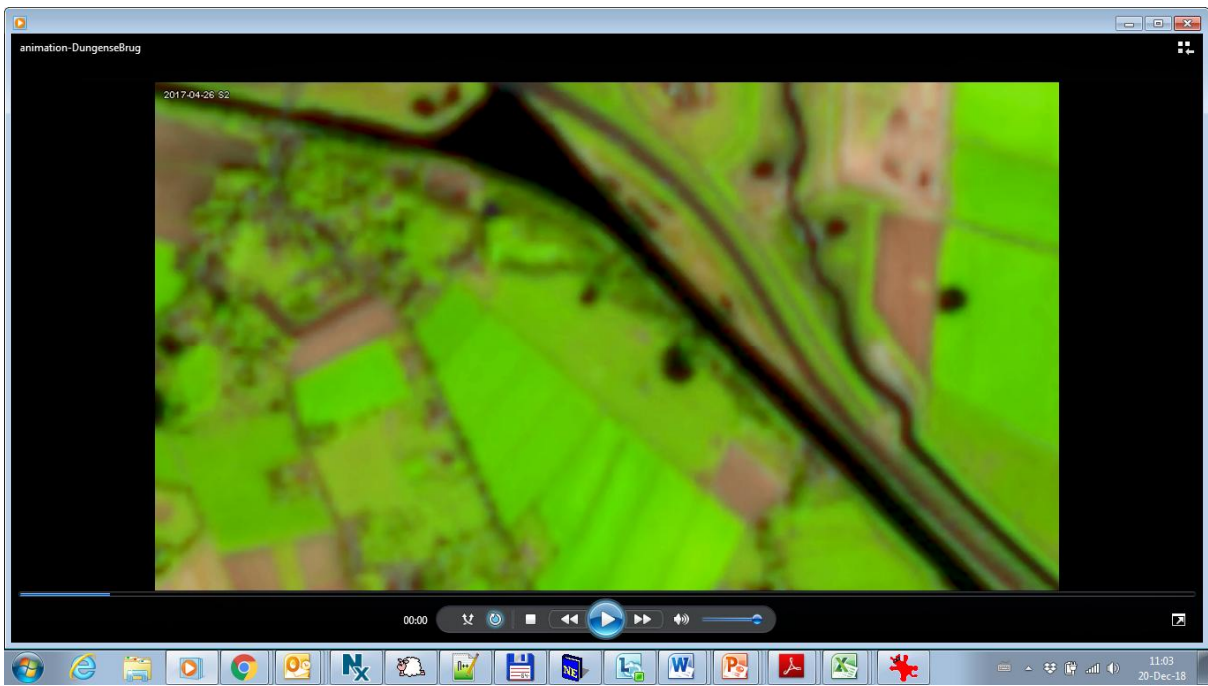
Sentinel-2 beelden zichtbaar licht van februari 2017 t/m augustus 2018 (alleen beelden zonder veel wolken), zie ook figuur 2.1.



