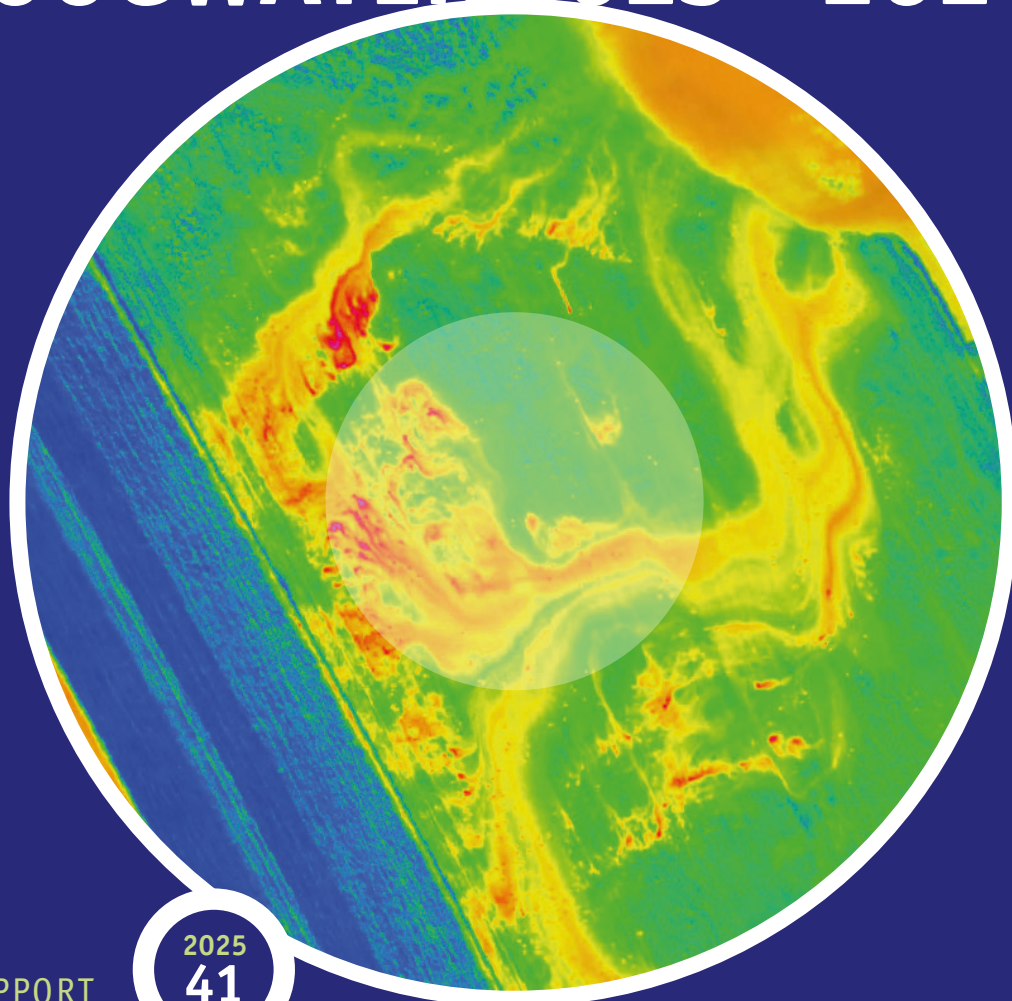




Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

stowa

ANALYSE INFRAROODBEELDEN HOOGWATER 2023 - 2024



RAPPORT

2025
41

ANALYSE INFRAROODBEELDEN HOOGWATER 2023 - 2024

RAPPORT

2025

41

ISBN 978.94.6479.110.5



COLOFON

Amersfoort, november 2025

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Daniël Kentrop (Kentrop Development)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Nelle Jan van Veen (Van Veen Waterwerk)
Gerard Harmsen (Rijkswaterstaat)
Oscar van Dam (STOWA)

Dit project is deels gefinancierd vanuit het Programma Instandhouden Waterkeringen PIW4, een samenwerkingsverband van STOWA en Rijkswaterstaat.

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2025-41
ISBN 978.94.6479.110.5

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

SAMENVATTING

Het rapport onderzoekt de effectiviteit van infraroodbeelden (IR) voor het detecteren van wellen en kwellocaties tijdens hoogwater. Dit helpt waterschappen bij risicobeoordeling van waterkeringen en het verbeteren van beheerstrategieën door het faalmechanisme piping.

In december 2023 en januari 2024 zijn 78 km dijken langs de IJssel en Waal met IR-camera's vanuit vliegtuigen in beeld gebracht. Ook zijn dronebeelden en veldwaarnemingen verzameld. De IR-beelden zijn geanalyseerd op temperatuurverschillen die wijzen op kwel of wellen. Er is onderscheid gemaakt tussen kwellocaties met diffuse temperatuurverhogingen en potentiële wellocaties zoals puntbronnen met duidelijke tekenen van stroming. Er zijn in totaal 196 locaties geïdentificeerd waarvan 74 potentiële wellen en 122 kwellocaties. De veldwaarnemingen bevestigen grotendeels de IR-waarnemingen.

Omstandigheden die van invloed kunnen zijn op de interpretatie van de beelden:

- Temperatuur: Groot verschil tussen grond- en kwelwatertemperatuur vergroot detectiekans.
- Zon en neerslag: Zonlicht en regen bemoeilijken interpretatie van IR-beelden.
- Seizoen: Winter is het meest geschikt vanwege gunstige temperatuurcontrasten.

Drone vs. Vliegtuig:

- Drones leveren gedetailleerdere beelden, maar zijn minder geschikt voor grootschalige dekking.
- Drones zijn geschikt voor direct gebruik van de IR-beelden door inspecteurs ter plaatse.
- Vliegtuigen zijn efficiënter voor gebiedsdekkende analyses.

Enkele relevante conclusies:

- IR-beelden zijn vooral effectief op het maaiveld; in water zijn wellen moeilijker te detecteren.
- IR-beelden bieden meerwaarde op moeilijk toegankelijke locaties.
- IR-beelden zijn een waardevolle aanvulling op veldinspecties.
- Effectiviteit hangt sterk af van weersomstandigheden.
- IR-beelden vanuit een vliegtuig zijn minder geschikt voor acute calamiteiten vanwege verwerkingstijd.

Aanbevelingen:

- Gebruik IR-opnames vanuit een vliegtuig bij significante hoogwaters ($\geq$ NAP +13,5 m bij Lobith).
- Voer metingen uit bij optimale omstandigheden (koude, stabiele temperatuur, weinig zon/neerslag).
- Overweeg uitbreiding van het invlieggebied tot buiten de dijkkruin: neem ook het de temperatuur van het rivierwater mee.
- Stimuleer landelijke registratie van wellen en kwel tijdens hoogwater.