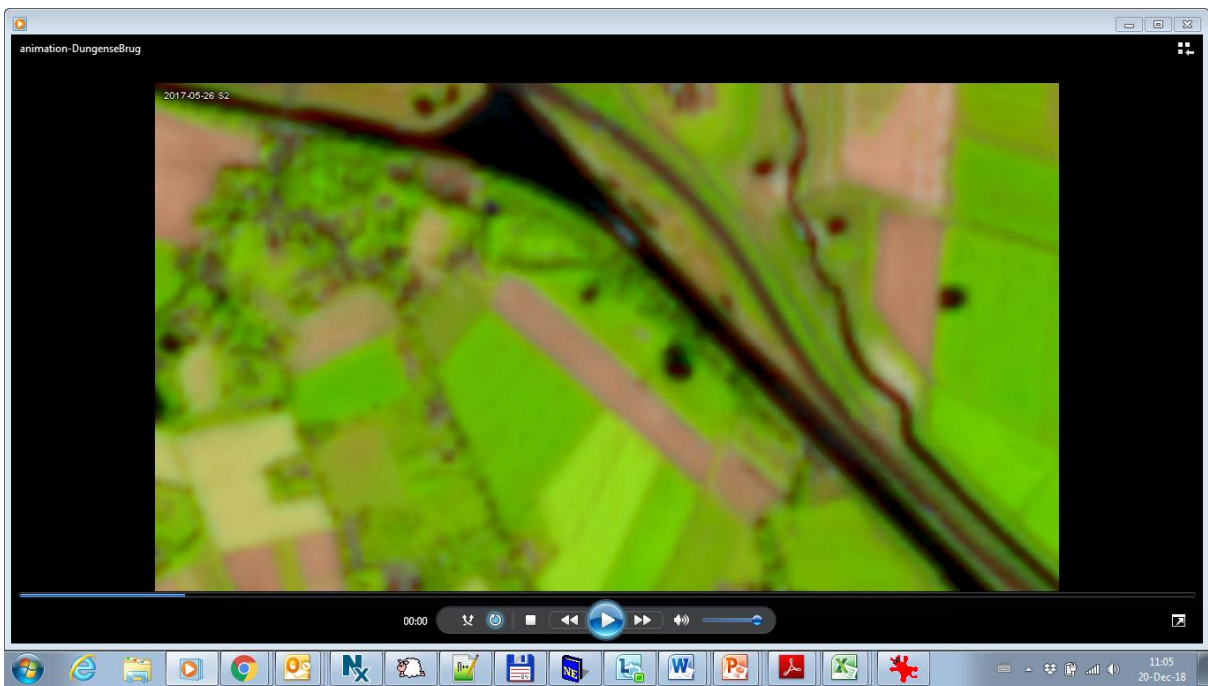
16 februari 2017



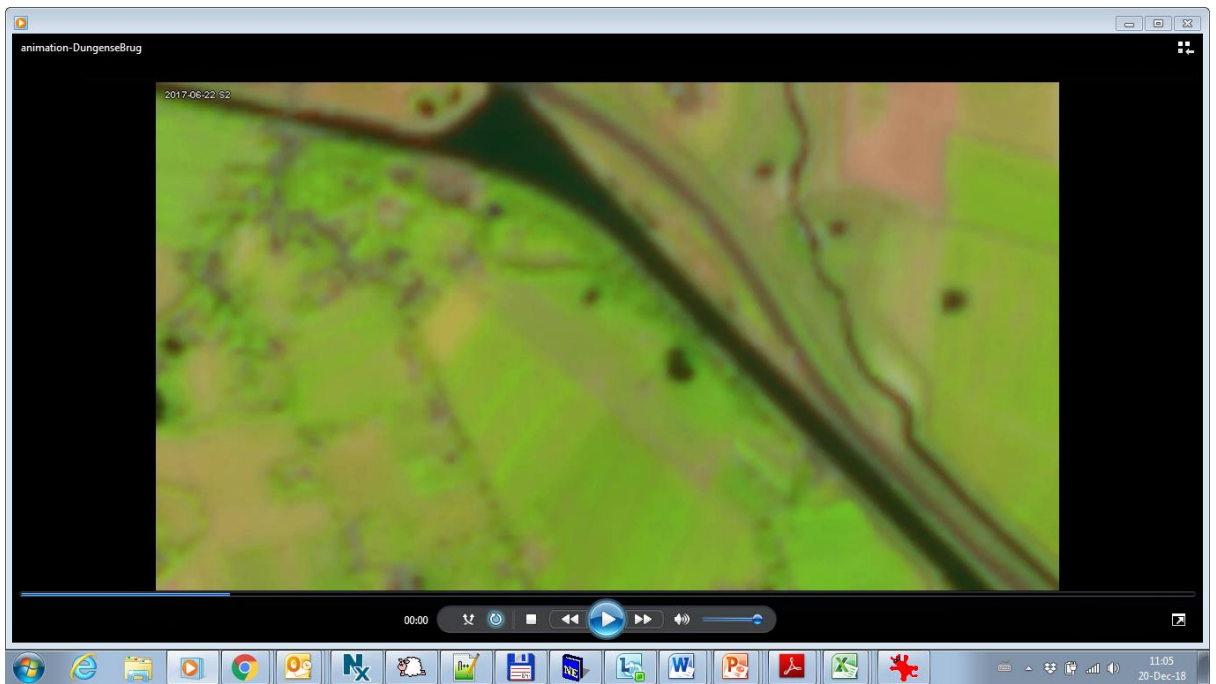
24 maart 2017



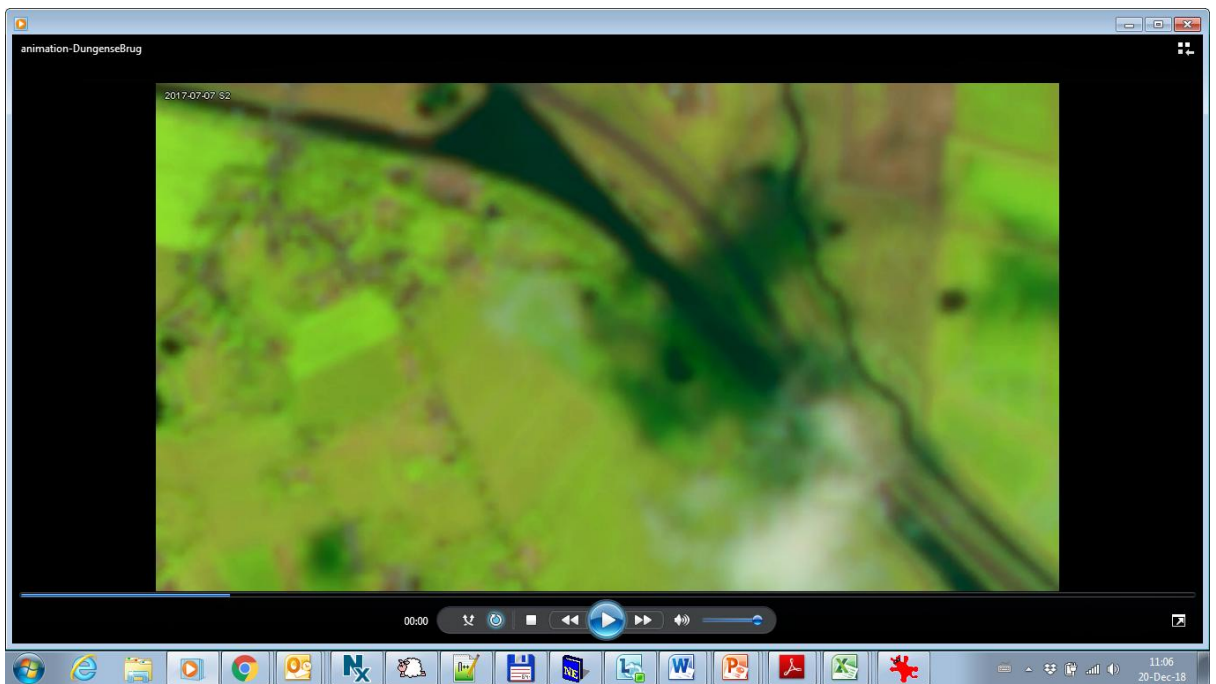
26 april 2017



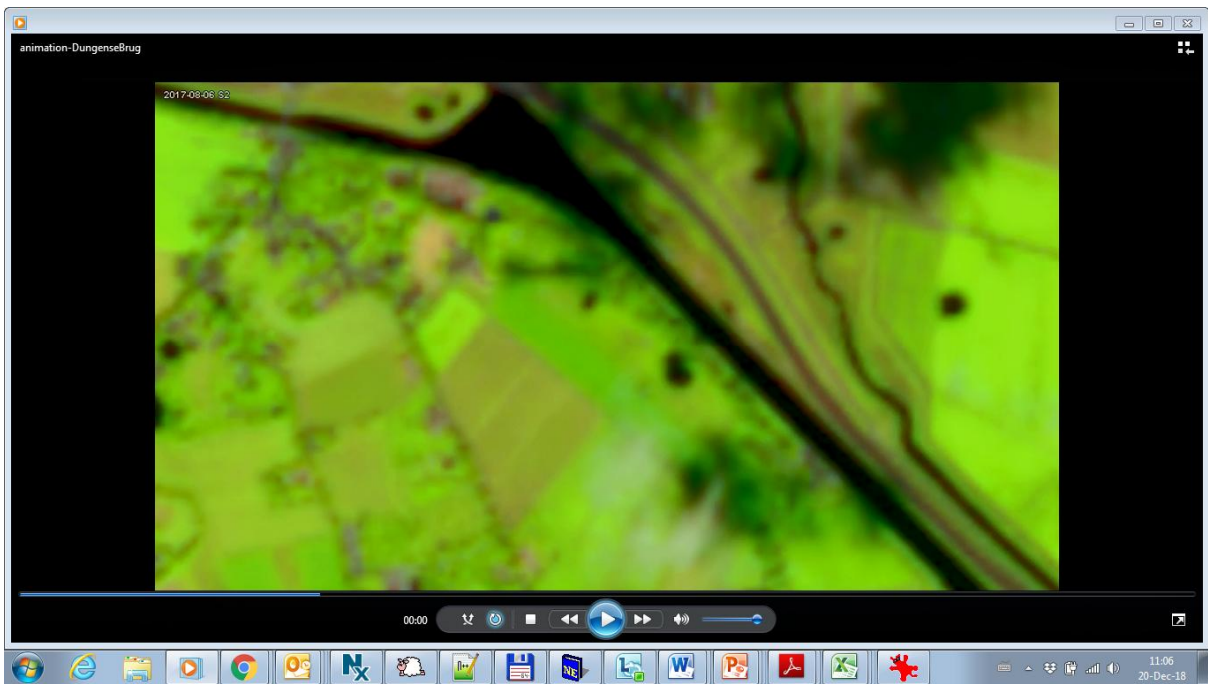
26 mei 2017



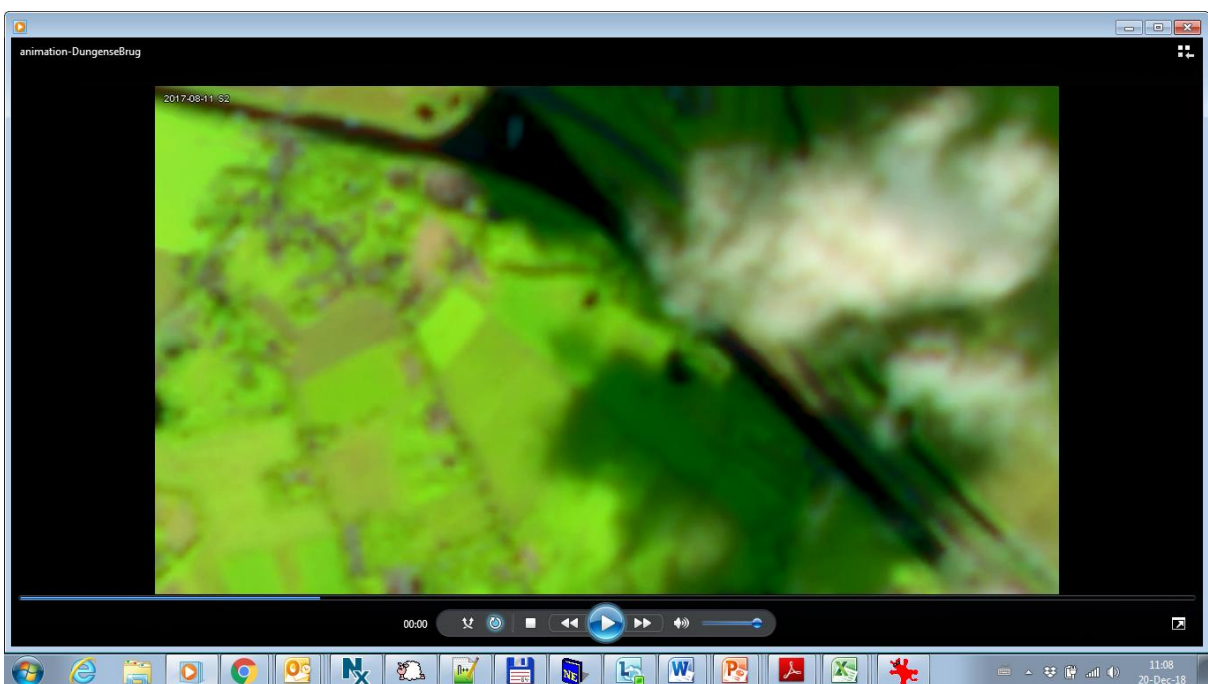
22 juni 2017



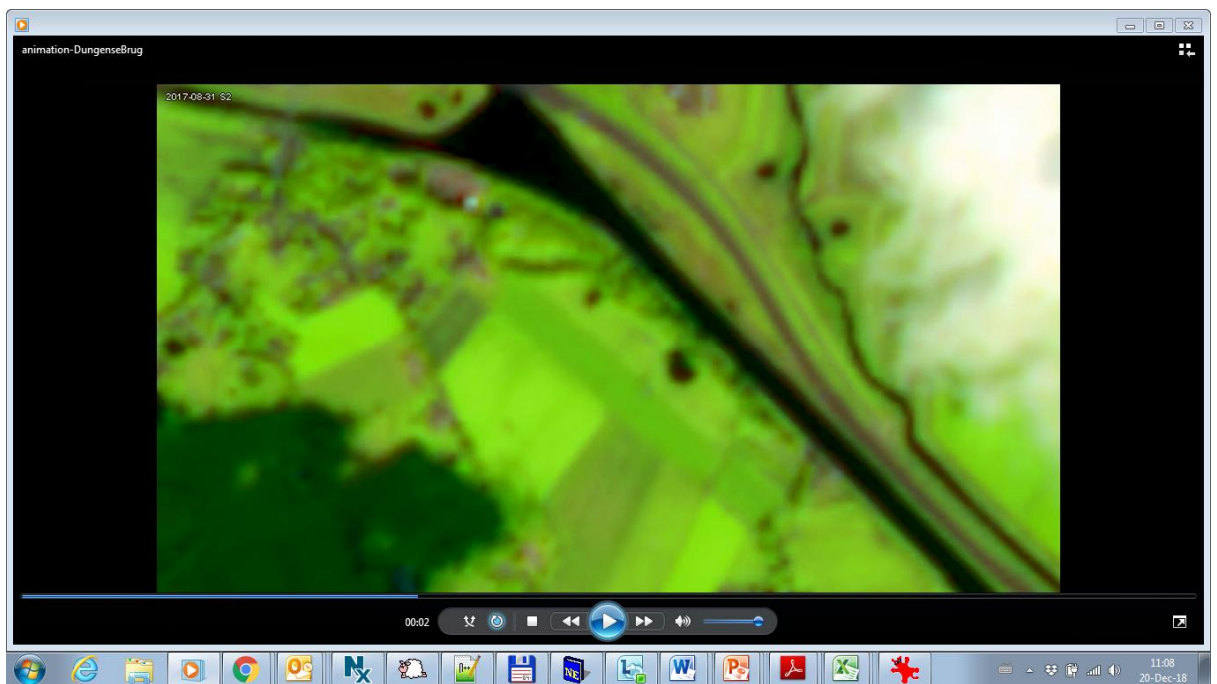
7 juli 2017



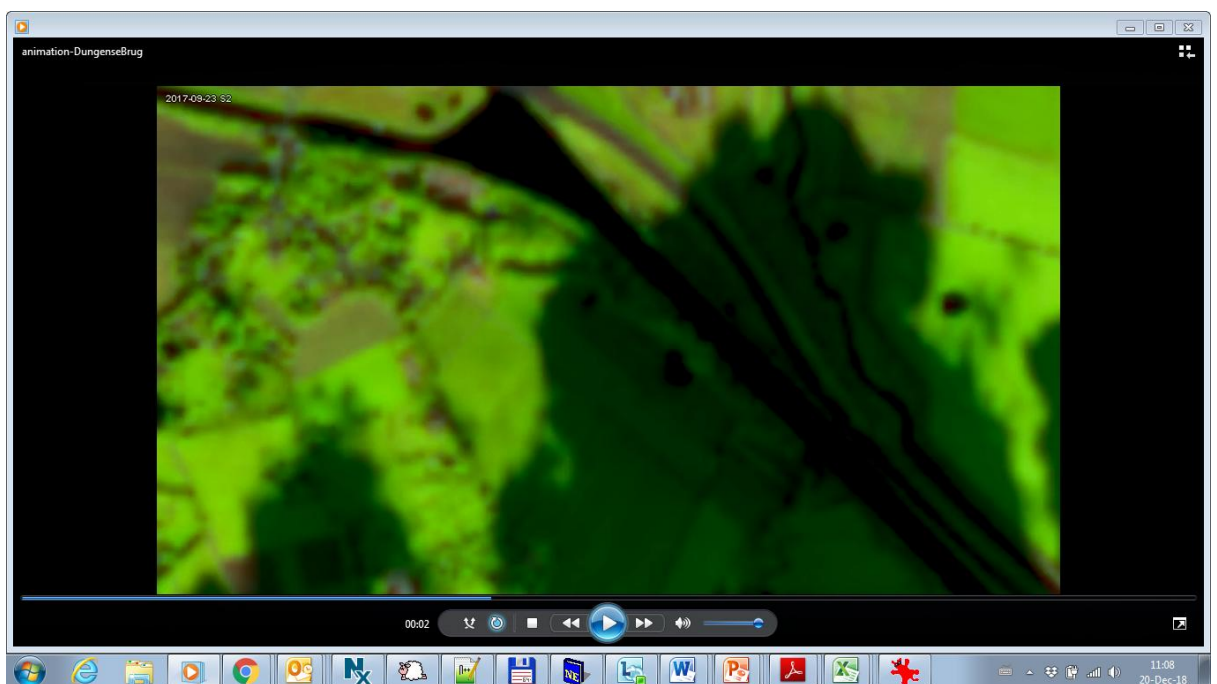
6 augustus 2017



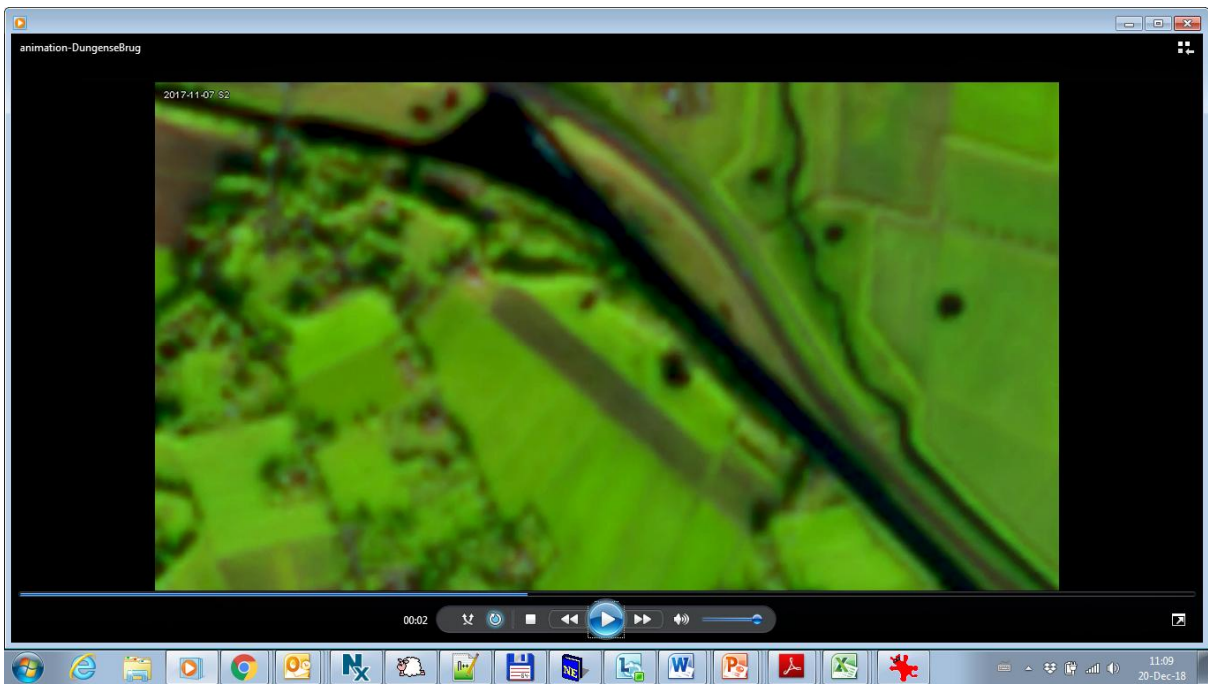
11 augustus 2017



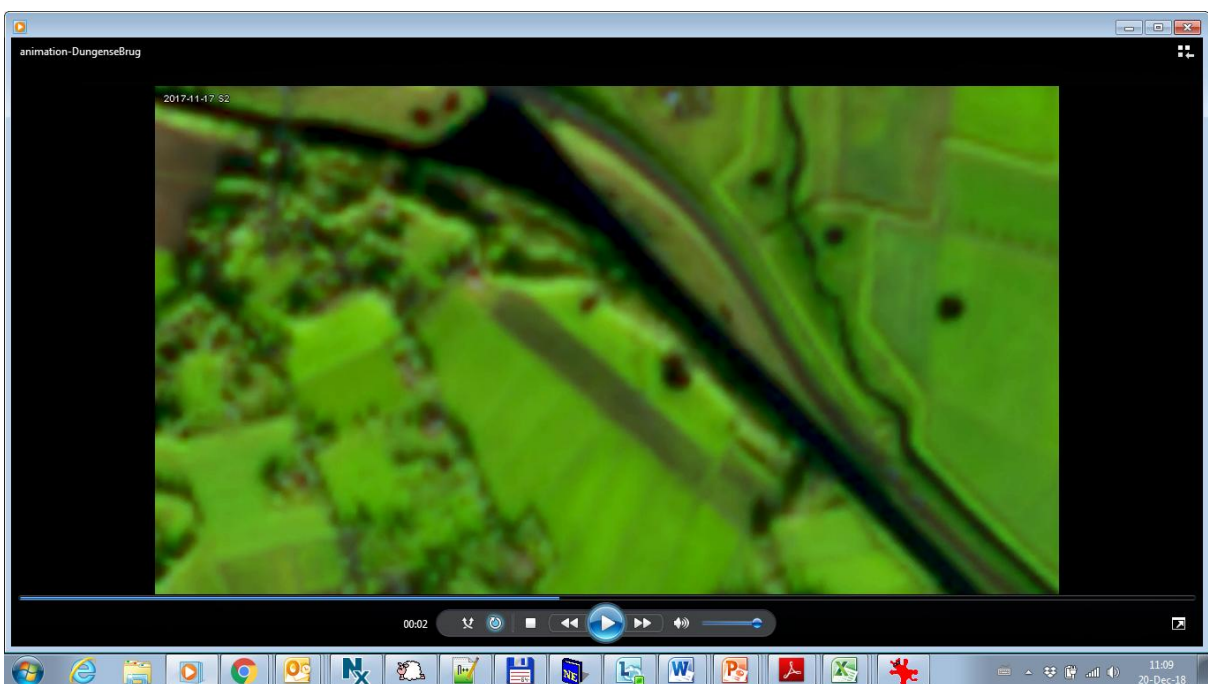
31 augustus 2017



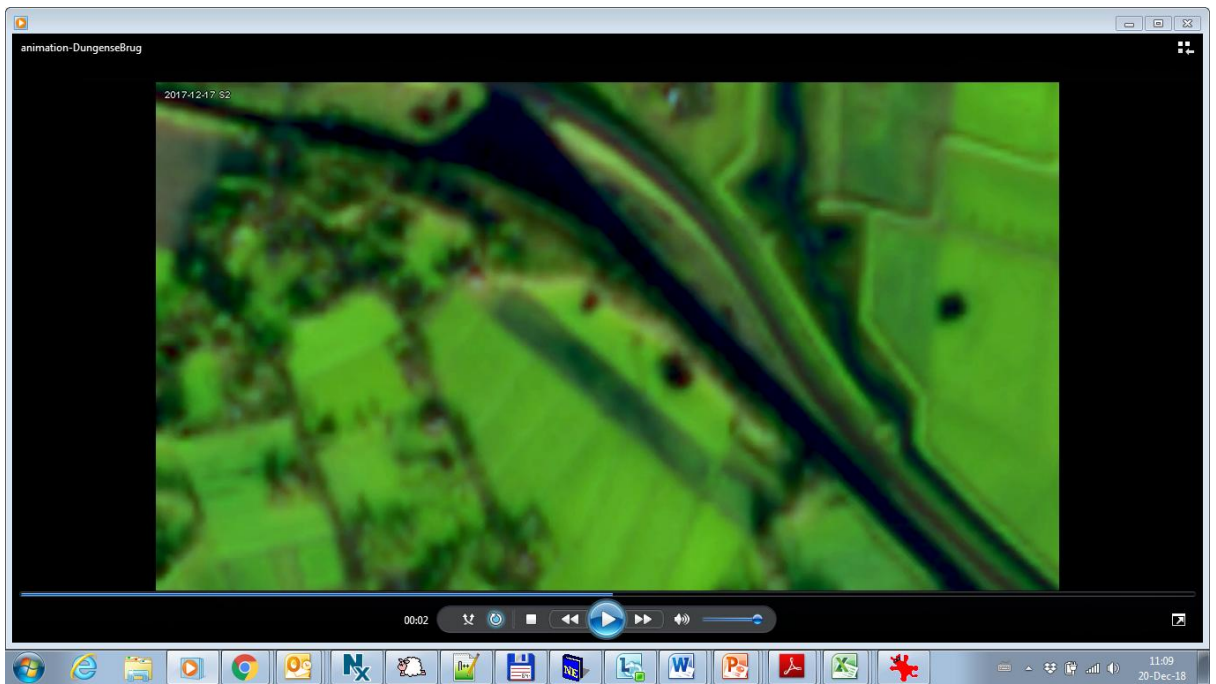
23 september 2017



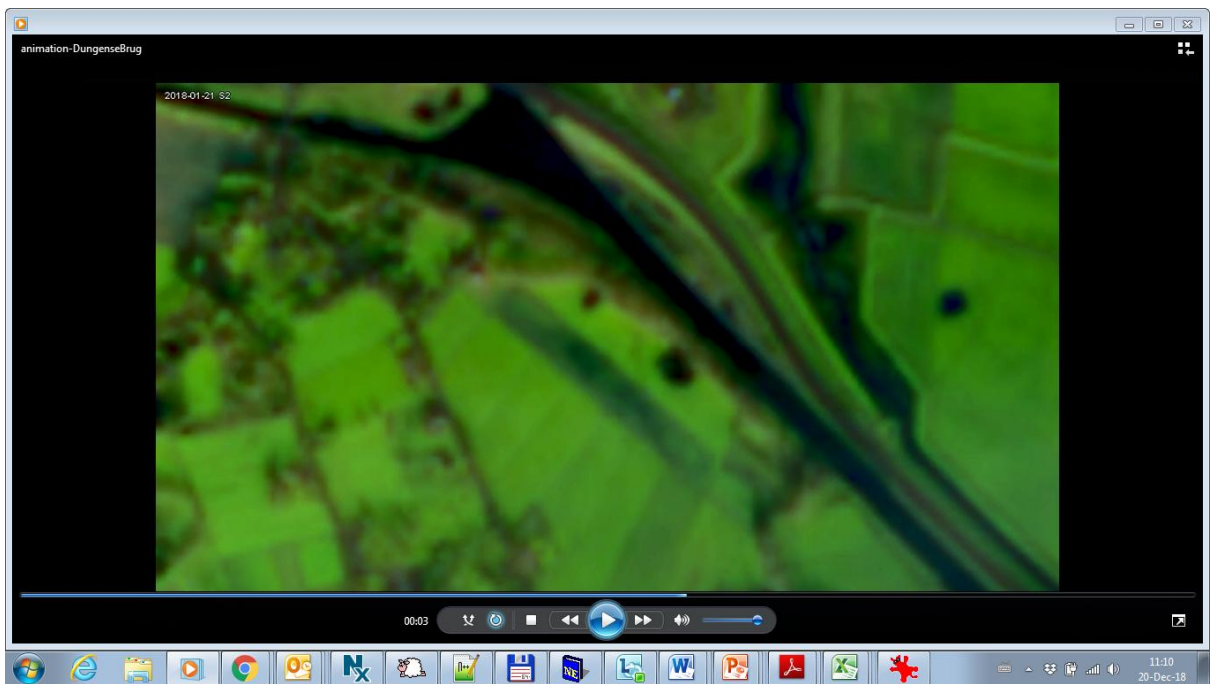
7 november 2017



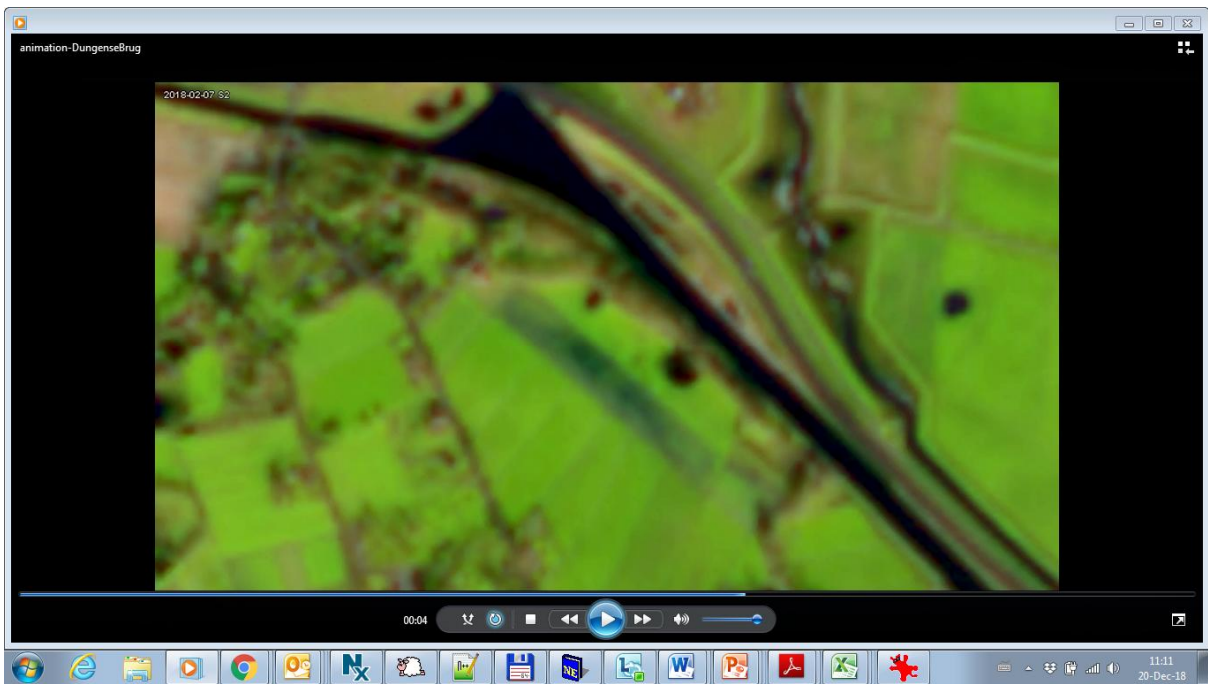
17 november 2017



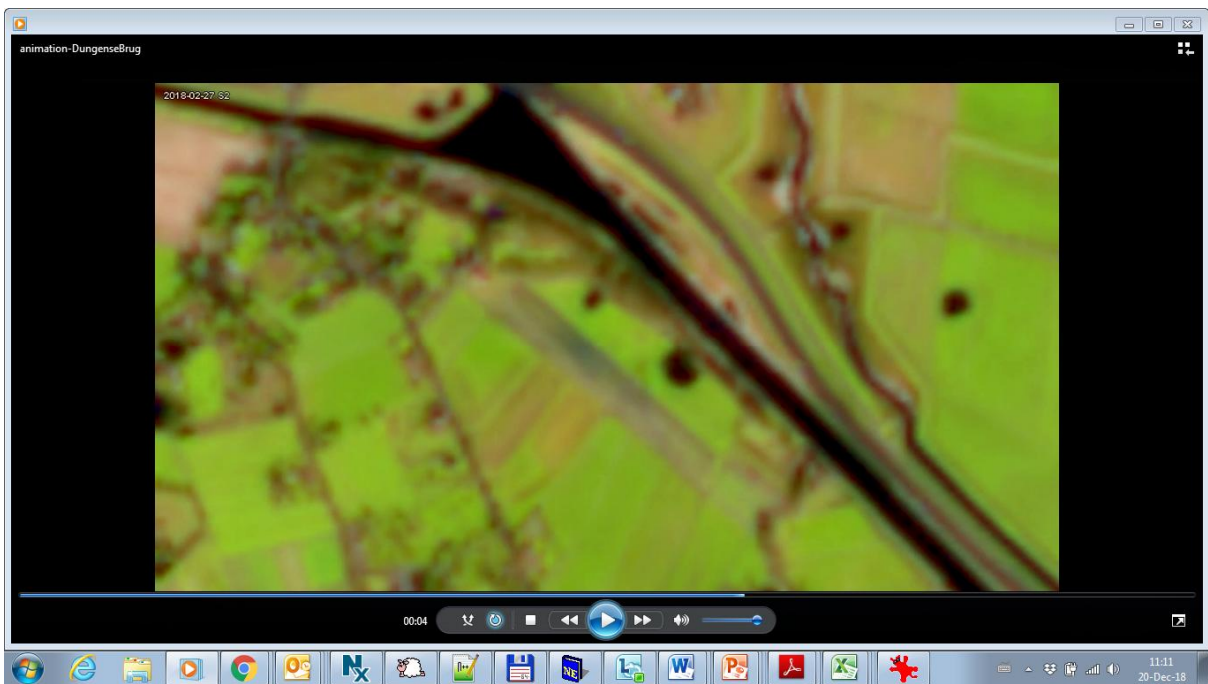
17 december 2017



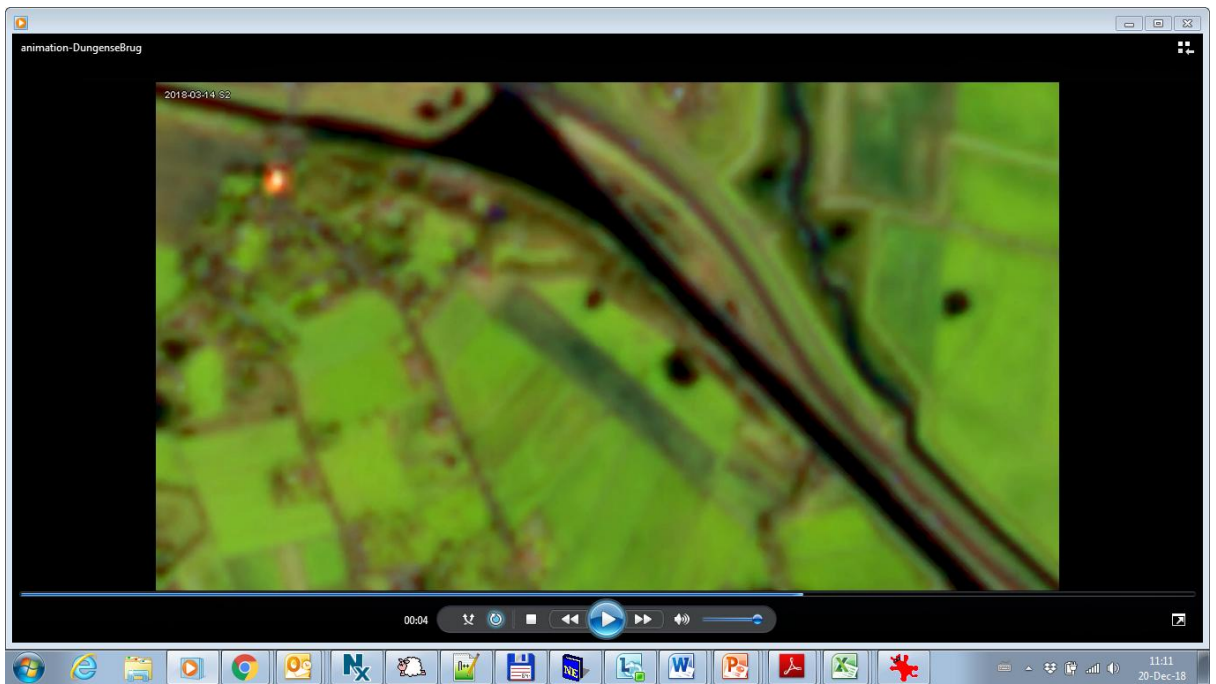
21 januari 2018



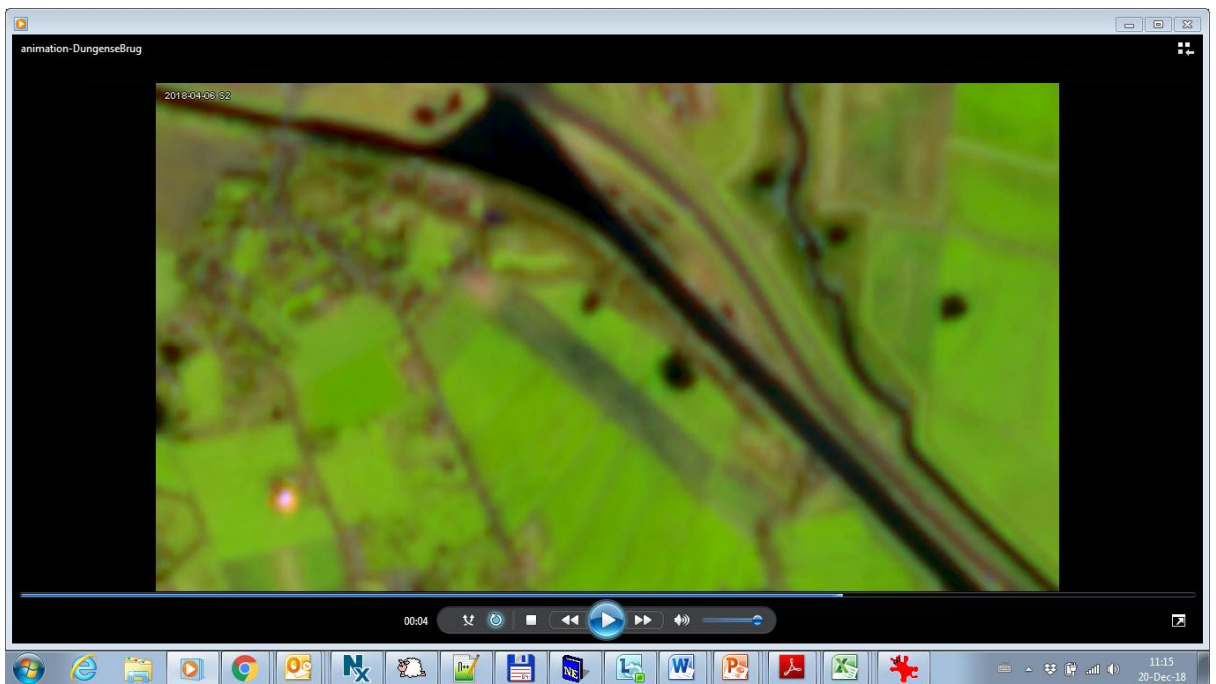
7 februari 2018



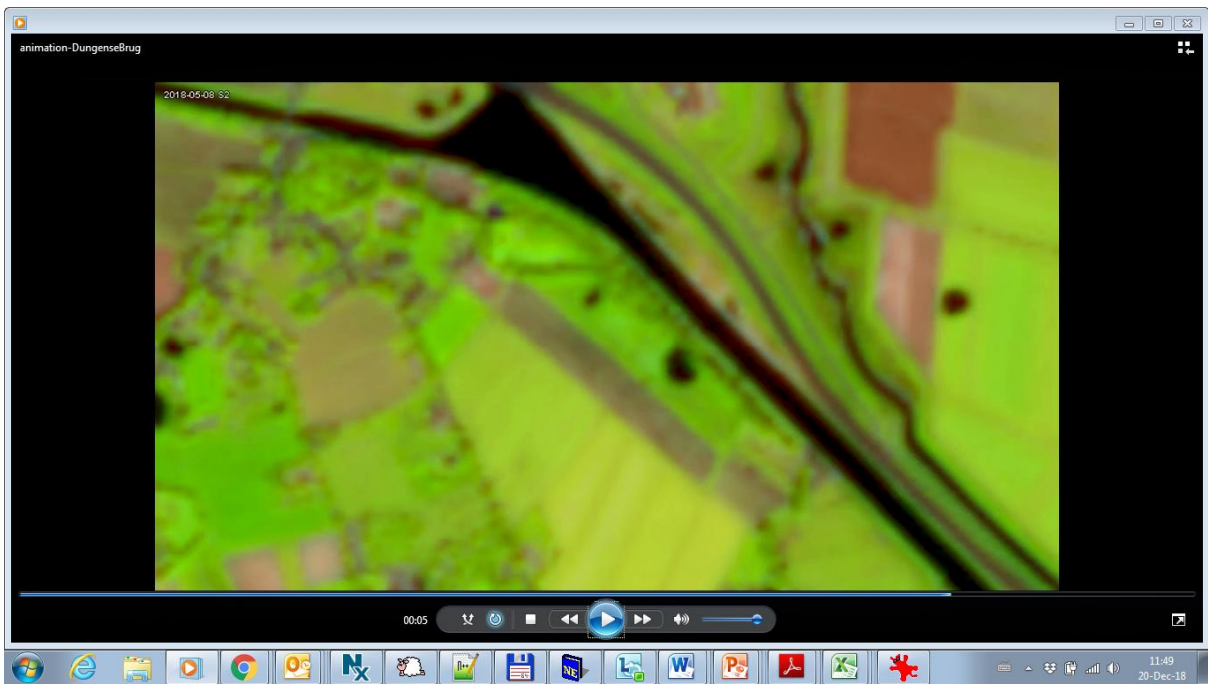
27 februari 2018



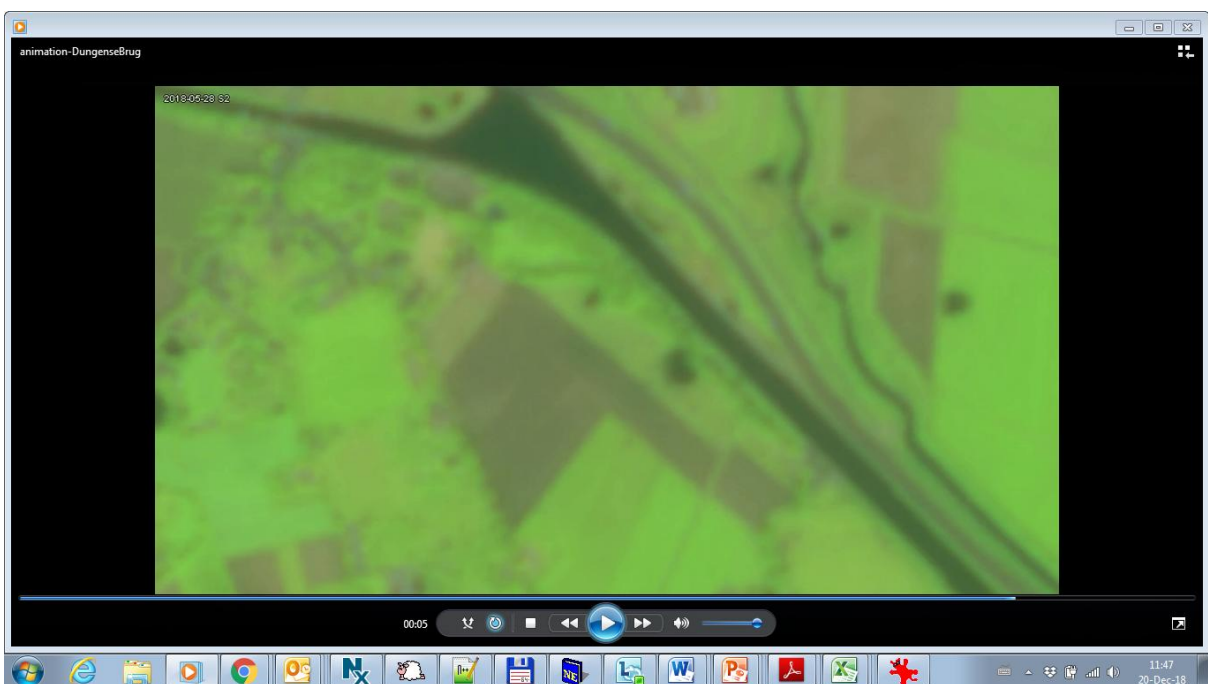
14 maart 2018



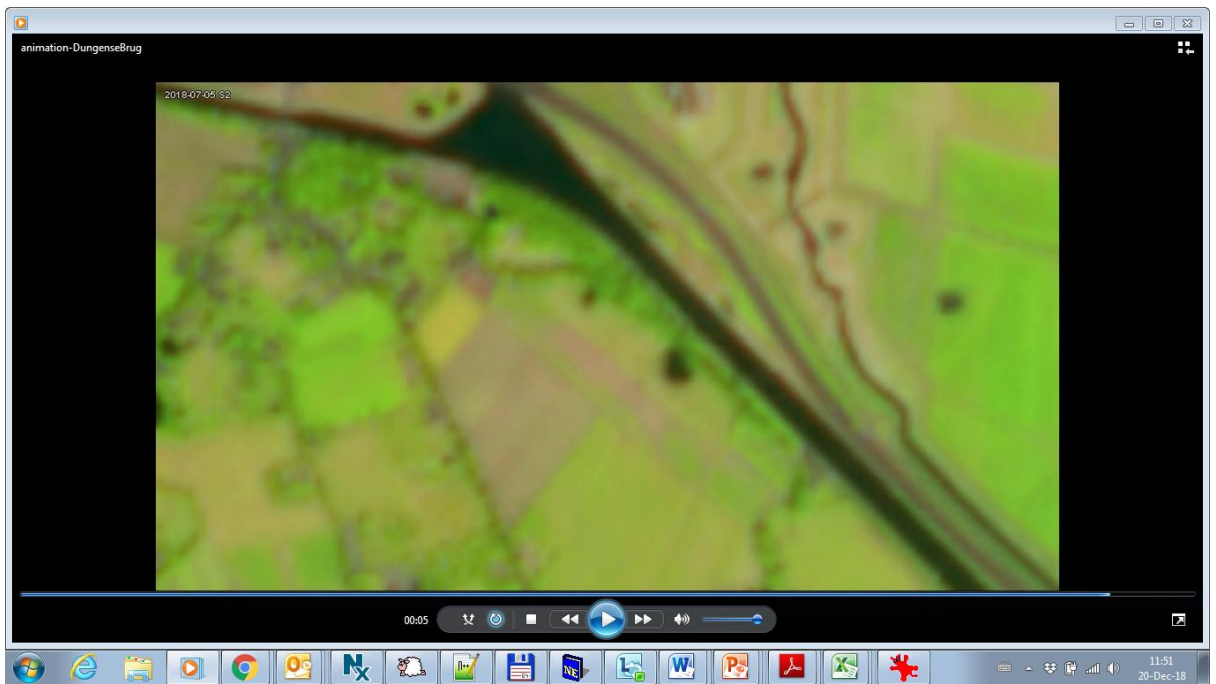
6 april 2018



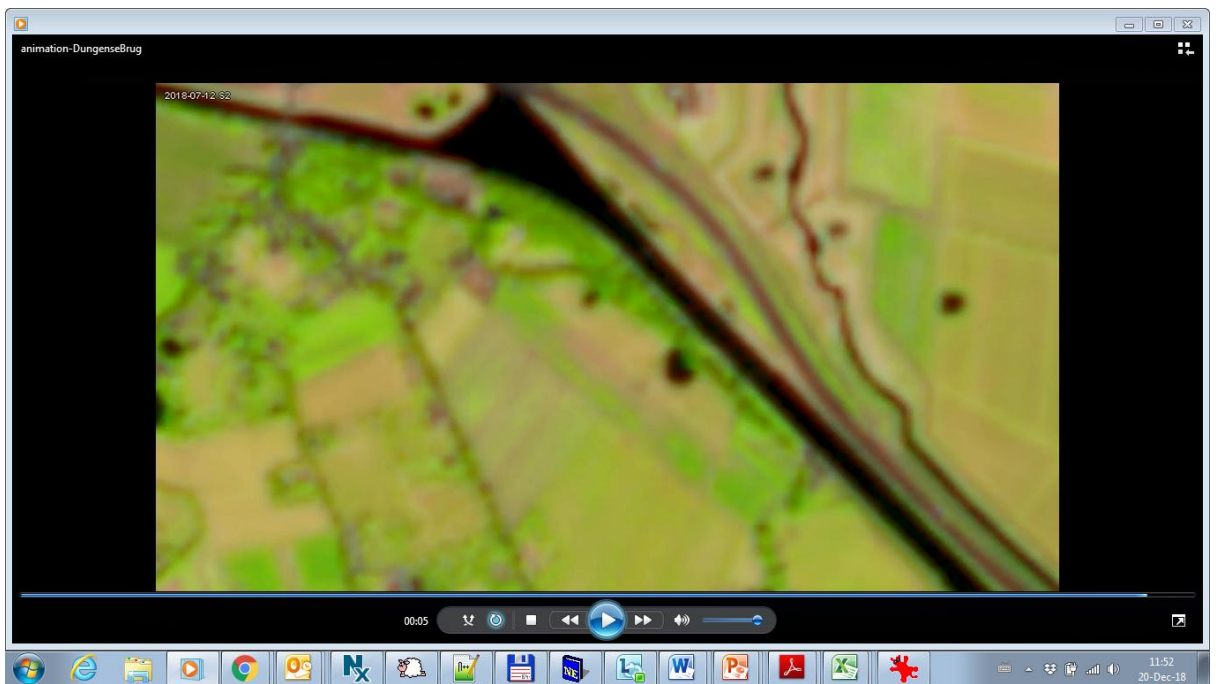