STOWA IN HET KORT

KENNIS OVER WATER, VOOR NU ÉN LATER

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – kortweg STOWA – is het kennisplatform van regionale waterbeheerders in Nederland. Vanuit ons kantoor in Amersfoort werken we aan het ontwikkelen, verzamelen, verspreiden en implementeren van toegepaste kennis. Die kennis hebben waterbeheerders nodig om de opgaven waar zij voor staan, goed uit te kunnen voeren. Of het nu gaat om klimaatadaptatie (zowel stedelijk als landelijk gebied), een goede waterkwaliteit, duurzame en effectieve afvalwaterzuivering, veilige dijken en kaden, energietransitie of circulaire economie.

Het soort kennis dat wij ontwikkelen, is breed: technisch en natuurwetenschappelijk, maar soms ook bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk. Om te zorgen dat die kennis maximaal kan worden toegepast in de praktijk, presenteren we onze onderzoeksresultaten indien mogelijk in de vorm van praktische handreikingen, tools en instrumenten. Ook faciliteren we met het oog op kennisdoorwerking Communities of Practice en organiseren we daarvoor allerlei bijeenkomsten en webinars. Via onze eigen en andermans media geven we uitleg over de achtergronden bij ons werk.

STOWA werkt vraaggestuurd. We inventariseren welke kennisvragen waterbeheerders hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers: universiteiten, kennisinstituten, kennisbedrijven of adviesbureaus. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Maar wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de projectresultaten de deelnemers praktische handelingsperspectieven bieden. Ieder project wordt om die reden begeleid door een commissie waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden vastgesteld door programmacommissies, waar waterbeheerders ook zitting in hebben.

STOWA is onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan waterbeheerders te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast een cijfermatige jaarrekening ook een directieverslag opgenomen over de stichting en haar activiteiten. Het budget bedraagt jaarlijks ongeveer 20 miljoen euro. Onze deelnemers leggen gezamenlijk ieder jaar ongeveer 10 miljoen in als structurele bijdrage. Daarnaast ontvangen we jaarlijks ongeveer 10 miljoen euro in de vorm van bijdragen aan afzonderlijke projecten.

ANALYSE INFRAROODBEELDEN HOOGWATER 2023 - 2024

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel	2
1.3	Aanpak	3
1.4	Leeswijzer	3
2	BESCHIKBARE GEGEVENS	4
2.1	Infraroodbeelden en luchtfoto's vliegtuig	4
2.2	Infraroodbeelden drone	5
2.3	Veldwaarnemingen	6
3	METHODE ANALYSE INFRAROODBEELDEN	7
4	RESULTATEN	10
4.1	Infraroodbeelden vliegtuig	10
4.1.1	Samenvatting	10
4.1.2	Waarnemingen	10
4.2	Infraroodbeelden drone	12
4.3	Veldwaarnemingen	12

5	INVLOED RIVIERWATERSTAND EN WEERSOMSTANDIGHEDEN	14
5.1	Waterstandsafhankelijk risicobeeld	14
5.2	Temperatuur	14
5.2.1	Thermische traagheid	15
5.2.2	Grondtemperatuur	16
5.2.3	Rivierwater	16
5.3	Seizoen van waarneming	16
6	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	18
6.1	Conclusie	18
6.2	Aanbevelingen	20
7	REFERENTIES	21
BIJLAGE 1	BESCHRIJVING GIS-LAAG WAARNEMINGEN INFRAROOD VLIEGTUIG	22
BIJLAGE 2	BIJZONDERHEDEN ANALYSE INFRAROODBEELDEN	23
BIJLAGE 3	VERGELIJKING DRONE- EN VLIEGTUIGBEELDEN	39
BIJLAGE 4	VERGELIJKING VELDWAARNEMINGEN	40

1

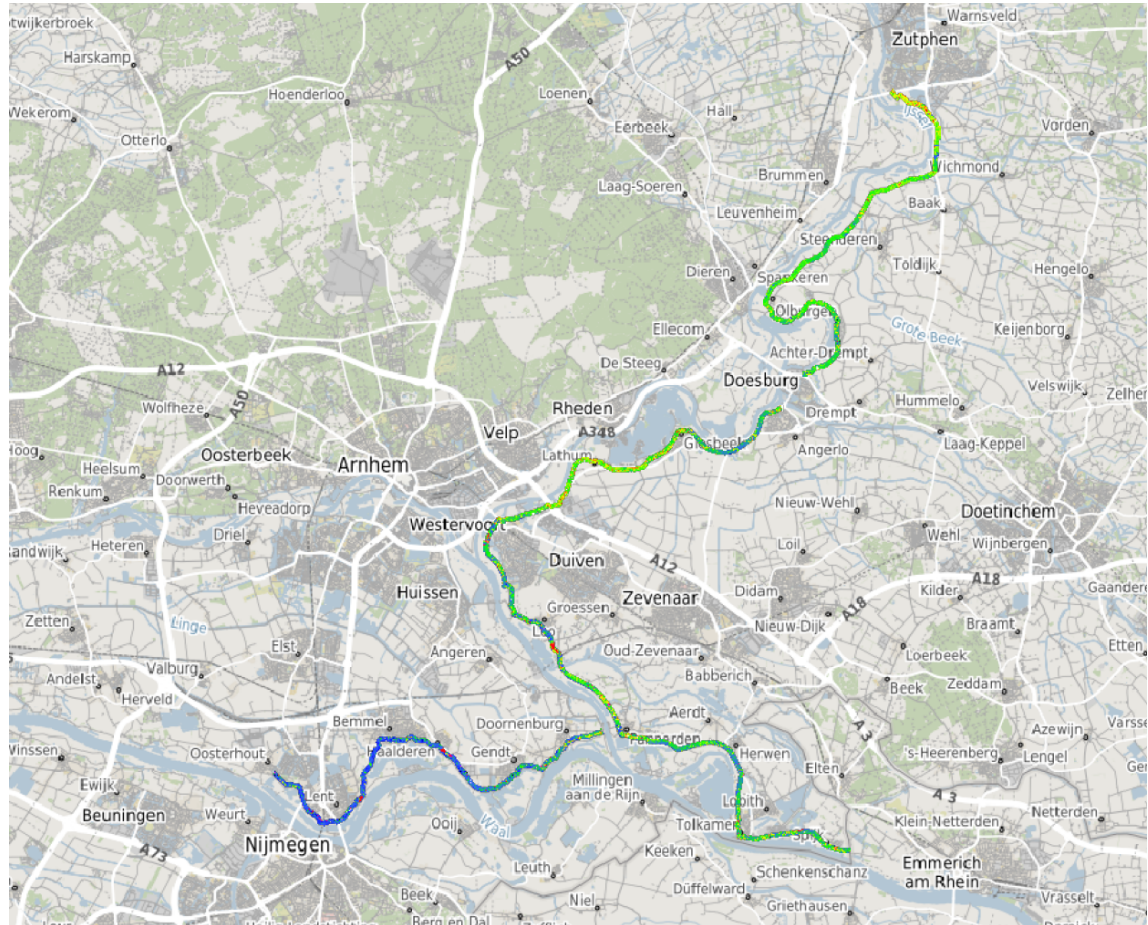
INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Eind december 2023 en begin januari 2024 waren er hoogwaters op de rivieren, voornamelijk door de hoge afvoer waarbij de hoogste waterstand bij Lobith circa NAP +14,5 m was. Daarnaast waren ook de peilen op het Markermeer en IJsselmeer verhoogd. Ook was de eerste keer dat alle zes stormvloedkeringen in beheer van Rijkswaterstaat tegelijkertijd gesloten waren vanwege de hoge waterstanden op zee als gevolg van storm Pia.