8 mei 2018



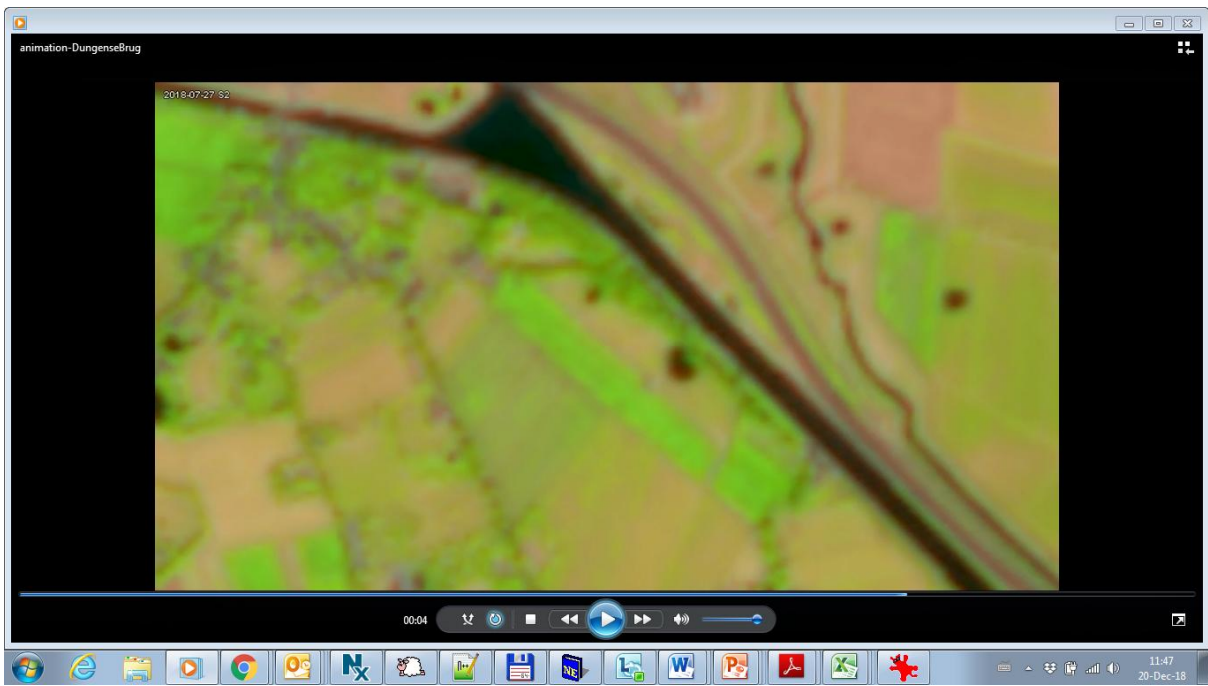
28 mei 2018



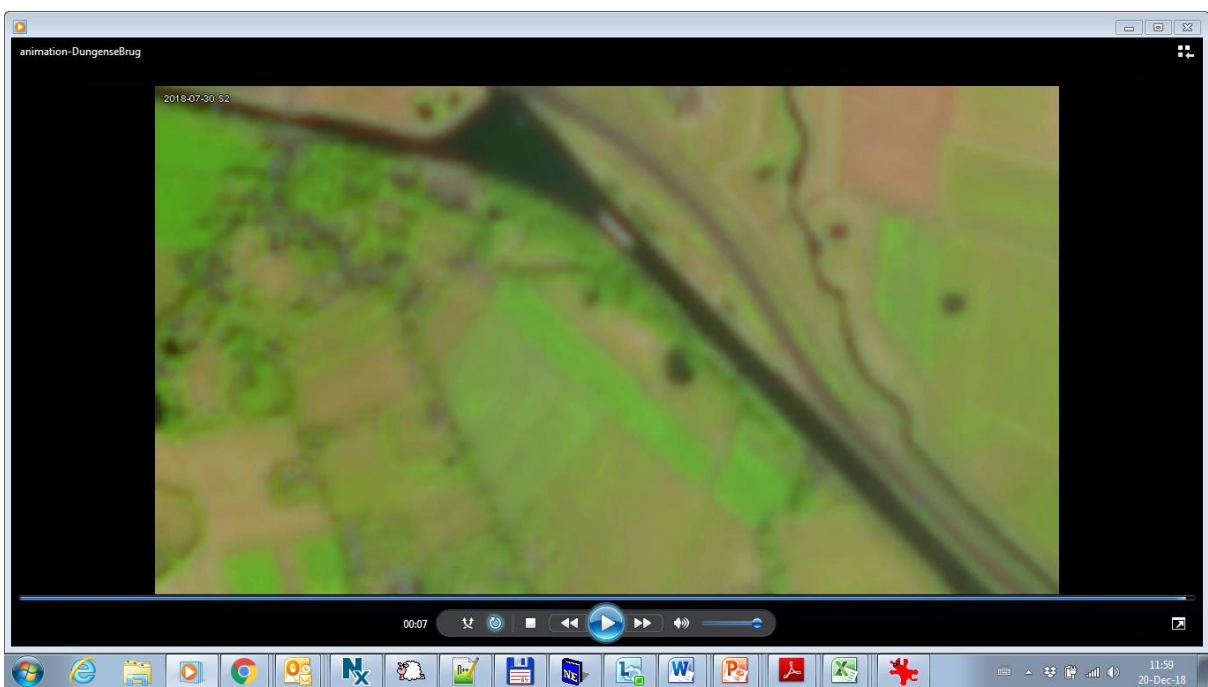
5 juli 2018



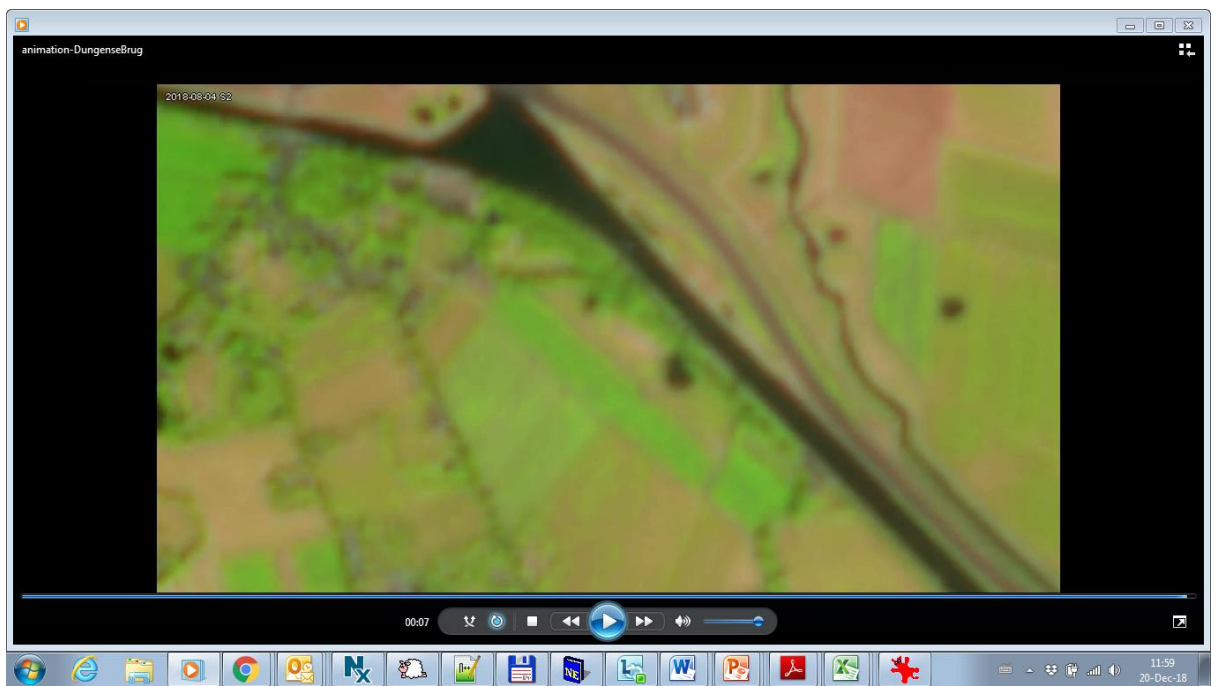
12 juli 2018



27 juli 2018

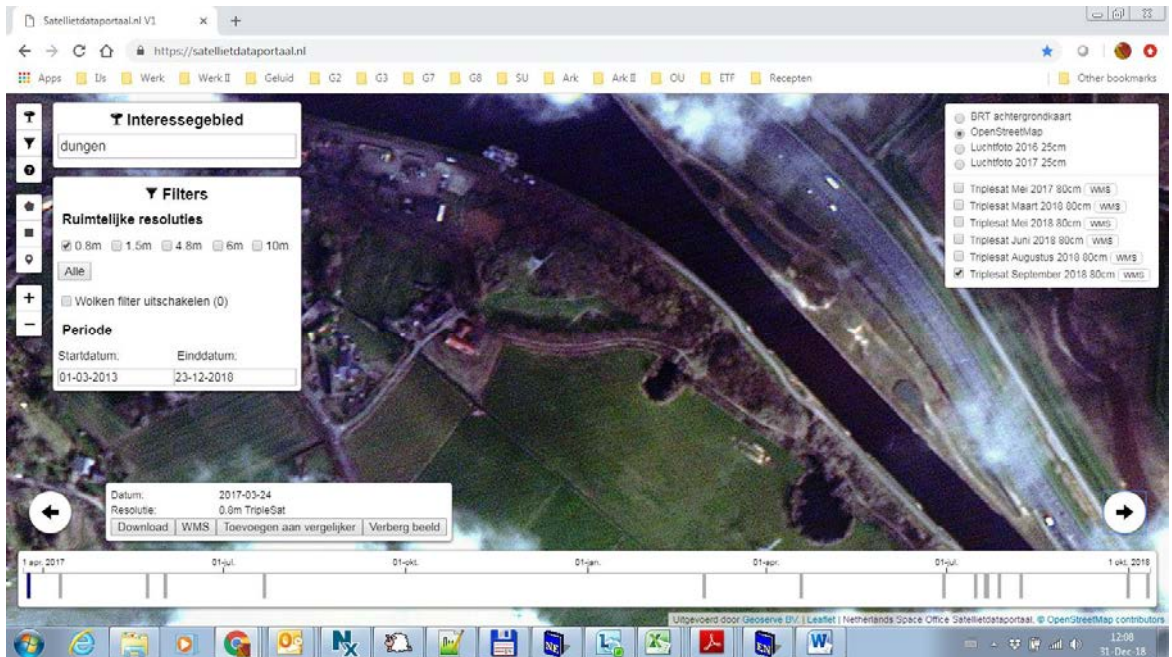


30 juli 2018

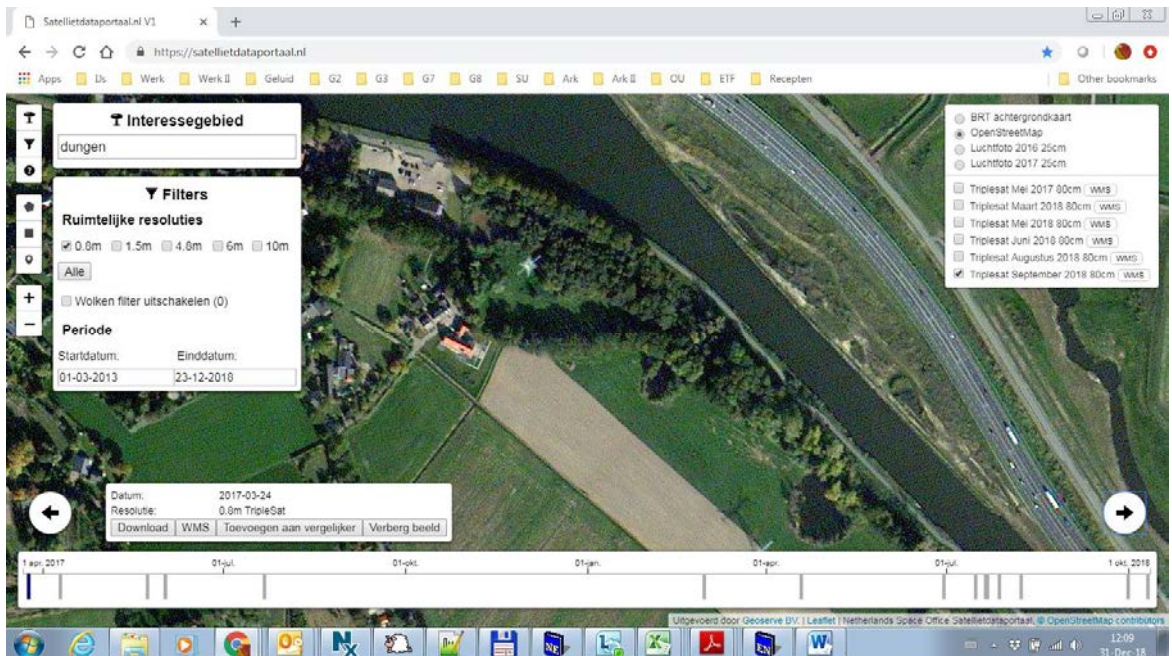


4 augustus 2018

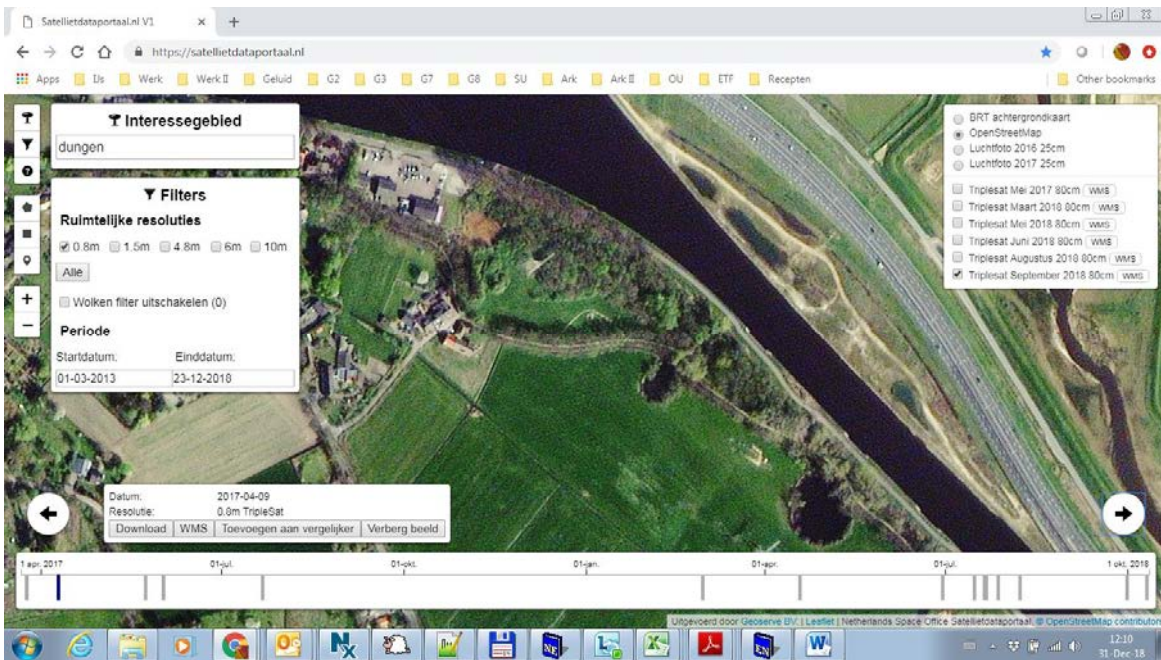
B Triplesat data van Dungense Brug



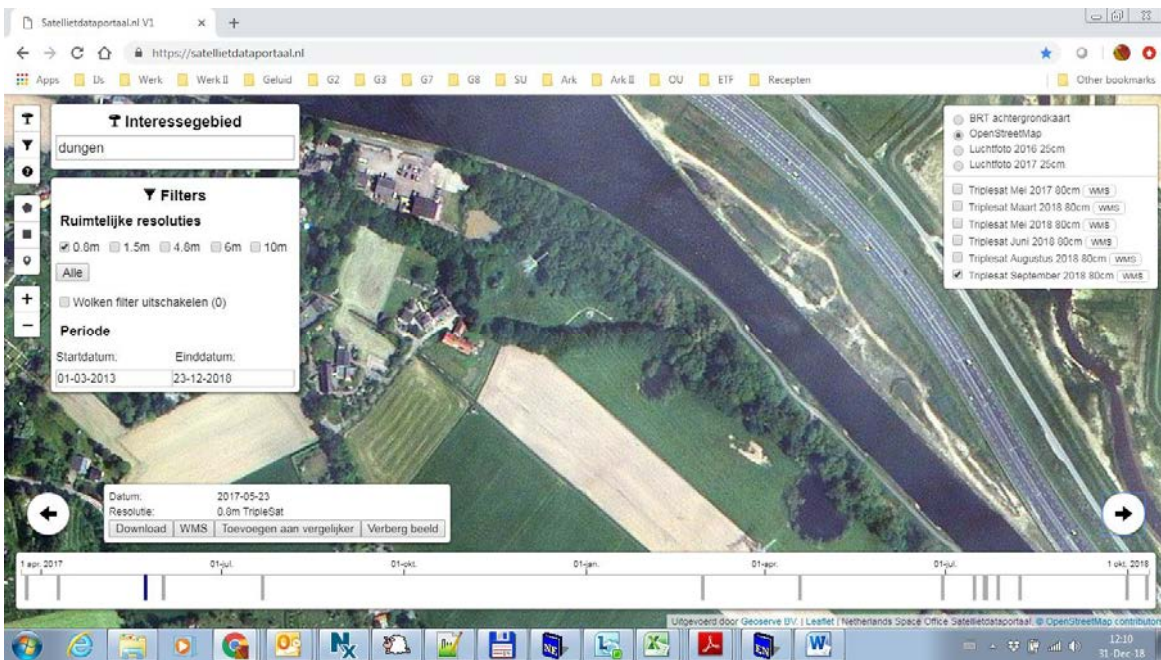
24 maart 2017



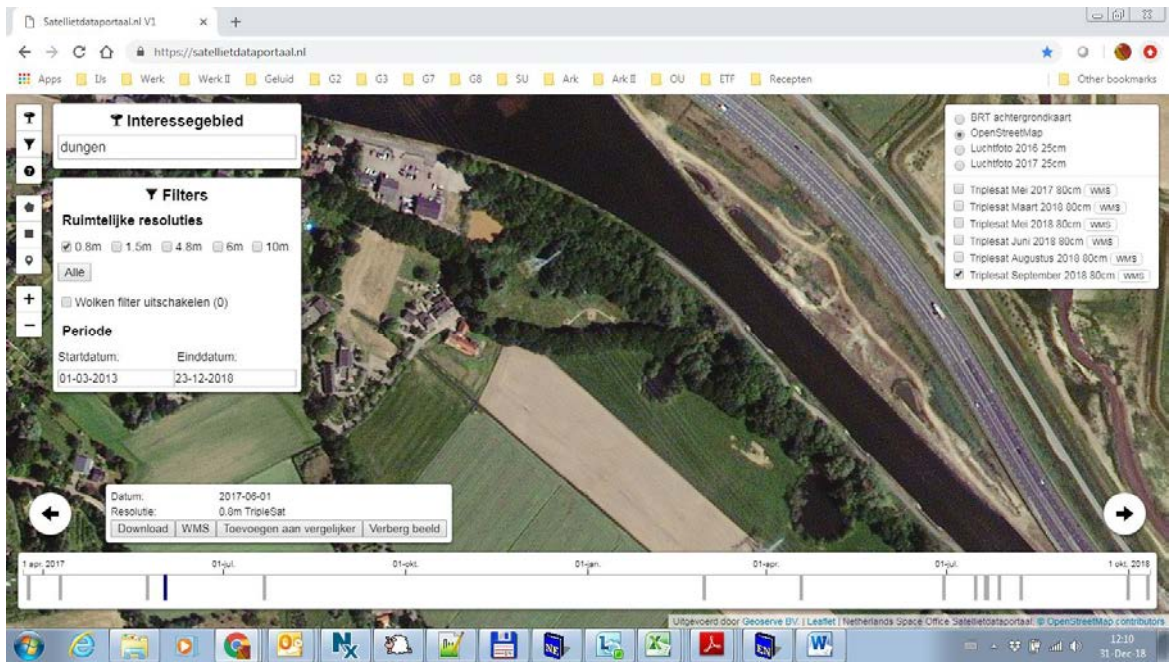
24 maart 2017 (2e beeld met dezelfde datum)



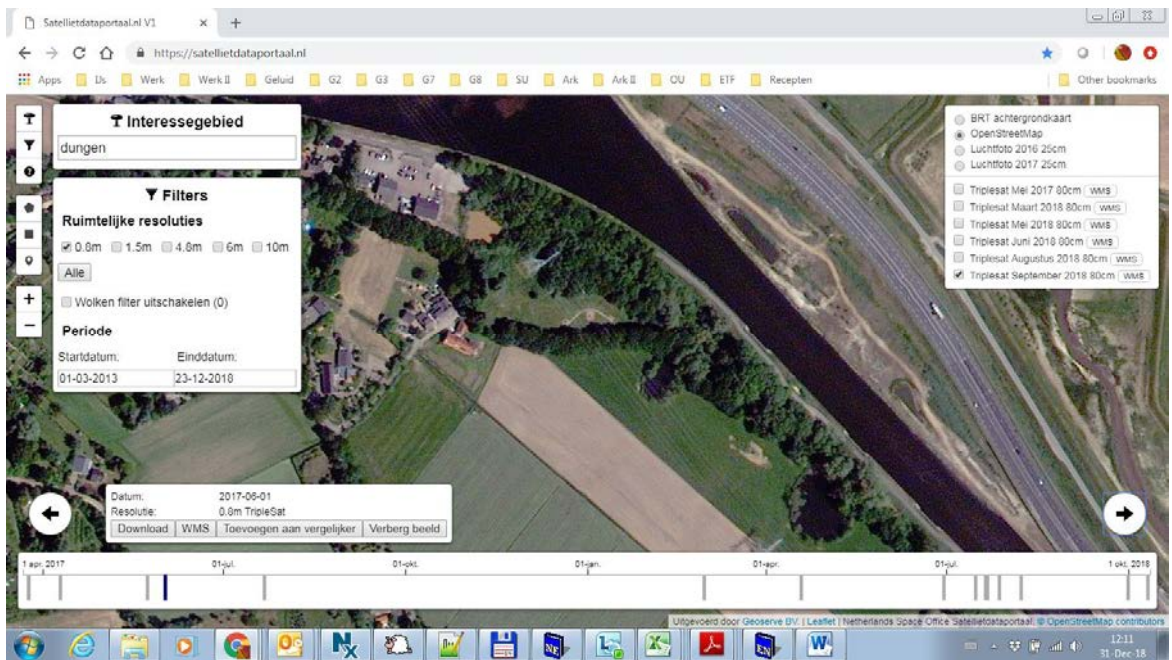
9 april 2017



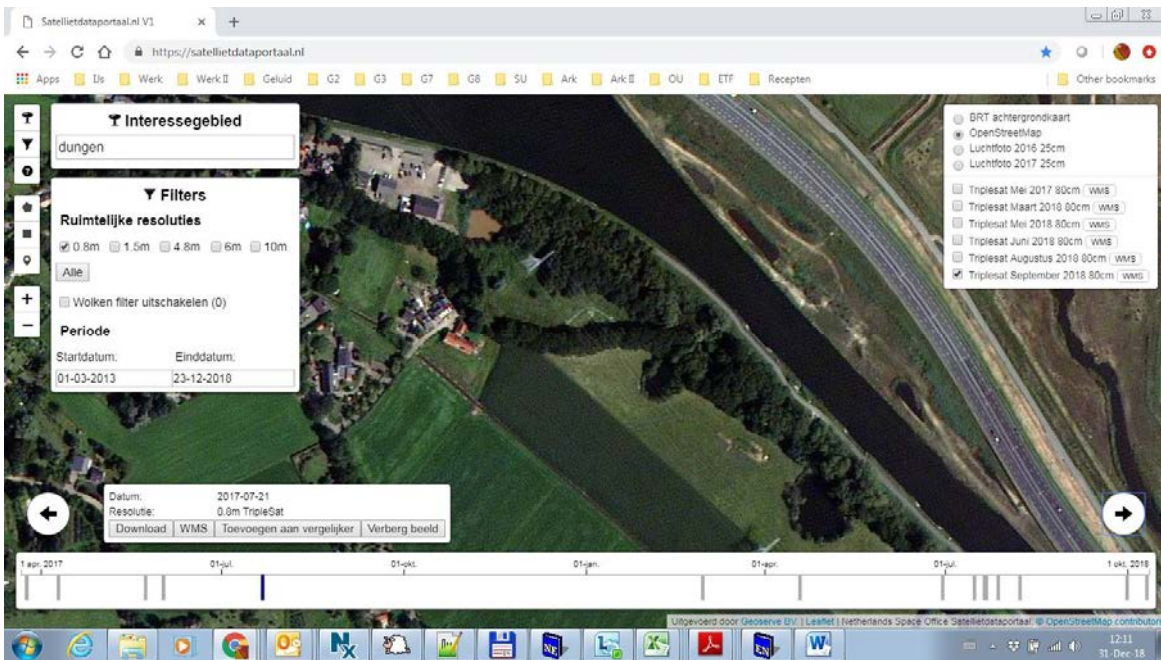
23 mei 2017



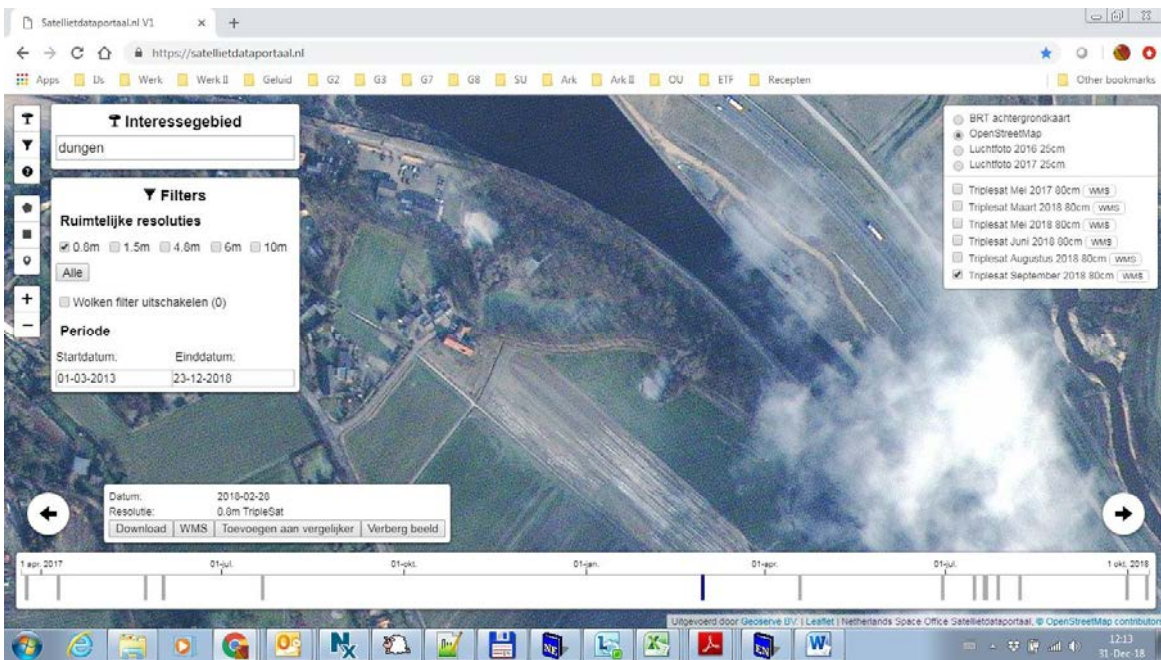
1 juni 2017



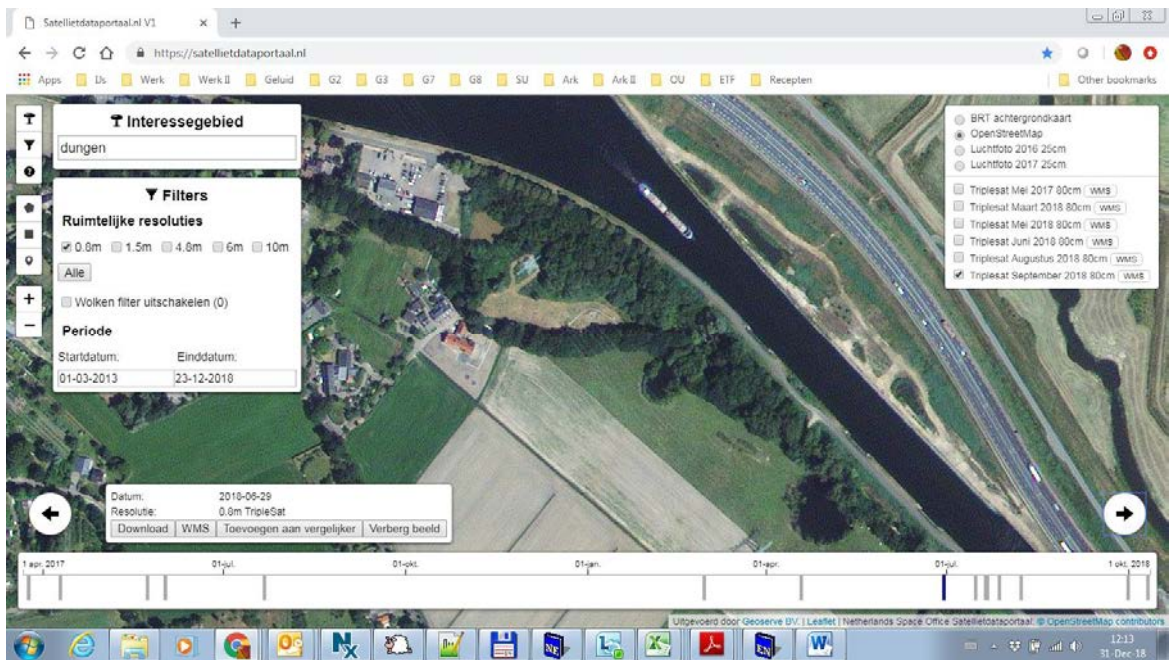
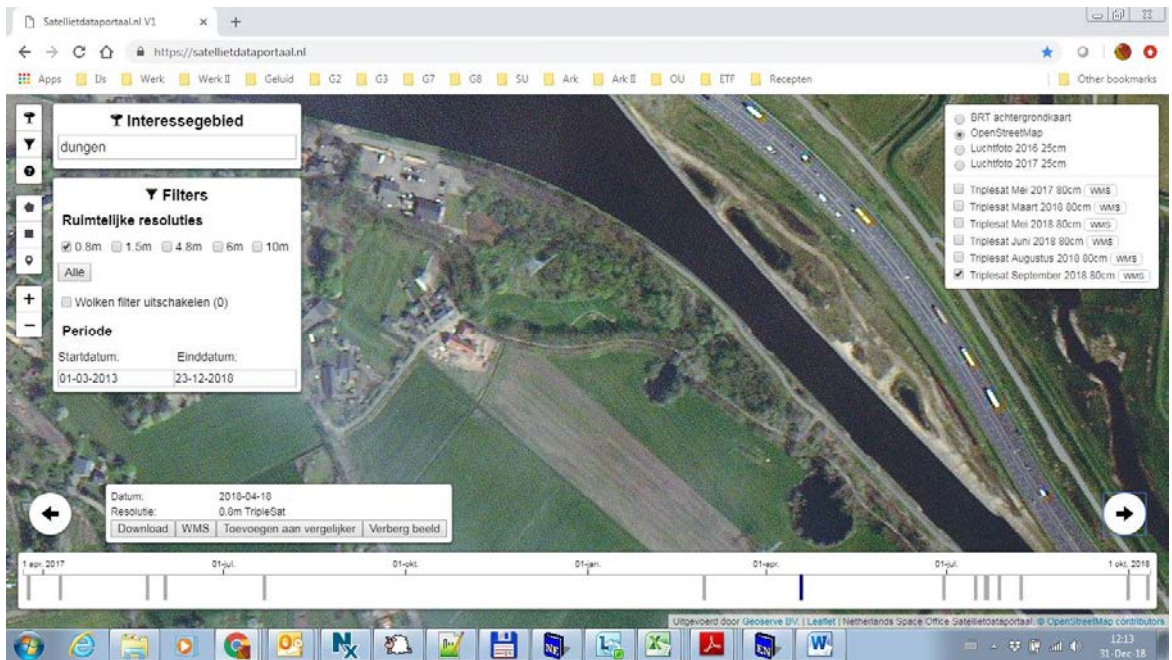
1 juni 2017

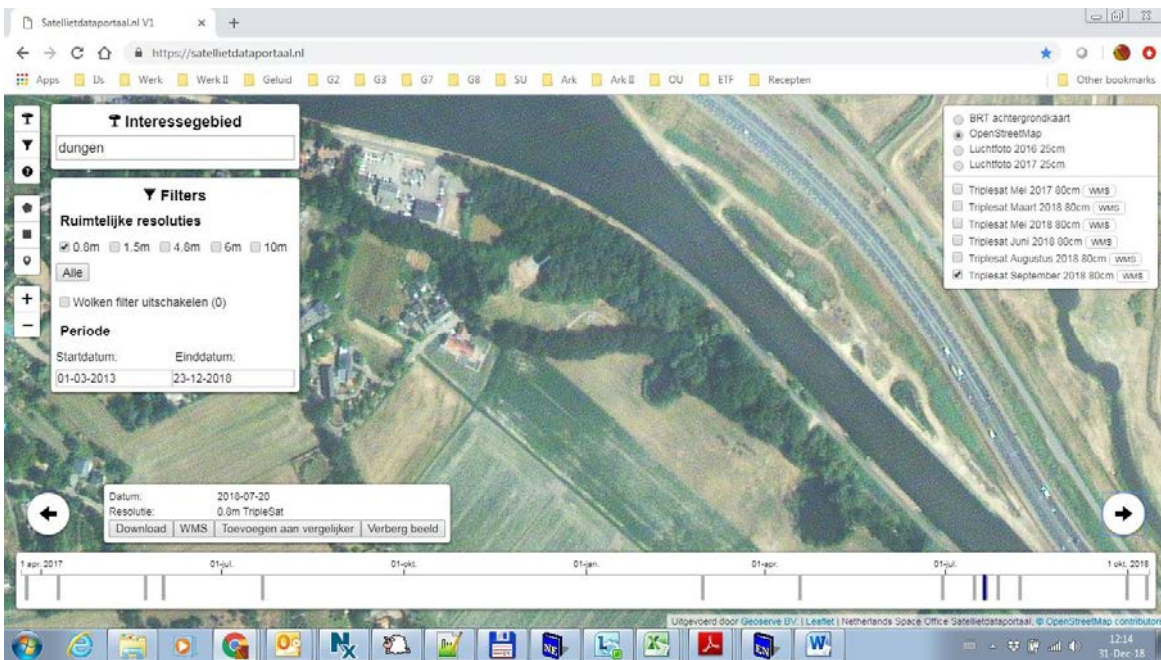
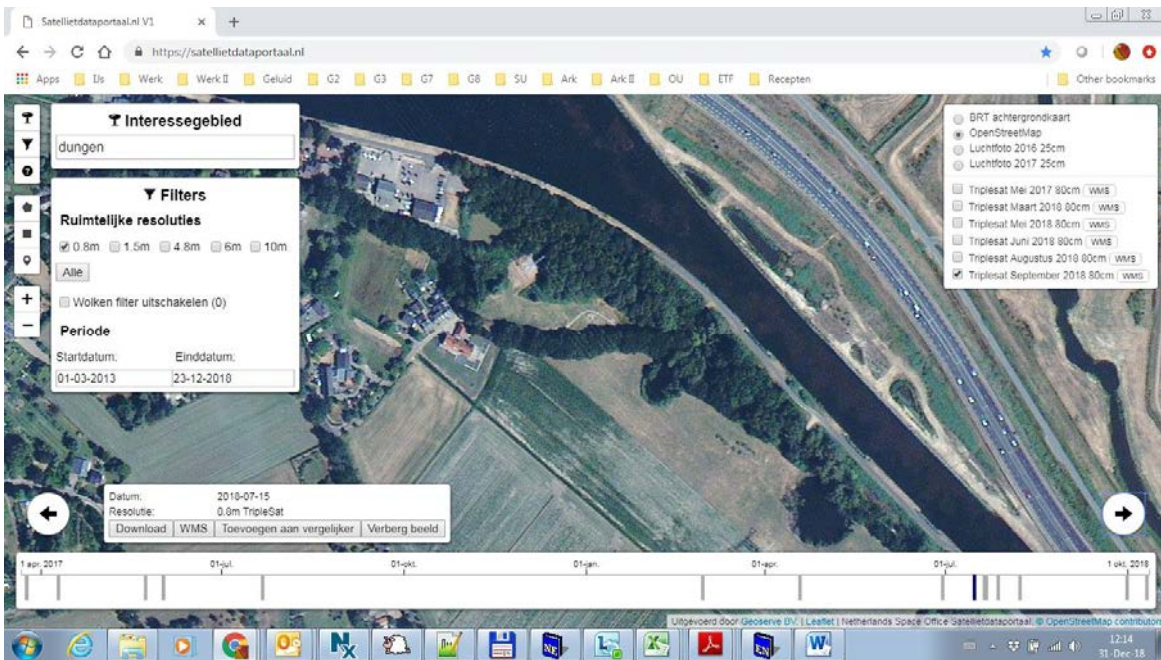