Op 29 december en 7 januari heeft het bedrijf Miramap Aerial Surveys circa 78 km primaire waterkering langs de IJssel en de Waal met infraroodbeelden ingevlogen om mogelijke wellocaties op te sporen. De ingevlogen beelden bevinden zich in het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) en Waterschap Rivierenland (WSRL). De locatie van deze beelden is gepresenteerd in figuur 11. Tegelijkertijd met de infraroodbeelden zijn ook luchtfoto's gemaakt.

Naast deze inmetingen hebben beheerders zelf veldmetingen uitgevoerd en zijn bij enkele waterschappen ook infraroodbeelden gemaakt met behulp van drones. Van de vorige jaren met hoogwaters zijn ook gegevens van (zandmeevoerende) wellocaties bekend. Deze zijn ontsloten via het STOWA wellenportaal [Ref 1.]. Deze gegevens kunnen worden gebruikt bij het toetsen van de effectiviteit van de ingevlogen infraroodbeelden.

Figuur 1.1 **Overzicht met vliegtuig ingevlogen infraroodbeelden**

1.2 DOEL

Voor dit project zijn een drietal doelen geformuleerd:

1. Vaststellen van de effectiviteit van infraroodbeelden voor het waarnemen van wellocaties
Inzicht in de effectiviteit van infraroodbeelden ondersteunt de waterschappen bij de afweging voor de inzet van deze technologie in de beheer- en calamiteitenstrategie.
2. Afleiden van optimale omstandigheden voor het opnemen van infraroodbeelden
Wellen zijn met behulp van infrarood te herkennen door de aanwezigheid van lokale temperatuurverschillen die kunnen duiden op waterstroming vanuit de ondergrond. Naast de buitenwaterstand hangen waarnemingen derhalve af van factoren zoals de ondergrond- en rivierwatertemperatuur. Inzicht in het effect van deze variabelen op de effectiviteit van infraroodbeelden voor het waarnemen van wellen ondersteunt de afweging voor de inzet van deze technologie.
3. Verkrijgen van informatie over wellocaties
Waarnemingen van wellocaties die volgen uit de infraroodbeelden zijn waardevol voor de waterschappen binnen wiens areaal de beelden zijn ingevlogen. Deze helpen de waterschappen bij het signaleren van eventuele risicolocaties.

1.3 AANPAK

De volgende stappen zijn doorlopen:

- Inventarisatie van infraroodbeelden en veldwaarnemingen.
- Vergelijking van veldwaarnemingen met infraroodbeelden.
- Analyseren van het gehele ingevlogen areaal.

1.4 LEESWIJZER

Een overzicht van de beschikbare gegevens is gepresenteerd in hoofdstuk 2. Daarnaast zijn de omstandigheden bij het inwinnen van deze gegevens besproken. In hoofdstuk 3 is de methode voor de analyse van de infraroodbeelden toegelicht. Vervolgens zijn in hoofdstuk 4 de resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 5 is gereflecteerd op enkele belangrijke condities die van invloed zijn op het vermogen op wellen waar te kunnen nemen. Tot slot zijn in hoofdstuk 6 de conclusie en aanbevelingen gegeven.

2

BESCHIKBARE GEGEVENS

2.1 INFRAROODBEELDEN EN LUCHTFOTO'S VLIEGTUIG

In de winter van 2023/2024 zijn infraroodbeelden en luchtfoto's vanuit een vliegtuig opgenomen voor circa 78 km primaire waterkering langs de IJssel en de Waal. De opname van de beelden is verdeeld over twee dagen en in vier deelgebieden (zie tabel 2.1). De beelden zijn ingevlogen over een gebied vanaf de dijkkruin tot 200 m richting het achterland en de resolutie van de beelden is 20x20 cm. De infraroodbeelden zijn beschikbaar op het STOWA-wellenportaal [Ref 1.].

De omstandigheden op de twee vliegdagen was verschillend (zie tabel 2.2). Het verloop van de waterstand in deze periode is gepresenteerd in figuur 2.1. De piek op 28 december 2023 heeft een herhalingsjijd van vier jaar. De piek op 7 januari 2024 is iets lager. De temperatuur in de maanden december 2023 en januari 2024 zijn gepresenteerd in figuur 2.2. De neerslag in de periode voorafgaand aan de opnamedata is gepresenteerd in figuur 2.3. Dit is een natte periode geweest waarbij in de tien dagen voorafgaand aan het eerste invliegmoment circa 100 mm neerslag is gevallen.

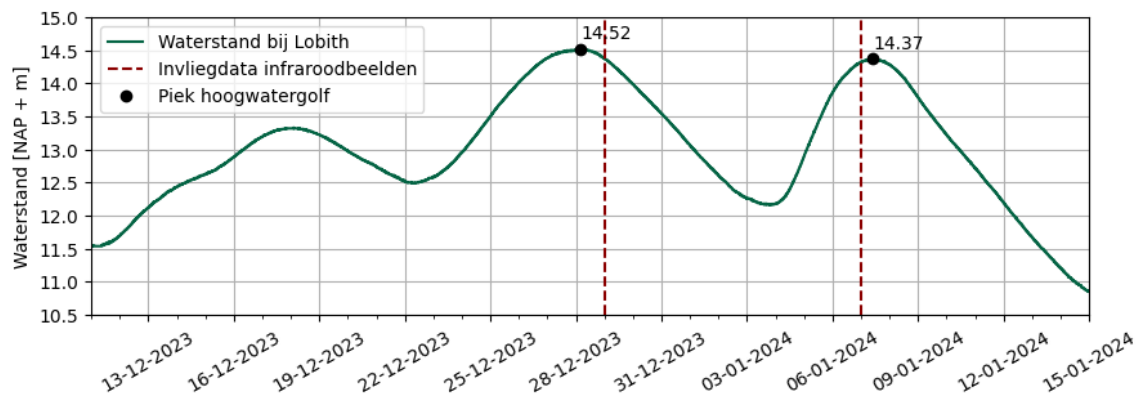
Tabel 2.1 Deelgebieden opnames infraroodbeelden en luchtfoto's