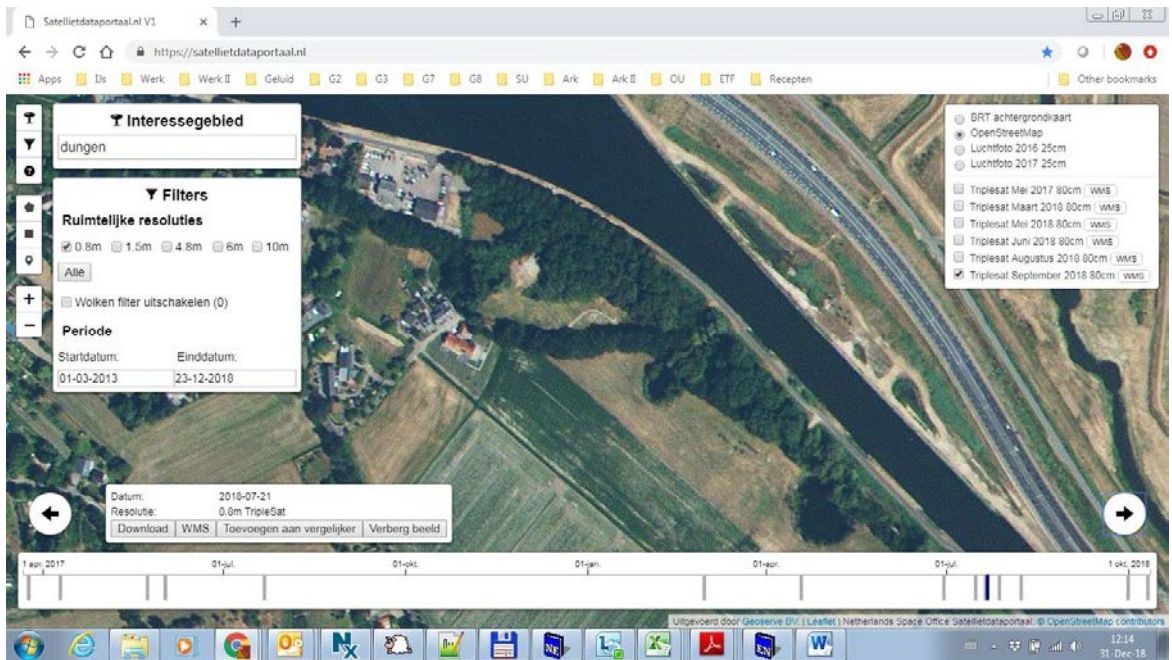
21 juli 2017



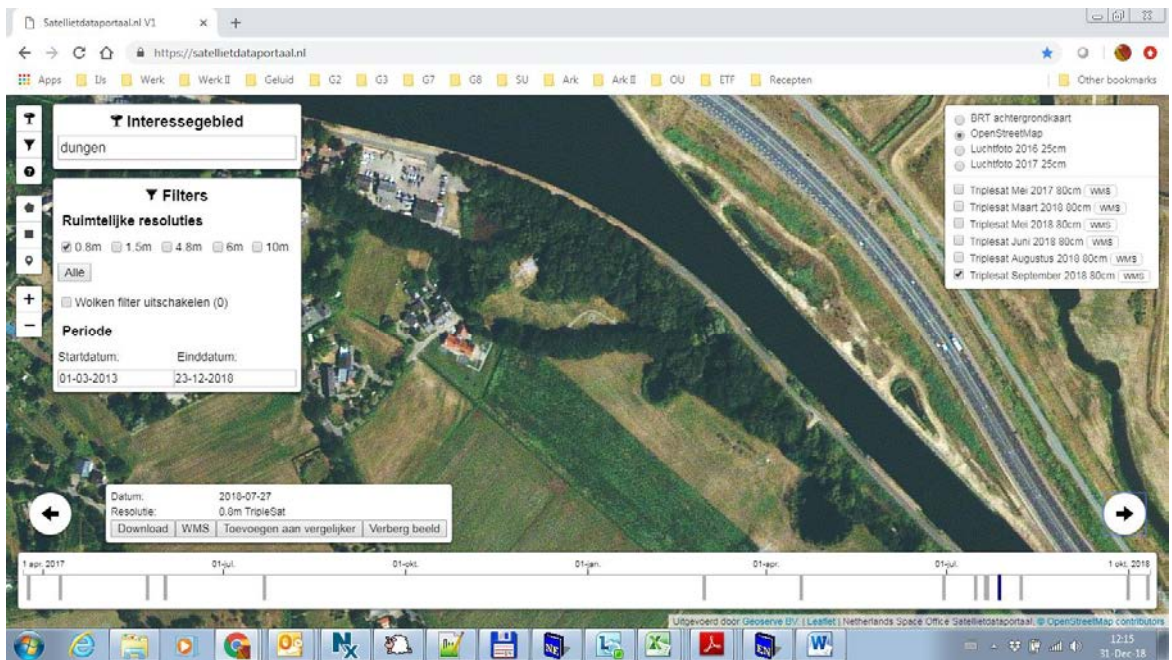
28 februari 2018



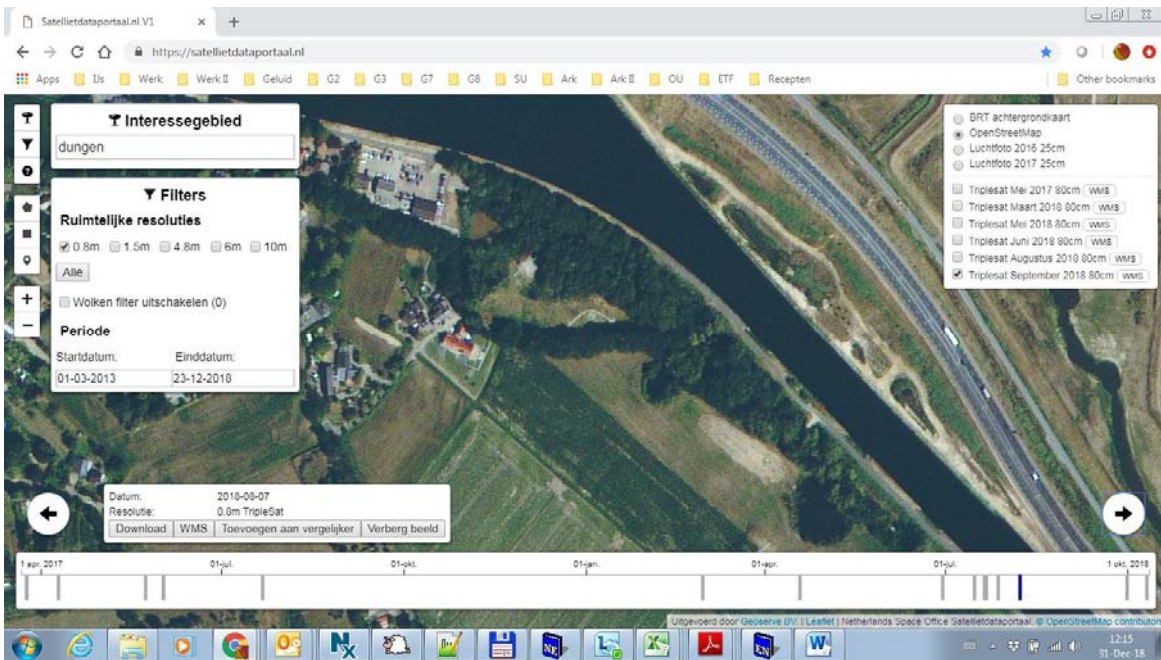




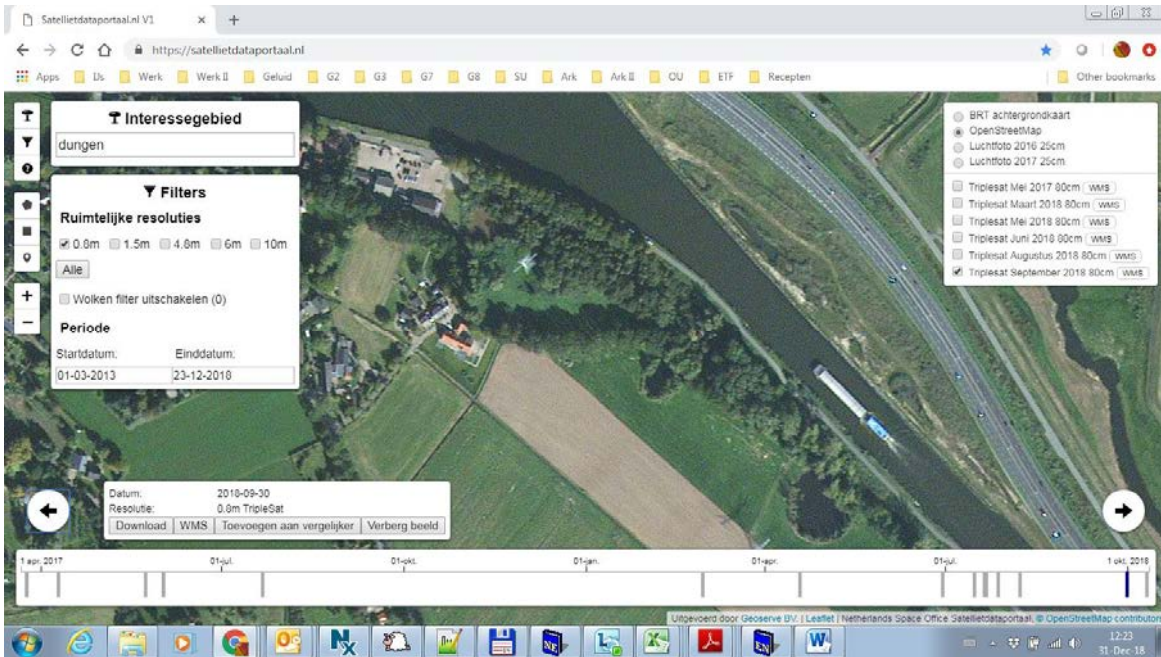
21 juli 2018



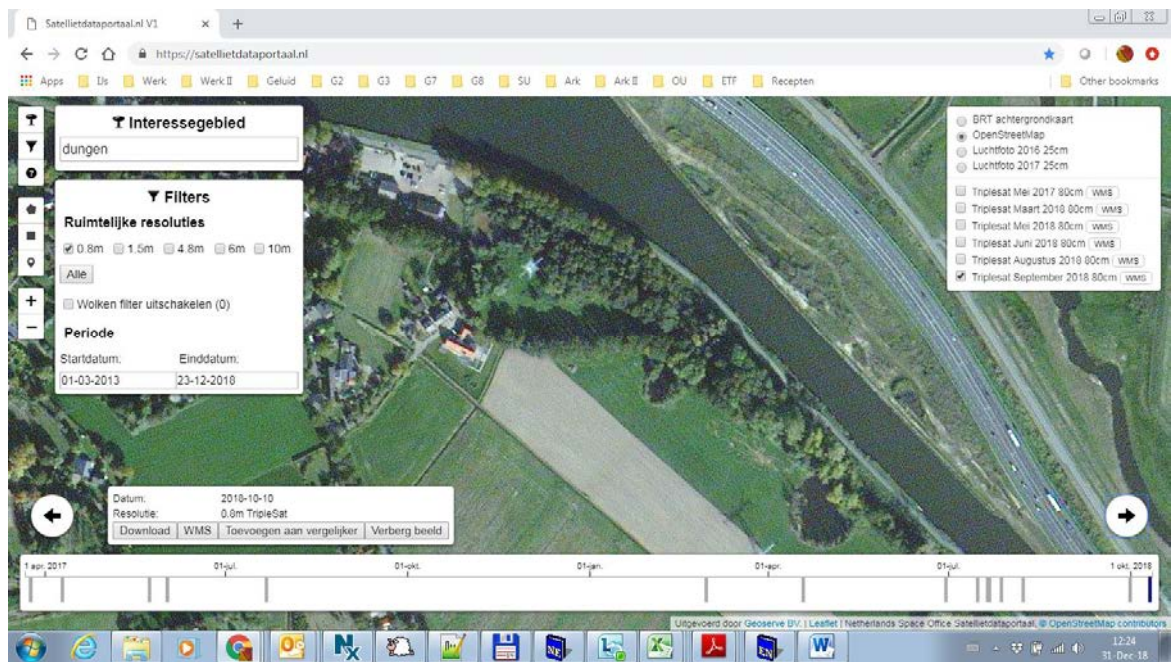
27 juli 2018



7 augustus 2018



30 september 2018



10 oktober 2018

C Triplesat data van Julianakanaal bij Echt



14 maart 2017



25 maart 2017



25 mei 2017



26 juli 2017



23 augustus 2017



25 september 2017



15 oktober 2017



28 februari 2018





29 juni 2018



16 juli 2018



20 juli 2018



7 augustus 2018



26 september 2018



30 september 2018

D CTW-verslag “Lekkage bij Tungelroysebeek Zuid-Willemsvaart ZZ”

Memo

Aan

Rijkswaterstaat, Jos Weijers (ZN) en Hans van Wanrooij (ZN)

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
11 september 2018	11202249-005-ZKS-0001	16
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Andre Koelewijn (CTW)	+31(0)6 5125 6463	Andre.Koelewijn@deltares.nl
Eric van Kuijk (CTW)	+31(0)6 5582 1029	Eric.van.Kuijk@rws.nl

Onderwerp

Lekkage bij Tungelroysebeek Zuid-Willemsvaart ZZ

1. Samenvatting

Op 28 augustus 2018 is via Waterschap Limburg een melding bij Rijkswaterstaat binnengekomen van kwel in het talud van de Zuid-Willemsvaart (zuidzijde), nabij de kruising met de Tungelroyse beek. Hiervoor is het calamiteitenteam Waterkeringen (CTW) ingeschakeld.

Op 29 augustus heeft een inspectie plaatsgevonden door het CTW. Er is uittredend kwelwater geconstateerd op één specifieke locatie halverwege het talud, naar schatting 5 tot 10 meter vanaf de duiker en met vernatting van het onderliggende talud richting de duiker tot gevolg. Mogelijk zijn er meer uitstroompunten, maar ondanks de droogte was dat niet onomstotelijk vast te stellen. Als voorlopige maatregel is de dag erna de berm met een stalen barriër afgesloten. Uitgaande van de passage van zware transporten zonder scheurvorming (wijzend op aanstaand falen door gebrek aan stabiliteit van het dijklichaam ten gevolge van de verhoogde waterdrukken onder het talud) is de verwachting dat op basis van bewezen sterkte hiermee vooralsnog geen gevaarlijke situaties zullen optreden.

Uit naderhand verkregen informatie is gebleken dat de kwel optreedt ter plaatse van een in 2009/2010 afgesloten duiker, aangelegd rond 1880. Het dichtstorten van de oude duiker na de aanleg van een nieuwe duiker is niet goed gelukt, er bleef circa 0,5 m³/uur water uit lekken. Nadere afdichtingsmaatregelen leidden tot een reductie tot circa 0,2 m³/uur via een in 1997 aangebrachte PVC-buis. Het afsluiten van deze buis in september 2010 leidde volgens een rapportage van de aannemer destijds tot kwel uit de teen van de dijk, mogelijk vergelijkbaar met de huidige situatie. Daarna is de afsluiting verwijderd. Mogelijk is deze buis sindsdien weer verstopt geraakt.

Aanbevolen wordt om deze PVC-buis op te zoeken, weer vrij te maken en dit met enige regelmaat als onderdeel van beheer en onderhoud te herhalen. Als dit niet mogelijk blijkt, dan kan langs de binnenteen vanaf circa 3 meter westelijk van de huidige uitstroomopening tot aan de nieuwe duiker op 3 tot 5 decimeter diepte een schuin liggende drainageleiding worden aangebracht met een dusdanige afwerking bij het uitstroompunt dat hier gemakkelijk het debiet kan worden gemeten. Dit zal vervolgens moeten worden gemonitord, bij toename in de loop van de tijd zijn nadere maatregelen nodig, bijvoorbeeld een omvangrijkere drainageconstructie. Bij een afname kan er sprake zijn van verstopping van de drain, afhankelijk van de verstreken tijdsduur kan deze dan worden vervangen of kunnen er nadere maatregelen worden genomen.

Datum
11 september 2018

Ons kenmerk
11202249-005-ZKS-0001

Pagina
2/16

2. Aanleiding

Op of kort voor dinsdag 28 augustus 2018 heeft een passant melding gedaan van kwelwater nabij de duiker van de Tungelroysebeek, aan de zuidzijde van de Zuid-Willemsvaart (langs de Oude Lozerweg), dit is op circa 3400 meter ten zuidwesten van Sluis 16 in de Zuid-Willemsvaart. Deze melding is gedaan bij Waterschap Limburg.

Huib van de Wal van Waterschap Limburg heeft deze melding op 28 augustus om 12:03 uur 's middags per e-mail doorgezet aan het Nautisch Centrum van Rijkswaterstaat. Deze heeft deze melding om 12:16 uur doorgezet aan de dienstdoend Officier van Dienst – Waterkeringen (OVD-W), Manuela Gielen. De melding is vervolgens door de OVD-W doorgezet naar het WMCN. Om 15:40 uur is Eric van Kuijk (RWS-GPO) van het Calamiteitenteam Waterkeringen (CTW) ingeschakeld door het WMCN, hij heeft vervolgens in telefonisch overleg met André Koelewijn (Deltares) van het CTW ingeschat dat er geen acuut gevaar dreigde maar dat vrij spoedige inspectie bij daglicht gewenst was; gelet op aanrijtijden is afgesproken om de volgende dag om 12 uur, voorafgaand aan de verwachte regenbuien, ter plaatse te inspecteren samen met de OVD-W en een lokale aannemer.

3. Locatiebezoek 29 augustus

3.1 Situatieomschrijving

De locatie is aangegeven in figuur 1.

Op de weg naar de locatie valt het zware transport met grote trekkers met dumpers op, zie figuur 2. Afgezien van een kennelijke schaftpauze rijden deze af en aan. Omdat de weg te smal is om elkaar te passeren, wijken deze uit in de berm op plaatsen waar daarvoor ruimte is. Eén van deze plaatsen is ter hoogte van de duiker. Op de foto in figuur 2 komt een lege trekker aan, uitgaande van rechts rijdend verkeer zou daarom verondersteld kunnen worden dat alleen onbeladen combinaties op de passeerhavens zullen staan, maar ook de beladen dumpers wijken soms uit naar links, de passeerhavens op.



Figuur 1. Situatieschets locatie kwel bij kruising Tungelroyse beek met Zuid-Willemsvaart nabij Weert



Figuur 2. Bredere berm (bruikbaar als passeerhaven) en zwaar transport langs locatie

Er blijkt sprake te zijn van één geconcentreerd uitstroompunt in het talud, op circa 7 meter (kan ook 5 à 10 m zijn) vanaf de duiker van de Tungelroyse beek, zie figuur 3, 4 en 5. Het water dat hieruit stroomt, leidt tot een vrij brede strook water aan het oppervlak (zie figuur 6), waarbij het door de begroeiing onduidelijk is of er nabij de duiker, bijna recht daarboven, een tweede uitstroompunt is of dat het water daar ook vanuit het voornoemde punt komt. Van de vierkante afgesloten put, zichtbaar in figuur 4, is het onduidelijk waar die mee samenhangt. Er is bovendien geen sleutel beschikbaar om deze te openen.

De stroming is overigens niet sterk; het debiet door de duiker heen is aanmerkelijk groter. Ter plaatse van het (belangrijkste) uitstroompunt is met een schop een klein gat gegraven (circa 20 cm diep); onder een dunne humuslaag is sprake van een vrij zandige ondergrond, zie ook figuur 7. De aanvoer van water was dermate beperkt dat het gat niet snel weer gevuld raakte. Na het vullen sijpelde het water verder.

Aan weerszijden van het probleemgedeelte is over een afstand van 20 à 40 meter het talud droog, helemaal onderaan de dijk, op maaiveldniveau (hooguit een meter boven het niveau van de beek, blijkt een kwelsloot aanwezig te zijn waarin ook in deze uitzonderlijk droge periode water stroomt; kwel op een lager niveau mag daarmee als normaal worden verondersteld.



Figuur 3. Veldsituatie met uitstroompunt kwel en locatie duiker Tungelroyse beek



Figuur 4. Natte gedeelte nabij duidelijkste kwelpunt, verderop een vierkante afgesloten put



Figuur 5. Kwellocatie op 1/3 vanaf de bovenkant van de foto, recht boven de laars



Figuur 6. Afstroming richting duiker



Figuur 7. Situatie bij kwellocatie na beperkt ontgraven

Het gaat om een betrekkelijk dichtbegroeid gebied met erachter een meertje (zie figuur 8). Langs het meertje loopt een onverharde werkweg, maar het gebied is in principe niet toegankelijk.



Figuur 8. Overzicht richting achterland



Figuur 9. Natuurgebied zonder toegang

3.2 Beschikbare informatie uit het verleden

Ter plaatse was ten tijde van het veldbezoek weinig informatie beschikbaar. De beschikbare informatie betrof:

- het afdichten van een gat naast de weg begin mei 2018, nabij de groene kast van pompeverancier Modderkolk met een sticker van Waterschap Limburg (zie figuur 10). Het gevulde gat betreft het onbegroeide gedeelte naast het drietal personen op de foto. Dit betrof een vrij diep gat, bij het herstel is op ongeveer een meter diepte worteldoek aangebracht; de grond was op dat niveau (ongeveer gelijk aan het kanaalpeil) nog droog. Het nieuwere asfalt, waarvan de grenzen in figuur 1 en 10 zichtbaar zijn, is al eerder aangebracht, maar niet meer dan enkele jaren geleden.
- ruim 5 jaar geleden is een nieuwe sifon (NB: de term 'duiker' werd niet gebruikt) aangelegd, waarbij er wat problemen waren geweest met lekkage uit de oude sifon. Het was onduidelijk of dit afdoende was opgelost en of de afgewerkte straatput, zichtbaar in figuur 4, hier iets mee te maken had. *In §5 en §6 wordt hier nader op ingegaan.*

3.3 Betrokken partijen

De melding is door Waterschap Limburg doorgezet naar Rijkswaterstaat, die hier de vaarwegbeheerder is en ook de kanaaldijken beheert. De weg is eigendom van de gemeente en de smalle strook naast de weg met de sifon en de uitstroming van de beek, evenals de groene kast zijn eigendom van Waterschap Limburg. Het gebied direct achter de dijk is eigendom van Natuurmonumenten.



Figuur 10. Gevulde gat naast de weg en nieuwer asfalt (zie ook figuur 1)

4. Maatregelen

4.1 Afzetting passeervak 30 augustus

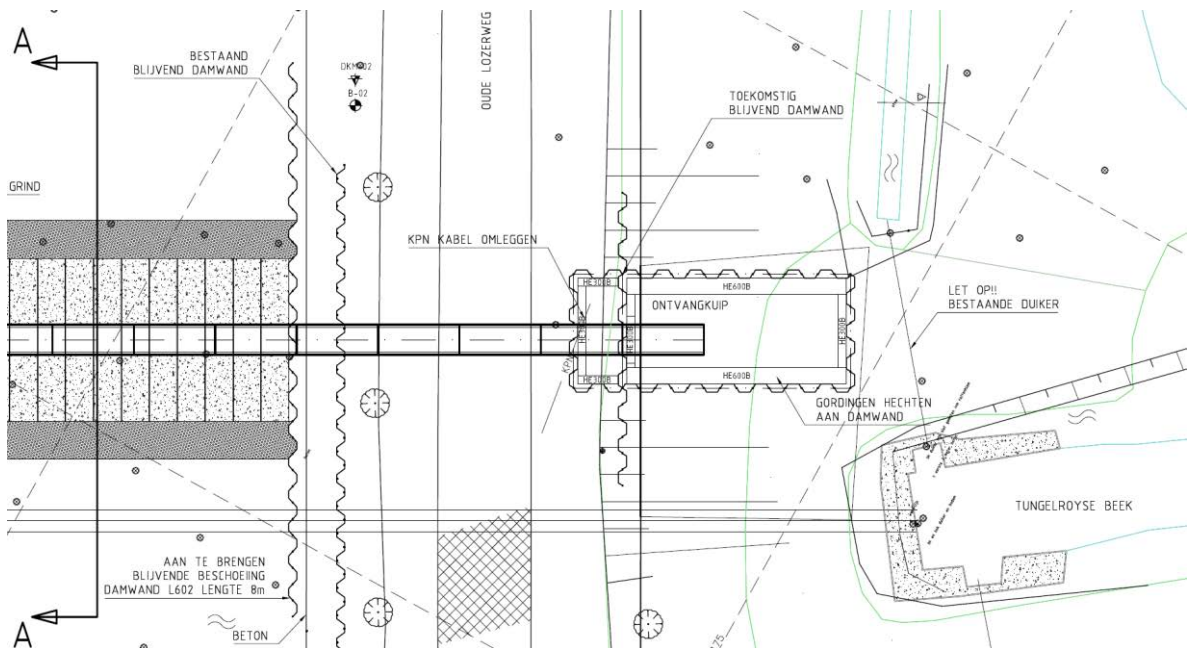
Als eerste maatregel is op 30 augustus de berm afgesloten met een stalen barrier. Hierdoor is een extra grote verkeersbelasting ter plaatse van dit gedeelte met een verhoogde freatische lijn niet meer mogelijk. Deze belasting is recent wel doorstaan, zonder dat er scheuren zijn ontstaan (in elk geval geen zichtbare scheuren in het asfalt), zodat er sprake is van enige bewezen sterkte. Als door (hevige) neerslag de freatische lijn in de dijk verder stijgt, is er hierdoor sprake van enige reserve.