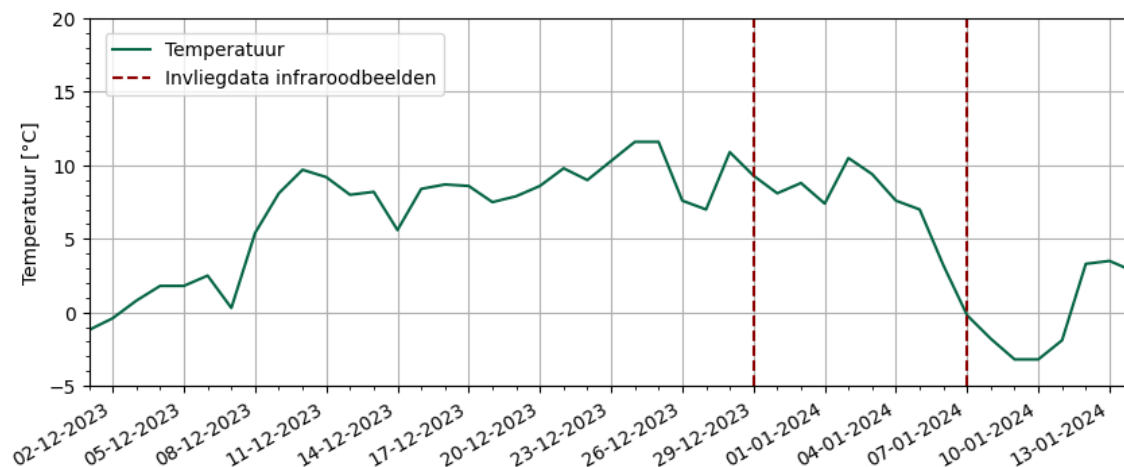
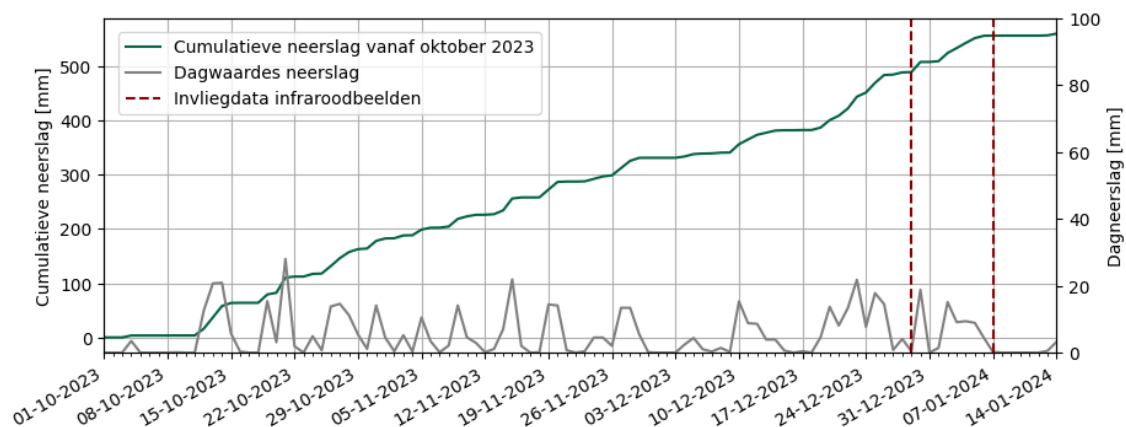
Deelgebied	Lengte [km]	Invliegdatum
IJssel-Noord	ca. 20,7	29 december 2023
IJssel-Midden	ca. 14,4	
IJssel-Zuid	ca. 23,7	7 januari 2024
Waal	ca. 18,8	

Tabel 2.2 Omstandigheden bij invliegen

Datum	Waterstand Lobith	Riviertemperatuur	
29 december 2023	ca. NAP +14,50 m (piek 28 december 2023)	8°C	9°C
7 januari 2024	ca. NAP +14,40 m (piek 7 januari 2024)	7°C	0°C

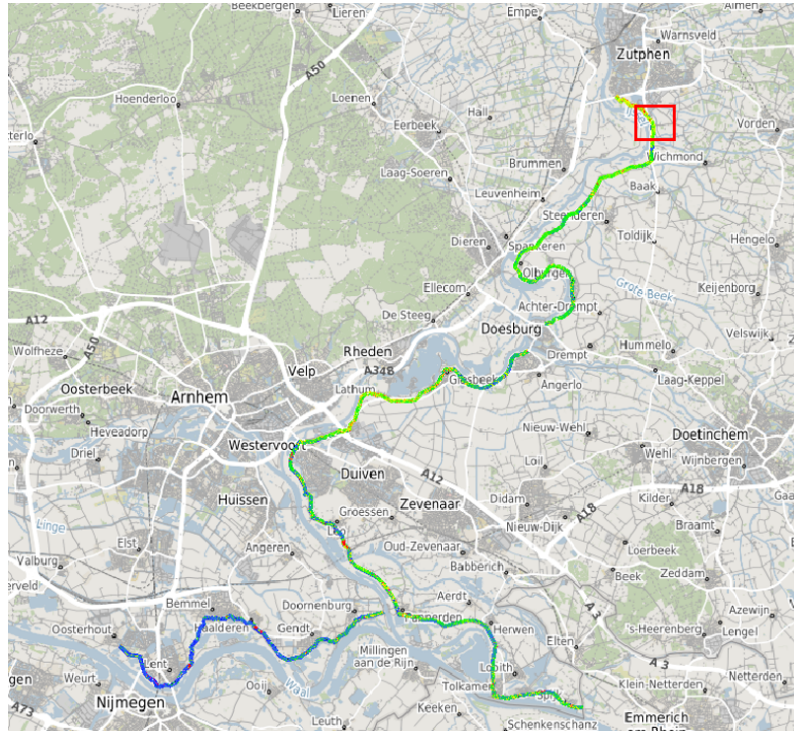
Figuur 2.1 Waterstand bij Lobith (bron: Rijkswaterstaat)



Figuur 2.2 **Temperatuur in december 2023 tot medio januari 2024 (weerstation De Bilt, bron: KNMI)****Figuur 2.3** **Neerslag oktober 2023 tot medio januari 2024 (regenstation Duiven, bron: KNMI)**

2.2 INFRAROODBEELDEN DRONE

Waterschap Rijn en IJssel heeft gedurende het hoogwater van winter 2023 infraroodbeelden genomen met behulp van een drone. Deze beelden zijn beschikbaar gesteld en toegevoegd aan het STOWA wellenportaal [Ref 1.]. Het betreft een gebied van circa 280 m bij 180 m en ligt ten zuiden van Zutphen. De dronebeelden hebben een celgrootte van 10x10 cm. De locatie van de dronebeelden is rood omkaderd weergegeven in figuur 2.4. Dit betreffen beelden die overlap hebben met de infraroodbeelden die met het vliegtuig zijn genomen. De dronebeelden zijn genomen op 22 december 2023 en zijn daarmee een week eerder genomen dan de vliegtuigbeelden. Zowel de dronebeelden als de vliegtuigbeelden van dit gebied zijn gepresenteerd in Bijlage 3.

Figuur 2.4 **Locatie dronebeelden Waterschap Rijn en IJssel**

2.3 VELDWAARNEMINGEN

Waterschap Rijn en IJssel en Waterschap Rivierenland hebben de beschikbare veldwaarnemingen van wellocaties binnen hun areaal beschikbaar gesteld voor de periode 2023/2024. Deze zijn toegevoegd aan de bestaande database met welwaarnemingen op het wellenportaal [Ref 1.]. Voor deze analyse is gefocust op de beschikbare veldwaarnemingen in de periode december 2023 - januari 2024. Dit is de periode waarin infraroodbeelden zijn ingevlogen. Voor Waterschap Rijn en IJssel zijn er binnen het areaal van de ingevlogen infraroodbeelden acht recente waarnemingen. Voor Waterschap Rivierenland zijn er binnen het ingevlogen areaal vijf waarnemingen. Voor de meeste waarnemingen geldt dat is vermeld of de waarneming een zandmeevoerende wel, nietzandmeevoerende wel of een ander type waarneming betreft.

3

METHODE ANALYSE INFRAROODBEELDEN

De infraroodbeelden zijn geanalyseerd op lokale temperatuurverschillen die kunnen duiden op kwel of wellen. In de analyse zijn twee type locaties vastgelegd:

- Kwellocaties: grotere gebieden met water op het land;
- Wellocaties: puntlocaties van geconcentreerde waterstroom.

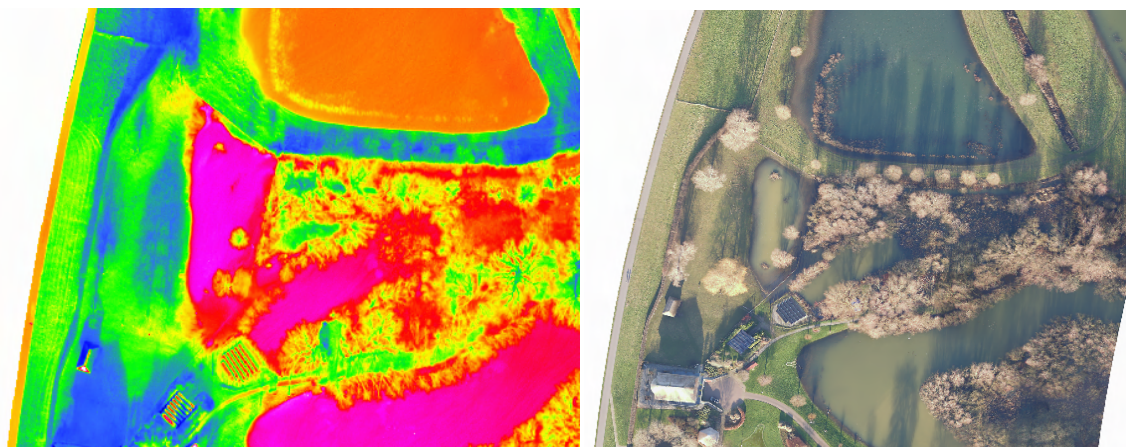
Een locatie is aangeduid als kwellocatie wanneer er op basis van de infraroodbeelden in een gebied tekenen van kwel zijn, maar er geen puntlocatie met concrete tekenen van welvorming is waar te nemen. Een locatie is als kwellocatie aangeduid wanneer:

- (Teen)sloten of waterpartijen een verhoogde temperatuur hebben ten opzichte van de omgeving of omringende sloten. Een voorbeeld is gepresenteerd in figuur 3.1.
- Het maaiveld of plassen op het maaiveld over een groter gebied (tientallen meters) een verhoogde temperatuur hebben ten opzichte van het aangrenzende maaiveld. Een voorbeeld is gepresenteerd in figuur 3.2.

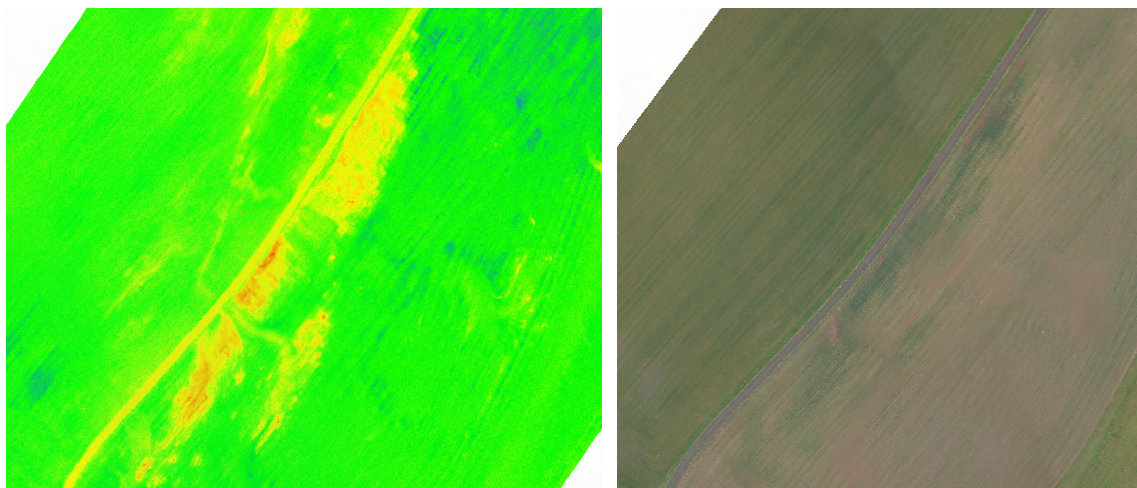
Voor locaties die aangeduid zijn als (potentiële) wellocaties zijn concrete tekenen van welvorming waar te nemen. Een locatie is aangeduid als potentiële wellocatie wanneer:

- Op het maaiveld of in plassen op het maaiveld lokaal een verhoogde temperatuur aanwezig is ten opzichte van het aangrenzende maaiveld. Een voorbeeld is gepresenteerd in figuur 3.3.
- Vanaf een locatie op het maaiveld een patroon van afstromend water is waar te nemen. Een voorbeeld is gepresenteerd in figuur 3.4.
- In een watergang lokaal een verhoogde temperatuur aanwezig is ten opzichte van verder in dezelfde watergang. Een voorbeeld is gepresenteerd in figuur 3.5.

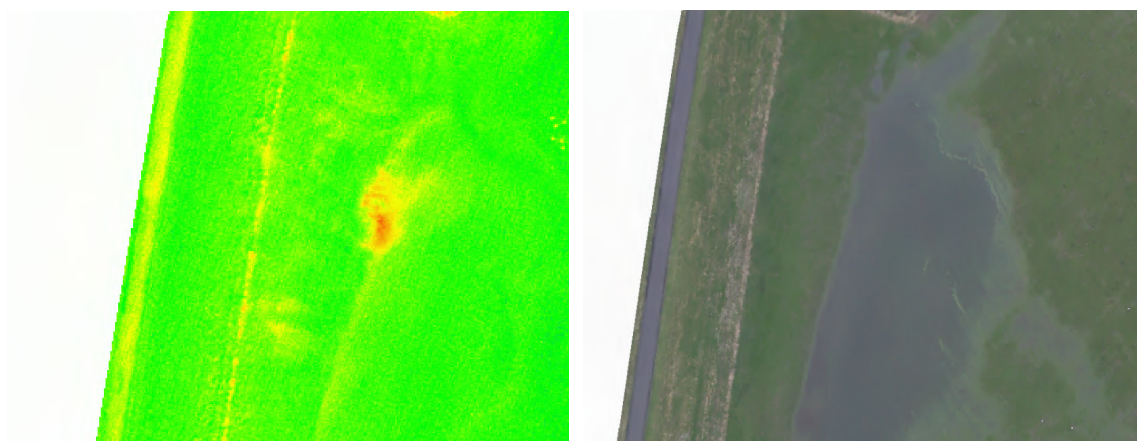
Figuur 3.1 Voorbeeld verhoogde temperatuur waterpartij (paars/roze). Noordelijk gelegen waterpartij heeft lagere temperatuur (oranje)