4.2 Noodzaak vervolgmaatregelen

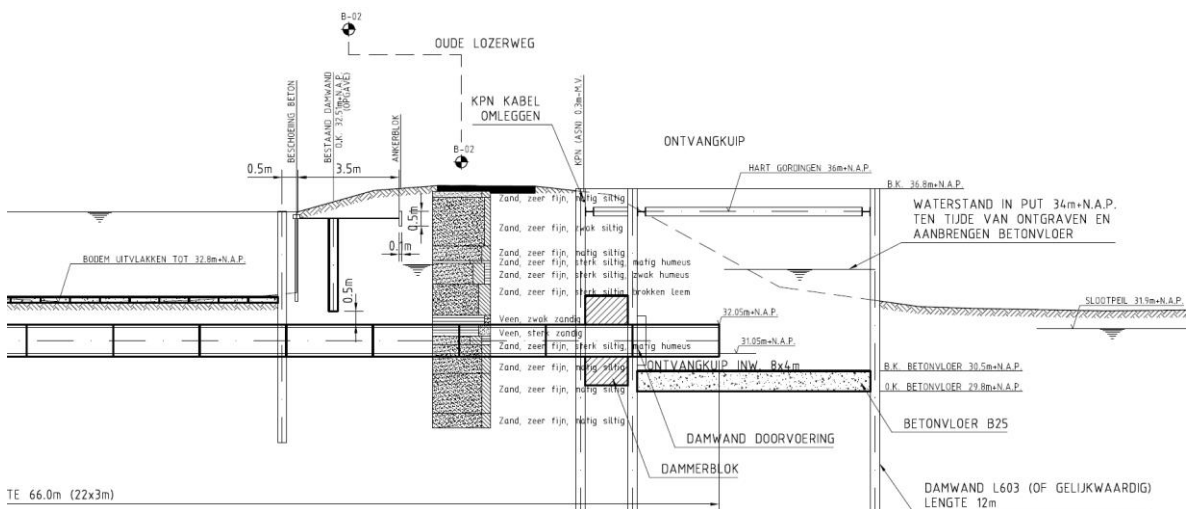
Een dergelijk hoog uittreden van kwelwater in deze dijk, die voorzien is van een kwelsloot op een veel lager niveau, is ongewenst. Dat er opnieuw sprake is van lekkage, enige jaren na vervanging van het 'sifon' (d.w.z. de duiker), is reden tot zorg. In eerste instantie kan worden ingezet op symptoombestrijding, rekening houdend met de marges die de recent doorstane situatie biedt (uittredend kwelwater met extra hoge verkeersbelasting zonder scheurvorming). Wanneer symptoombestrijding na verloop van tijd onvoldoende blijkt te zijn, dan dient de oorzaak te worden onderzocht en het kwelprobleem te worden opgelost, hetgeen hoogstwaarschijnlijk duurder uitpakt.

5. Nadere informatie

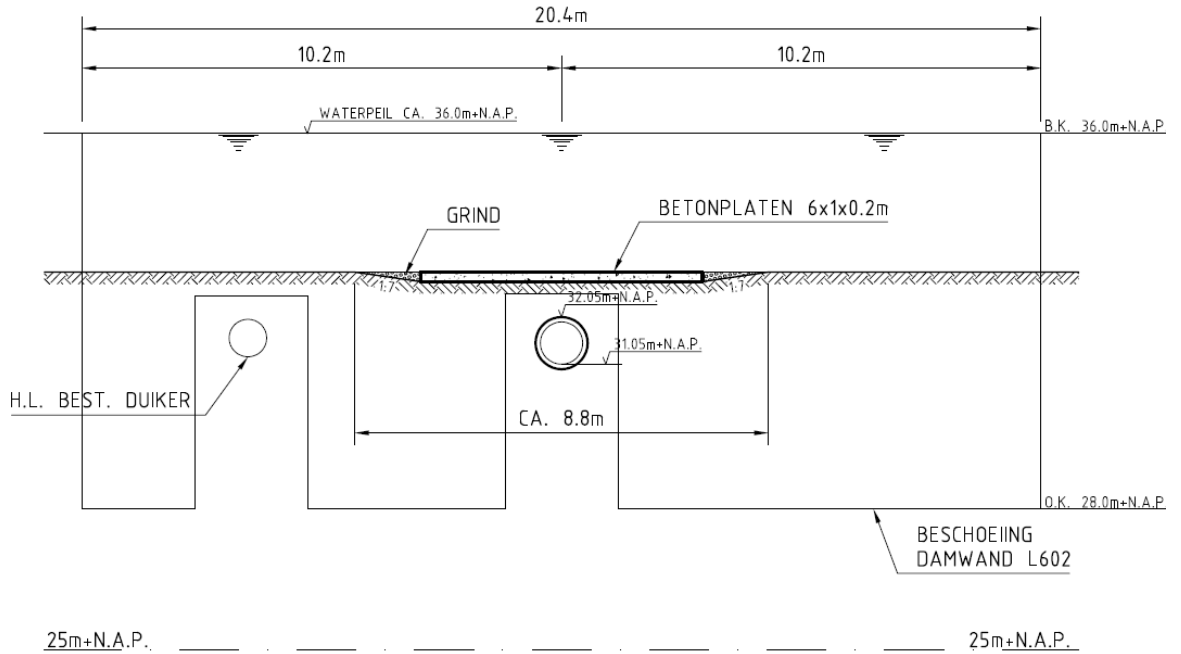
Op 30 augustus is nadere informatie beschikbaar gekomen via het team van Rijkswaterstaat dat bezig is met de beoordeling van de regionale keringen. Dit betreft vooral informatie rond de aanleg van de nieuwe duiker in 2010: tekeningen van de oude en de nieuwe situatie en een rapportage van de aannemer over de opgetreden afwijkingen bij het afdichten van de oude duiker (Zwartbol, 2010). Details uit de tekeningen zijn weergegeven in figuur 11 t/m 14, in figuur 15 is de dwarsdoorsnede van de oude duiker ter plaatse van de Lozerweg aangegeven.



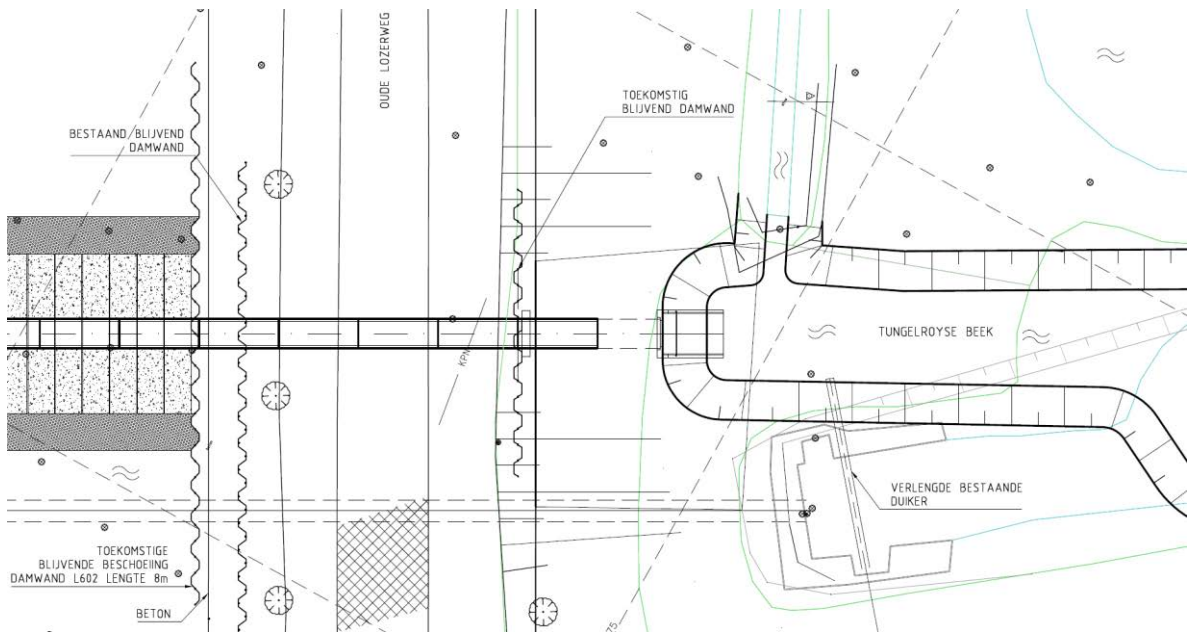
Figuur 11. Bovenaanzicht oude duiker en bouwkuip nieuwe duiker



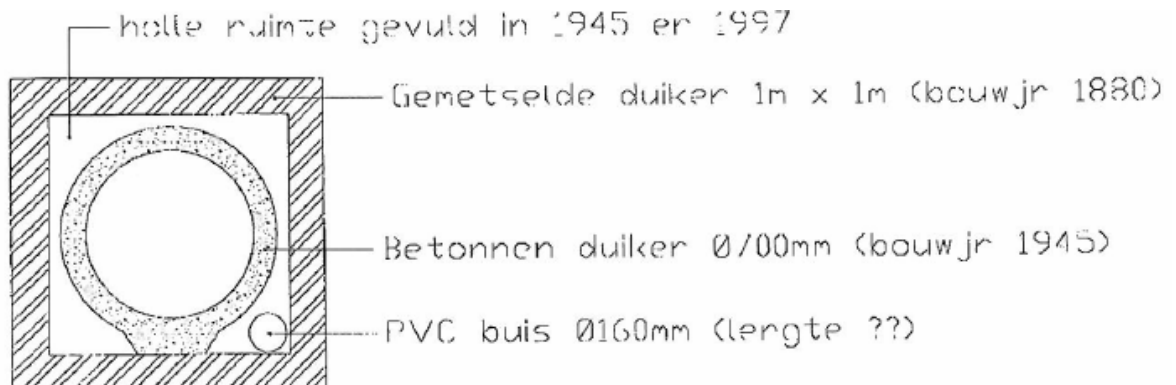
Figuur 12. Lengtedoorsnede bouwkuip nieuwe duiker met indicatie van de grondopbouw



Figuur 13. Dwarsdoorsnede oude en nieuwe duiker (doorsnede A-A uit figuur 11)



Figuur 14. Bovenaanzicht en dwarsdoorsnede nieuwe situatie



Figuur 15. Dwarsdoorsnede oude duiker ter plaatse van de Lozerweg (Zwartbol, 2010)

Het was de bedoeling om de bestaande duiker in 2010 af te vullen met schuimbeton. Dit is echter niet gelukt en een volledige afdichting is ook niet bereikt. De hierna volgende cursieve teksten zijn overgenomen uit (Zwartbol, 2010) en betreffen de meest relevante passages daaruit in het kader van de huidige problematiek.

De eis voor het afdichten van de oude duiker is "de oude duiker volledig vullen en overbodige onderdelen verwijderen. Lekkage door deze oude constructie is een onacceptabel risico.

De werkzaamheden voor het vullen van deze oude duiker zijn in week 36-2010 gestart. De beekstroming is omgelegd naar de nieuwe gerealiseerde duiker zodat de oude duiker vrij kwam te liggen en deze droog liep. Bij droogleggen van de oude duiker was de volgende situatie aan de orde:

- * De duiker lekte kanaalwater via de betonbuis verbindingen ter hoogte van het bovenliggend kanaal en loopt de betonbuis uit. Dit is geschat op circa 0,5 m³/uur.*
- * Constructieve gesteldheid betonduiker elementen: enkele duikerelementen welke eerder zijn verwijderd aan de zuidzijde oude duiker bestaan uit 1 m elementen, verbindingen afdicht d.m.v. teerachtige substantie. Constructief zagen de elementen er goed uit, geen scheuren of zichtbare tekortkomingen welke duiden op bezwijken van deze buizen.*

Door de constante lekkagestroom was het niet mogelijk om met het voorgestelde schuimbeton de duiker te vullen. Het schuimbeton zou hierdoor te veel worden ontmengd en/of wegspoelen. Volledige vulling kan hierdoor niet worden gegarandeerd. Hierop is besloten dämmer aan te brengen welk vloeit als een soort "karnemelk" en als eigenschap heeft niet te ontmengen.

*Vrijdag 10 september 2010: De uiteinden van de oude duiker zijn "omkist" zodat het dämmer vloeit tot boven de buis en volledige vulling hierdoor gegarandeerd is. Aan perszijde konden we hiervoor de bestaande instromingsconstructie gebruiken met de daarbij behorende schuif. Aan de uitstroomzijde hebben we een put aangebracht middels een gronddam. Tijdens het aanbrengen van deze put is gestuit op een pvc buis (rond 160 mm) welk doel ons niet geheel duidelijk was. Aangenomen is dat deze bedoeld is voor de werkzaamheden in 1997 om de holle ruimte te vullen tussen de betonnen duiker en de gemetselde duiker. Deze buis hebben we afgekapt tot aan de uiteinden betonnen duiker en open gelaten. Aan de perszijde is de duiker gevuld met dämmer. Hierin vloeide in circa 40 minuten 20 m³ dämmer in. Conform de theoretische benadering zou in de ronde duiker circa (60 m * rond 700 mm) 23 m³ moeten gaan. Aan de zuidzijde van de duiker is nog circa 10 m³ dämmer aangebracht om zo een blok rondom de uitmonding van de duiker te creëren.*

Datum	Ons kenmerk	Pagina
11 september 2018	11202249-005-ZKS-0001	12/16

Nadat de dämmer was aangebracht is het volgende aan de zuidzijde geconstateerd:

** Een constante waterstroom vloeide omhoog door het dämmerblok heen. Dit is circa een uur aangekeken en vastgesteld is dat deze niet stopte. De waterstroom is geschat op circa 0,2 m³ per uur.*

** De locatie van de waterstroom was ter plaatse van de afgekapte pvc buis (van 160 mm doorsnede)*

Aangezien de waterstroom schoon was en geen grond met zich meenam is de situatie zo gelaten voor het weekend. Dit in de hoop dat het dämmerblok zich nog zou gaan "zetten" en de waterstroom zou stopzetten.

Maandag 13 september 2010: Dit bleek niet het geval. De pvc buis is weer opgegraven en hierop is een eindkap bevestigd en deze is tevens afgedicht met PUR-schuim.

Dinsdag 14 september 2010: Geconstateerd werd dat er nu water stroomde uit de teen van het talud boven de oude duiker. Hierop direct ondernomen en de pvc buis weer vrijgemaakt van eindkap en PUR-schuim. Hierdoor kon het water gecontroleerd door de pvc buis stromen, de Tungelroyse beek in.

De volgende situatie is nu aan de orde:

** De betonnen duiker is volledig afgevuld met dämmer. Lekkage hierdoor niet meer mogelijk;*

** Lekkagestroom door de pvc buis in de Tungelroyse beek.*

Constructie oude duiker

De oude duiker bestaat uit een in omstreeks 1880 gemetselde duiker met een vierkantprofiel van inwendig circa 1 m bij 1 m. Hierin is in 1945 een ronde betonnen buis geschoven van inwendig rond 700 mm. Het rapport beschrijft dat in 1945 de holle ruimte is gevuld met beton. Tevens beschrijft het rapport dat na melding van lekwater in 1997 opnieuw de holle ruimte is gevuld met Taccs.

Probleemstelling

Aannemelijk is dat de holle ruimte door de voorgaande pogingen is afgedicht maar in werkelijkheid zal de holle ruimte deels gevuld zijn en deels niet. Dit roept een aantal vragen op:

- 1. Waar bevindt zich de lekkage? → localiseren*
- 2. Is het lekwater van de Zuid-Willemsvaart of grondwater welk zich bevindt in het dijklichaam? "De lekkagestroom zal zich bevinden in en om de holle ruimte tussen betonnen duiker en gemetselde duiker."*

Risicoprofiel

De mogelijkheden voor Visser & Smit Hanab om de lekkage te stoppen is nu een kritisch punt, alles wat we nu proberen om de lekkage te stoppen middels vulmiddelen biedt geen volledige garantie meer tot een lekvrije duiker. De kans dat er een waterstroom zich opbouwt waar dan ook met als ergste gevolg afschuiving van het talud/dijklichaam blijft altijd aanwezig.

Het lekvrij opleveren van de oude duiker in deze situatie kan niet meer binnen de scope van de specificatie-eisen worden gerekend. De status van de oude duiker is zo onduidelijk dat gedeelde verantwoordelijkheid hiervoor noodzakelijk is. Visser & Smit Hanab vraagt om overleg met Rijkswaterstaat als zijnde beheerder en opdrachtgever om voor alle partijen een situatie te bereiken waarin deze zo veilig en met een zo laag mogelijk risicoprofiel kan worden opgeleverd.

Datum	Ons kenmerk	Pagina
11 september 2018	11202249-005-ZKS-0001	13/16

Besluitvorming

Overleg 20-9-2010: in dit overleg is met name besproken welke mogelijkheden er zijn om het lek op te sporen. Visser & Smit Hanab heeft de onderstaande methodes aangedragen:

1. Het gebruik van een kleurstof (blauw) welke in het kanaal wordt gestrooid en door het lek de Tungalroyse beek invloeit. Nadeel van deze methode is dat de aanzuiging van de lekkage niet groot is, wat de kans kleiner maakt dat de kleurstof door het lekkanaal loopt.

2a. Het gebruik van warm water en een thermische camera. Warm water wordt in het kanaal gestort en de camera meet temperatuurverschillen bij de uitstroming van het lek ter hoogte van de Tungalroyse beek. Hier geldt hetzelfde probleem als bij het gebruik van een kleurstof (weinig aanzuiging).

2b. Een andere optie is het warme water door het lek (ter hoogte van de Tungalroyse beek) te persen zodat eventueel uitstroming plaatsvindt in het kanaal. Hier eveneens met de thermische camera de temperatuurverschillen meten en het lek is gelokaliseerd. Een nadeel van deze methode is het ongecontroleerde inpersen van (warm) water welke de holle ruimte vergroot waar de lekstroom zich nu bevindt.

3. Het gebruik van een gas, middels luchtbellen te lokaliseren. Hetzelfde nadeel als 2b.

4. Het gebruik van een rioolcamera en/of duwcamera (endoscoop) voorzien van lichtbron. Hierdoor zou in de constructie van de holle ruimte gekeken kunnen worden welke situatie zich daar bevindt. Het nadeel van deze methode is dat niet met zekerheid kan worden gezegd welk resultaat met betrekking tot visualiseren. Het bezichtigingsgebied bevindt zich geheel onder water en gronden en/of andere zwevende onderdelen geeft vertroebeling van zicht.

Op 21-9-2010 is de eerste proef uitgevoerd met de blauwe kleurstof. Deze is op circa 50 m stroomopwaarts van de duiker in het midden van het kanaal gestrooid. Tijdens dit proces is nabij de pvc buis toezicht gehouden op eventuele verkleuring van het water. Dit leverde geen resultaat op!

Op 4-10-2010 is de tweede proef uitgevoerd met de video-inspectie. Een camera is in de pvc buis geplaatst maar hier was geen enkel zicht op te bekennen. Geen resultaat!

Op 6-10-2010 is het tweede overleg gehouden. Dit naar aanleiding van onderzoeksresultaten en voor verdere besluitvorming. In het overleg is vastgesteld dat de onderzoeksresultaten geen uitsluitel bieden omtrent herkomst van het water. Kanaalwater en/of grondwater uit het dijklichaam zijn beide mogelijk oorzaken van lekken.

In het overleg zijn een drietal oplossingen aangedragen voor het oplossen van de lekkage, te weten:

1. De overgebleven holle ruimte afvullen met een taccs/dämmer. Hierbij wordt nabij de kanaaloever een buis aangebracht op/in de bovenzijde van de gemetselde duiker en het vulmiddel wordt hierdoor aangebracht. Tevens kan er ook via de pvc buis met behulp van een lange lans het vulmiddel worden ingebracht. Deze methodes zijn in 1997 ook toegepast. Het risico van deze methode is dat wanneer niet volledige vulling plaatsvindt (i.v.m. onbereikbare plaatsen) ongewenste waterophoping tot gevolg kan leiden.

2. De oude duiker in geheel afheien tot aan de kanaaloever Lozerweg en de duiker in open ontgraving verwijderen. Daarna het dijklichaam weer herstellen. Kosten voor deze methode geschat op circa € 250.000,-

3. Het lekwater door de pvc buis laten stromen in de Tungalroyse beek. Hierdoor blijft een gecontroleerde afstroming welk geen risico meedraagt voor eventuele ophopingen van ongewenst water in het dijklichaam. De situatie blijft ongewijzigd aan de voorgaande jaren waarin lekwater ook afvloeide naar de Tungalroyse beek.

Datum	Ons kenmerk	Pagina
11 september 2018	11202249-005-ZKS-0001	14/16

Uit voorgaande oplossingen wordt gezamenlijk besloten om het water door de pvc buis te laten lopen en het werk op te leveren met een afwijking van de gestelde specificatie-eis aangaande het lekvrij opleveren van de duiker.

Conclusie

Waterlekage blijft gecontroleerd door de pvc buis stromen. Wel dient in het beheer en onderhoudsplan monitoring te worden opgenomen voor het volgen van deze lekkage. Tevens dient op de As-built tekening te worden aangegeven de locatie van de pvc buis.

6. Probleemanalyse

Op basis van de nadere informatie blijkt dat er geen sprake is van een oude en een nieuwe sifon, maar slechts van een oude en een nieuwe duiker. Speculaties over een hoogliggende leiding waar het water van de Tungelroyse beek waaruit water uit de beek of waarlangs water uit het kanaal zou stromen, kunnen zodoende als irrelevant worden afgedaan.

Als er een waterleiding door het dijklichaam loopt, dan zou deze kunnen lekken, lekkage die mogelijk verband zou kunnen houden met het gat in de weg dat begin mei 2018 is opgevuld.

Het lijkt er echter het meest op dat de verschijnselen vergelijkbaar zijn met hetgeen op 14 september 2010 is geconstateerd: waterstroming vanuit de teen van het talud boven de oude duiker. Het zou kunnen dat de PVC-buis in de afgelopen acht jaar verstopt is geraakt. Het bestaan van deze buis bleek te zijn vergeten; daarmee zijn de conclusie om de lekkage door deze buis te monitoren en "voorkoming van verstopping" dus ook niet meegenomen bij het beheer en onderhoud van deze locatie. Ook is de PVC-buis niet terug te vinden op de beschikbare tekeningen.

De PVC-buis 160 mm doorsnede, die aangebracht is in 1997, ligt overigens niet op een logische plaats in de dwarsdoorsnede (zie figuur 15) om te zijn gebruikt bij het vullen van de open ruimte tussen de vierkante gemetselde constructie uit 1880 en de betonnen buis uit 1945, zoals in §5 geciteerd is, want dan zou deze buis logischerwijs bovenin hebben gelegen. Gelet op de locatie onderin lijkt deze eerder bedoeld te zijn om resterende lekwater af te voeren, mogelijk van een locatie waarvan destijds ingeschat werd dat juist daar betrekkelijk veel lekwater uitkwam, of eenvoudigweg als drainage tot onder de weg door om lekwater aan de zuidzijde in deze ruimte van onder het kanaal af te voeren zonder dat dit tot een verhoging van de waterdrukken onderin de dijk zou kunnen leiden.

Over een verband met de verzakking die begin mei 2018 is opgevuld kan met de huidige informatie slechts gespeculeerd worden; dan zou er materiaal door een gat in de PVC-buis van boven in de buis kunnen zijn gevallen, bijdragend aan verstopping van de buis (eventueel versterkt door dichtgroeien van het uiteinde van de PVC-buis door vegetatie langs de oever).

Het probleem is hiermee waarschijnlijk terug te voeren op de combinatie van de volgende drie onderdelen:

- **lekkage in het zuidelijke deel van de oude duiker**, gelet op de hoogte van het uittredende water in de teen betreft dit vrijwel zeker kanaalwater (water uit de beek zou niet zo hoog kunnen komen en vanwege de droogte in de afgelopen maanden kan neerslag ook niet de bron vormen), anders water uit een leiding in het dijklichaam die in de lengterichting van de dijk loopt en op deze locatie is gaan lekken (vanwege de aanwezige discontinuïteiten is dit daar dan geen onlogische locatie voor).

- **verstopping van de drainagevoorziening**, namelijk de PVC-buis die in de beek uitmondt en die in de afgelopen jaren niet meer onderhouden (schoongehouden) is.
- **hoge waterdrukken in de ondergrond die een uitweg vinden in de hooggelegen teen van de dijk**, op de aangegeven locatie die ongeveer boven de oude duiker ligt.

7. Inschatting risico's

De lekkage impliceert een verhoogde freatische lijn in het dijklichaam, met een afname van de stabiliteit tot gevolg. Het is denkbaar dat de freatische lijn ten gevolge van de verstopping nog verder oploopt; met de geconstateerde kwel hoeft nog geen evenwicht te zijn bereikt. Bovendien zal door neerslag de freatische lijn in de dijk verder kunnen oplopen en de binnenwaartse macrostabiliteit zal daardoor verder afnemen.

Ter nuancering kan echter worden aangevoerd dat ten tijde van de inspectie de stabiliteit nog niet problematisch was: ondanks de recente hoge verkeersbelastingen was er bijvoorbeeld geen enkele sprake van scheurvorming in het asfalt samenhangend met een begin van verlies van stabiliteit. Door de passeerhaven ter plaatse af te sluiten is er sprake van een dusdanige afname van de verkeersbelasting dat hiermee vooralsnog wel enige reserve ontstaat voor enige stijging van de freatische lijn als gevolg van de verstopping en door neerslag, wat een vrij geleidelijk proces betreft. Daarbij is er natuurlijk al sprake van een uitstroompunt in het talud. Als de uitstroming niet sterk toeneemt en er bovendien geen scheurvorming in het asfalt optreedt (beide aspecten dienen regelmatig bekeken te worden), dan is er geen reden tot zorg.

8. Advies voor verdere acties

8.1 Korte termijn

In aanvulling op de afsluiting wordt aanbevolen om eerst op zoek te gaan naar het uitstroompunt van de PVC-buis in de Tungalroyse beek. Deze dient te worden vrijgemaakt van obstakels die de doorstroming belemmeren.

Als er inderdaad sprake is van een verstopte waterafvoer via deze PVC-buis, dan mag verwacht worden dat het probleem met de lekkage in het talud met het vrijmaken van de uitstroming wordt opgelost. Dit moet dan wel blijvend gemonitord worden, in eerste instantie met een frequentie van minimaal eens per maand, zo mogelijk na tenminste enkele dagen zonder neerslag van betekenis. Daarnaast wordt aanbevolen of er op basis van de conclusie uit de rapportage van Zwartbol (2010) sindsdien enige vorm van monitoring heeft plaatsgevonden en wat dit heeft opgeleverd. Verder wordt de monitoring van scheurvorming in het asfalt zoals in §7 is aangegeven aanbevolen.

Als er geen sprake is van een verstopte waterafvoer via de PVC-buis, of als deze buis in het geheel niet is terug te vinden, dan zijn andere maatregelen nodig om te voorkomen dat de waterdruk verder opbouwt. Dan kan drainage van de leklocatie en de directe omgeving daarvan een oplossing vormen, waarvan dan gemonitord dient te worden, ook op langere termijn, of dit afdoende werkt. De drainage kan dan eenvoudigweg bestaan uit een standaard-landbouwdrain (kokosomhulde drainagebuis) die vanaf circa 3 meter westelijk van de huidige uitstroomopening tot aan de nieuwe duiker op 3 tot 5 decimeter diepte wordt aangebracht in een ondiepe sleuf. Deze leiding komt dan vrij schuin te liggen, zodat afstroming verzekerd is. Het uiteinde (de laatste 1 à 2 meter) dient uitgevoerd te worden met een blinde buis, die zodanig is afgewerkt dat daarbij met een maatbeker en een stopwatch eenvoudig een debiet kan worden bepaald. Deze debietmeting dient regelmatig te worden herhaald, aanvankelijk iedere maand, later eens per half jaar mits het debiet uit deze drain niet sterk verandert, ook

Datum	Ons kenmerk	Pagina
11 september 2018	11202249-005-ZKS-0001	16/16

niet in de loop der jaren. Het kanaalpeil is min of meer constant, waardoor de voornaamste variatie aan de neerslag zou moeten kunnen worden toegeschreven. Een buitenproportionele toename (bijvoorbeeld in een droge periode) wijst op een instabiele situatie en noopt tot actie, een buitenproportionele afname (bijvoorbeeld in een natte periode) wijst op verstopping en noopt eveneens tot actie. Overigens zullen ook na langere tijd de eerste metingen nog gebruikt moeten worden ter vergelijking. Neerslaggegevens uit de regio dienen eveneens geregistreerd te worden dan wel bij het KNMI of KMI van een website worden gehaald om goede vergelijkingen mogelijk te maken.

Terugkoppeling naar het CTW over een half jaar wordt gewenst geacht.

8.2 Langere termijn, of bij onvoldoende resultaat

Op langere termijn zal de monitoring gecontinueerd moeten blijven worden, met elk half jaar, in voor- en najaar, bepaling van de uitstroom, schoonmaken van het uitstroompunt en vergelijken van de observaties met de gehele reeks van eerdere observaties – ongeacht of de PVC-buis teruggevonden en gebruikt kan worden, of dat er een nieuwe drainage wordt aangelegd.

Wanneer de getroffen maatregel onvoldoende blijkt te zijn, hetgeen dan (onder meer) zal blijken uit hernieuwde uitstroming van water vanuit het talud, dan zal is een meer diepgravende maatregel noodzakelijk, zoals het afheien van de oude duiker bij de kanaaloever van de Lozerweg en het verwijderen van het benedenstroomse deel van de duiker in een open ontgraving (oplossing 2 uit Zwartbol (2010)).

9. Referenties

D. Zwartbol, *Afwijkingsrapport "Afdichten oude duiker", Ontwerp & Aanleg duiker Tungelroyse beek*, Visser & Smit Hanab, documentnummer P410-209, Papendrecht, 6 oktober 2010, 11 pp.

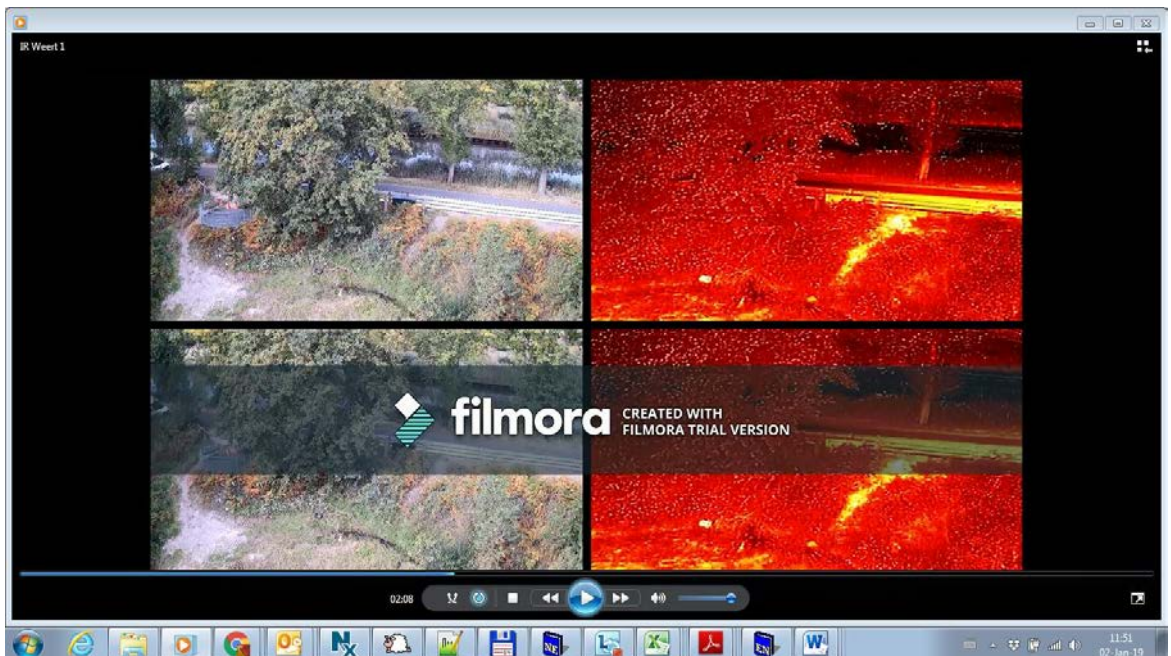
Tekeningen met de volgende bestandsnamen:

- C429011-tab 08 Bijlage A rev 1 alg plan tek, d.d. 4-3-2010
- C429011-tab 08 Bijlage B rev 1 toek. sit. tek, d.d. 4-3-2010
- LBAN201568001_13016-TEK-111_REV-B ZWV Weert – Nederweert, d.d. 8-9-2015

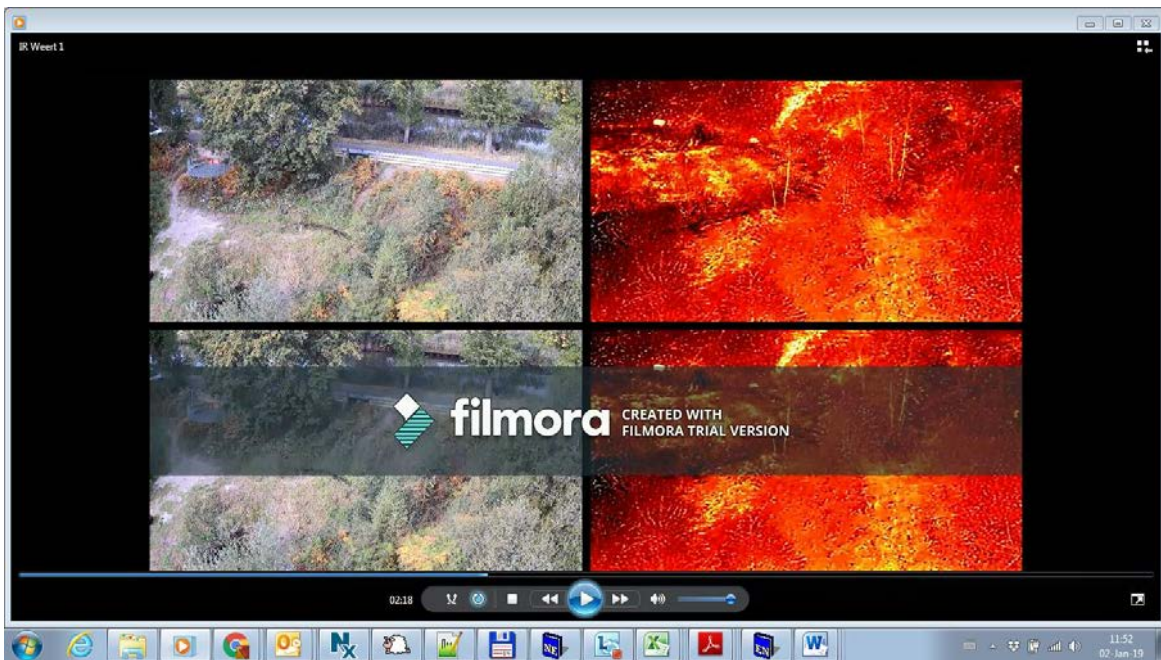
E Dronebeelden Weert



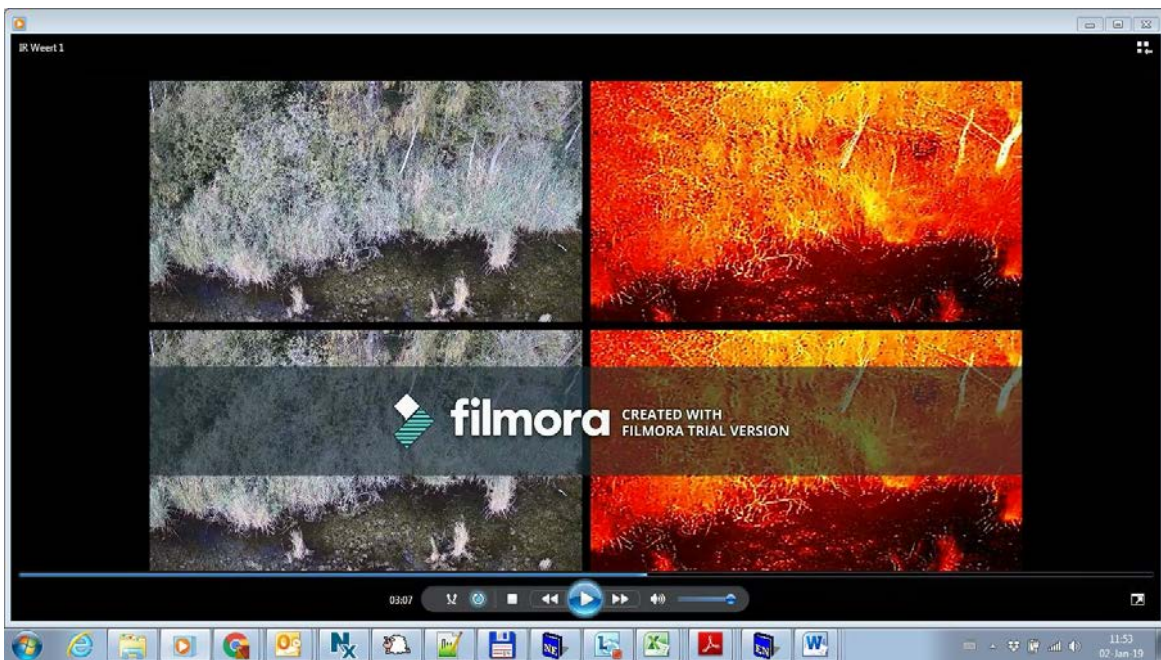
Vlucht 1, 1:43



Vlucht 1, 2:08



Vlucht 1, 2:18



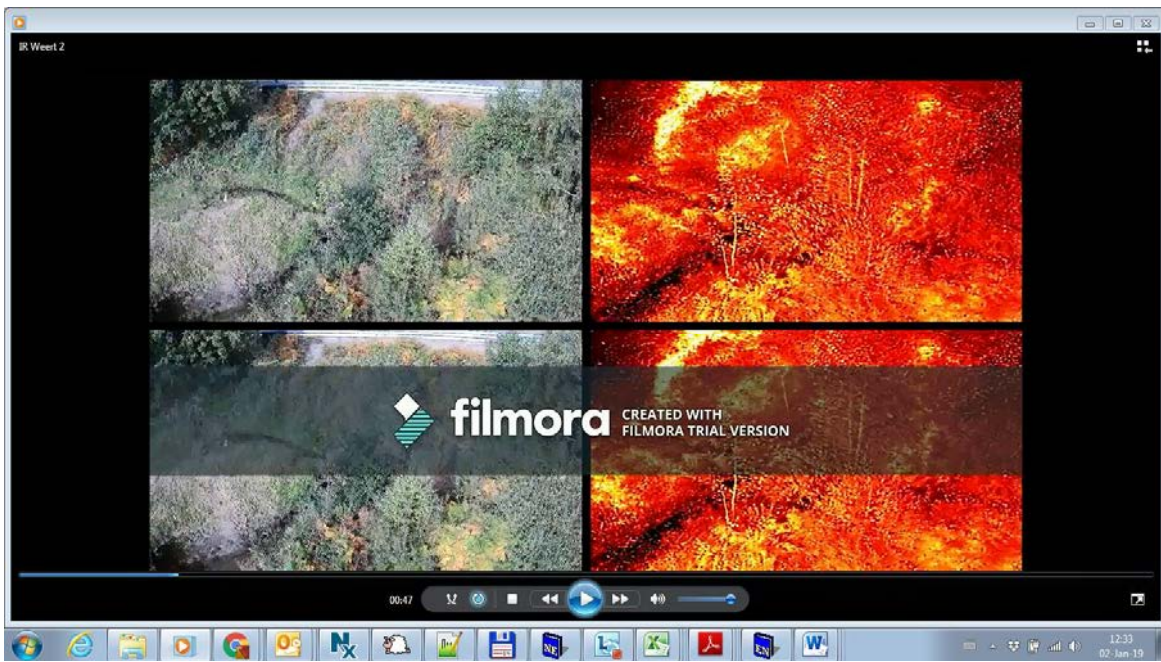
Vlucht 1, 3:07



Vlucht 1, 4:06



Vlucht 2, 0:31



Vlucht 2, 0:47

F Infraroodbeelden van kwel tot aan falen (Ikdijk 2009)