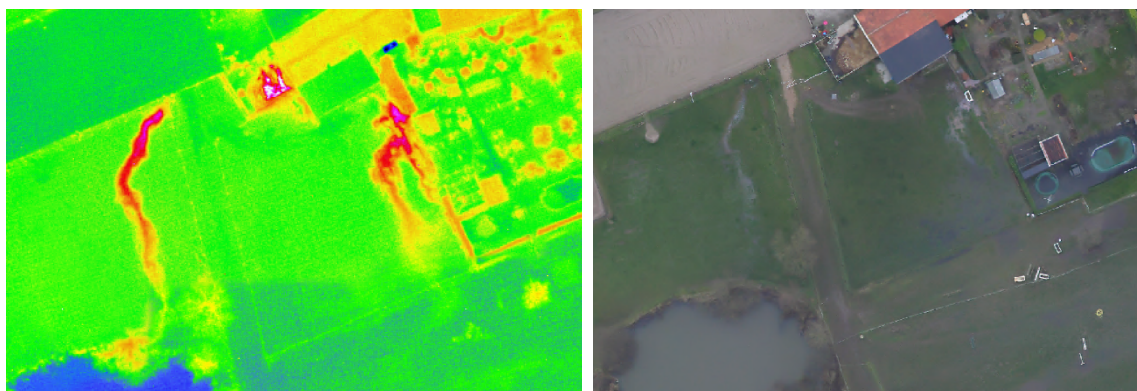
Figuur 3.2 Voorbeeld grotere warmere plek op maaiveld (ca. 150 m x 50 m)



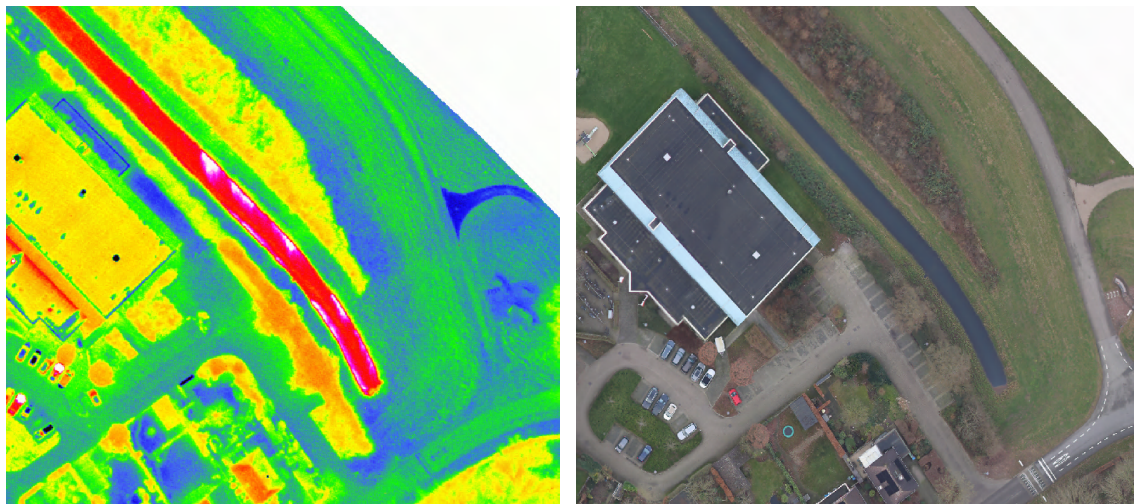
Figuur 3.3 Voorbeeld lokaal verhoogde temperatuur in plas op maaiveld (warmere plek ca. 10 m in doorsnede)



Figuur 3.4 Voorbeeld van afstromend water vanaf twee duidelijke bronnen



Figuur 3.5 **Voorbeeld lokaal verhoogde temperatuur in watergang**



4

RESULTATEN

4.1 INFRAROODBEELDEN VliegTUIG

4.1.1 SAMENVATTING

Op basis van de ingevlogen infraroodbeelden zijn 196 locaties geselecteerd als kwellocatie of als (potentiële) wellocatie. Deze locaties zijn toegevoegd aan het wellenportaal [Ref 1.] en een toelichting van deze informatie is opgenomen in Bijlage 1. Een samenvatting van de resultaten is gepresenteerd in tabel 4.1. De verdeling tussen waarnemingen onder- en bovenwater is ongeveer gelijk verdeeld. Van de waarnemingen bovenwater is de verdeling tussen kwellocatie en potentiële wellocatie eveneens gelijk verdeeld. Voor de waarnemingen onderwater geldt dat slechts circa 20% is aangeduid als potentiële wellocatie. Met infrarood wordt de temperatuur slechts oppervlakkig waargenomen. Het is daarom lastiger om wellen dieper in het water waar te nemen en verklaart waarschijnlijk het lagere percentage van potentiële wellocaties onder water.

Tabel 4.1

Resultaten waarnemingen

Aanduiding	Locatie	Aantal
Kwellocatie	Boven water	51
	Onder water	71
Potentiële wellocatie	Boven water	53
	Onder water	21
Totaal		196

4.1.2 WAARNEMINGEN

Er zijn verschillende type waarnemingen gedaan en geanalyseerd. De meeste waarnemingen moesten aanvullende worden bekeken, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de gelijktijdig ingevlogen luchtfoto, om de waarneming goed te kunnen duiden. In Bijlage 2 zijn voorbeelden opgenomen van waarnemingen en bijzonderheden.

WELLEN

Voor alle potentiële wellocaties en kwellocaties wordt verwezen naar het wellenportaal [Ref 1.].

BEBOUWING

Op de infraroodbeelden is te zien dat aanwezige bebouwing veelal warmer is dan de omgeving. Dit is te verwachten tijdens de winterperiode. Bebouwing is vanwege de vorm goed te onderscheiden en heeft derhalve geen invloed op het waarnemen van kwel- of wellocaties.

BEGROEIING

Op de infraroodbeelden is te zien dat begroeiing (vooral bomen) veelal warmer is dan de omgeving. Al is begroeiing door de vorm goed te onderscheiden kan het de waarneming van risicolocaties wel bemoeilijken. Dit geldt met name als de dijkteen dicht begroeid is of als er dichte begroeiing aanwezig is parallel aan een watergang. In dit geval zijn lokale temperatuurverschillen niet of lastig waar te nemen.

KOUDE PLEKKEN

In het deelgebied IJssel Noord en IJssel Midden zijn diverse locaties met plassen die een temperatuur hebben van rond de rivierwatertemperatuur (circa 8°C, versus een grondtemperatuur van 9°C). Er is in de periode voorafgaand aan de IR-vluchten een grote hoeveelheid neerslag gevallen. Uit figuur 23 volgt dat alleen al in de tien dagen voorafgaand aan het eerste invliegmoment circa 100 mm neerslag is gevallen. Deze neerslagplassen zijn blijkbaar kouder dan de omgeving (dijk- & maaiveldtemperatuur). De aanwezigheid van plassen door regenval bemoeilijkt de waarnemingen van (k)wellocaties omdat deze in een waterpartij of plas lastiger zijn waar te nemen dan op het maaiveld.

ZON

De aanwezigheid van zon zorgt voor de opwarming van oppervlaktes zoals oppervlaktewater, sloottaluds, begroeiing, gebouwen en het maaiveld. De mate van opwarming is afhankelijk van de eigenschappen van het betreffende oppervlak, zoals de kleur van het oppervlak, de helling van het maaiveld, de diepte van een waterpartij en de oriëntatie op de zon. In het algemeen is vastgesteld dat de aanwezigheid van zon de waarnemingen bemoeilijkt:

- Sloottaluds die op de zon georiënteerd zijn warmen (sneller) op. Op het eerste oog lijkt het wateroppervlak warmer terwijl dit eigenlijk het talud betreft.
- Sloten die op de zon georiënteerd zijn warmen meer op dan sloten die dat niet zijn. Afhankelijk van de oriëntatie ontstaan temperatuurverschillen. Een warmere sloot wordt zo mogelijk onterecht aangeduid als kwellocatie.
- Aan sloten gelegen begroeiing warmt op waardoor er sprake lijkt van warmere plekken in het water. Dit betreft echter de begroeiing.
- Oppervlaktewater warmt op. Het is moeilijk onderscheid te maken tussen door zon of door kwelwater opgewarmd oppervlaktewater. Warmer oppervlaktewater wordt mogelijk onterecht als kwellocatie aangeduid en subtiele warmteverschillen door kwel of wellen gaan verloren door collectieve opwarming door de zon.

In Bijlage 2 is een voorbeeld van een elektriciteitsmast opgenomen waaruit blijkt dat exact ter plaatse van de schaduw het maaiveld koeler is. Dit toont dat de oppervlaktetemperatuur zich snel aanpast aan veranderingen in de oriëntatie van de zon. Er is immers geen koelere plek te zien over het gebied waar de schaduw was, maar een exacte overeenkomst met de actuele schaduw. Naar verwachting zijn effecten van de zon dan ook vlot verdwenen wanneer de zon niet meer schijnt.

DIEREN

Dieren zijn op de infraroodbeelden duidelijk te herkennen en niet te verwarren met potentiële wellocaties. Dieren hebben op de infraroodbeelden een duidelijke vorm terwijl kwel of wellen meer diffuus van vorm zijn met minder scherpe overgangen. Daarnaast zijn dieren veelal duidelijk op de luchtfoto's te herkennen. Dieren vormen derhalve geen bemoeilijking voor het analyseren van infraroodbeelden. Opgemerkt wordt dat schapen door hun isolerende vacht niet zijn waar te nemen op de infraroodbeelden. Wel komen deze duidelijk naar voren als witte stip op luchtfoto's.

BROEI

In Bijlage 2 is een voorbeeld opgenomen waarop de warmteafgifte door ontbinding van organisch materiaal is waar te nemen. Dit kan optreden bij hooi, composthopen, mestopslagen en andere verzamelingen van organisch materiaal. De hierdoor waar te nemen lokale

temperatuursverhogingen zijn te onderscheiden van kwelstromen en wellen en vormen derhalve geen belemmering voor het analyseren van infraroodbeelden.

4.2 INFRAROODBEELDEN DRONE

Voor een klein gebied binnen het deelgebied IJssel Noord zijn ook infraroodbeelden beschikbaar die gemaakt zijn met een drone. De beelden zijn gezamenlijk met de vliegtuigbeelden in Bijlage 3 gepresenteerd. Bij een vergelijking van de beelden is het volgende geconstateerd:

- De dronebeelden hebben een fijnere pixelgrootte dan de vliegtuigbeelden. De pixelgrootte van de dronebeelden is 0,10 m bij 0,10 m en die van de vliegtuigbeelden is 0,20 m bij 0,20 m. Patronen van stroming lijken op de dronebeelden wat beter zichtbaar. Opgemerkt wordt dat de kleurschaal van beide beelden niet overeenkomt waardoor de dronebeelden onterecht meer variatie lijken te bevatten.
- De georeferentie van de dronebeelden is niet geheel correct. Het waterschap gaf als oorzaak dat niet met de beste nauwkeurigheid is gevlogen. Het is niet duidelijk wat de haalbare nauwkeurigheid is. Dit hangt van de kwaliteit van het GPS-systeem af.
- De temperatuur in de zuidwesthoek van de dronebeelden komt niet overeen met die van de vliegtuigbeelden. Op de vliegtuigbeelden is hier geen temperatuurverschil waar te nemen, op de dronebeelden wel en toont de plek rood. Het is onduidelijk waar dit verschil door komt. Mogelijk komt dit doordat het opnamemoment van de dronebeelden een week eerder ligt (paragraaf 2.2).
- Voor de dronebeelden zijn geen luchtfoto's beschikbaar. Dit is een nadeel bij de interpretatie van de beelden. Op luchtfoto's zijn objecten zoals plassen goed te zien. Dit is op basis van alleen infraroodbeelden lastig.

Op basis van de vergelijking is de inzet van dronebeelden voor het waarnemen van kwel- of wellocaties net zo goed mogelijk als de inzet van vliegtuigbeelden. De kwaliteit van de beelden hangt af van de camera en dus niet zozeer van de keuze tussen van het voertuig: vliegtuig of drone. De afweging tussen de twee hangt daarmee met name af van praktische zaken. Met een vliegtuig kan sneller een groot areaal worden ingevlogen waardoor de omstandigheden (temperatuur) van alle beelden gelijkwaardig zijn. Dit is bevorderlijk voor de interpretatie van de beelden. Dronebeelden zijn gezien de huidige capaciteit waarschijnlijk beter geschikt voor het real-time monitoren van (bekende) risicolocaties en niet zozeer voor gebiedsdekkende analyses, zoals is gedaan met de vliegtuigbeelden. Het is echter niet ondenkbaar dat de doorontwikkeling van dronetechnologie ertoe leidt dat drones de voorkeur krijgen boven het gebruik van vliegtuigen.

4.3 VELDWAARNEMINGEN

De met het vliegtuig ingevlogen infraroodbeelden zijn vergeleken met de beschikbare veldwaarnemingen van de periode met hoogwaters in de winter van 2023/2024. De vergelijking is opgenomen in Bijlage 4. Iedere vergelijking is voorzien van een nummer ter referentie.

Uit de analyse volgen onderstaande bevindingen:

- Alle veldwaarnemingen op het maaiveld zijn ook zichtbaar op de infraroodbeelden en hadden reeds een aanduiding gekregen in de analyse van de infraroodbeelden ('bureauwaarneming'). Dit geldt voor de nummers 1, 2, 3, 6 en, in mindere mate, 8. Ter plaatse van

vergelijking 8 is de temperatuur niet zo verhoogd als bij de overige waarnemingen. De veldwaarneming duidt de ernst echter ook als 'Niet ernstig'.

- De veldwaarneming van vergelijking 5 betreft een zandmeevoerende wel met een beperkte zand- en waterstroom in een watergang. De watergang is in de analyse van paragraaf 4.1 wel aangeduid als kwellocatie, maar niet als potentiële wellocatie. Er zijn op de locatie van de veldwaarneming geen lokaal onderscheidende temperaturen waar te nemen. Dit komt waarschijnlijk doordat het uitstromende volume beperkt is ten opzichte van het volume van de waterpartij. De wel kan de oppervlakte van de watergang lokaal niet waarneembaar opwarmen waardoor deze op de infraroodbeelden niet is te zien.
- De veldwaarneming in vergelijking 7 beschrijft dat het een gebied met veel kwel betreft. Dit is ook geconstateerd in de analyse van infraroodbeelden. Nagenoeg alle significante waterpartijen langs de Waal hebben echter een vergelijkbare of hogere temperatuur. De veldwaarneming lijkt op basis van de infraroodbeelden derhalve geldig voor alle grotere waterpartijen.
- De veldwaarneming in vergelijking 4 ligt op circa 350 m afstand van de dijkteen en valt ver buiten de infraroodbeelden. Een vergelijking met de infraroodbeelden is derhalve niet mogelijk.
- Er zijn veel potentiële wellocaties aangeduid die niet naar voren komen in de veldwaarnemingen. Een voorbeeld is gepresenteerd in vergelijking 2. De aangeduide potentiële wellocatie is door zijn ligging in een grote plas lastig toegankelijk voor inspectie. De infraroodbeelden bieden hier meerwaarde.

5

INVLOED RIVIERWATERSTAND EN WEERSOMSTANDIGHEDEN

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste factoren voor het kunnen waarnemen van kwel- en wellocaties geanalyseerd. Dit zijn de waterstand, de temperatuur van het maaiveld, het grond- en rivierwater en daaraan verbonden het seizoen van de waarneming. Uit deze beschouwing volgen conclusies en aanbevelingen voor de inzet van infraroodbeelden. Deze zijn in hoofdstuk 6 gepresenteerd.

5.1 WATERSTANDSAFHANKELIJK RISICOBELD

Alleen bij een verhoogde rivierwaterstand ontstaan kwel- en (potentiële) wellocaties welke op infraroodbeelden kunnen worden waargenomen. Deze waarnemingen geven inzicht in risicolocaties voor het faalmechanisme piping. De waterstand van de rivier, tijdens periode van de waarnemingen, is voor wellen nog relatief laag.

Bij elke andere verhoogde waterstand kunnen weer op andere plekken wellen ontstaan. De infraroodbeelden geven derhalve geen compleet beeld van locaties die op het faalmechanisme piping mogelijk een risico vormen voor de waterveiligheid. Het betreft een beeld van het risico behorende bij de optredende waterstand. Dit is relevant voor de toepassing van infraroodbeelden in de beheer- en calamiteitenstrategie van waterschappen, omdat er bij hogere waterstanden dus nieuwe risicolocaties kunnen ontstaan of bestaande ‘harder’ gaan lopen of juiste wel zand gaan meevoeren, terwijl ze dat bij een lagere waterstand niet deden. Andersom impliceert dit dat de risicolocaties in beeld zijn bij waterstanden die gelijk of lager zijn dan een waterstand waarbij infraroodbeelden zijn opgenomen en geanalyseerd. Het nogmaals invliegen van infraroodbeelden is alleen zinvol als de waterstand hoger is dan ten tijde van de vorige waarneming of als de omstandigheden zijn veranderd.

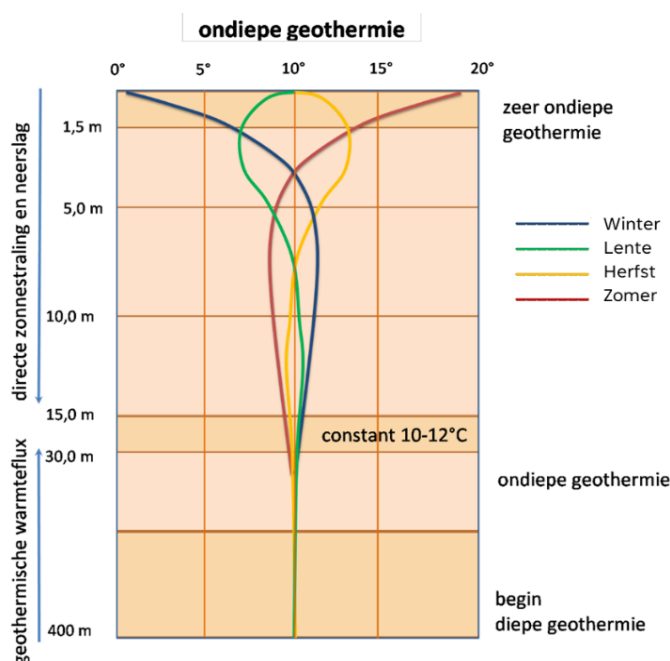
5.2 TEMPERATUUR

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 is het doen van waarnemingen op de infraroodbeelden gebaseerd op lokale temperatuurverschillen. De mate waarin deze temperatuurverschillen optreden is afhankelijk van vele factoren, zoals:

- De actuele oppervlaktetemperatuur van het maaiveld. Infrarood neemt de temperatuur zeer oppervlakkig waar. De waar te nemen oppervlaktetemperatuur is daarmee min of meer de actuele buitentemperatuur indien de zon niet schijnt. De ingevlogen infraroodbeelden bevestigen deze veronderstelling, de grondtemperatuur is bij de waarnemingen gelijk aan de buitentemperatuur (zie figuur 2.2 en tabel 2.2). De temperatuur van de grond is relevant voor de waarnemingen van wellen boven water.
- De temperatuur van waterpartijen. Deze wordt bepaald door het weerbeeld van het recente verleden, in de orde van weken. Deze temperatuur is relevant voor de waarnemingen van wellen onder water.

- De temperatuur van de diepere ondergrond, dieper dan ca. 2,0 m. Kwelwater en water uit wellen komt van een dergelijke diepte of dieper en heeft de temperatuur van de ondergrond (mits deze niet is beïnvloed door rivierwater). De temperatuur van de diepere ondergrond wordt bepaald door een langere periode van weersinvloeden en is meer seizoensgebonden. In figuur 5.1 is de temperatuurvariatie over de ondergrond per seizoen principieel weergegeven. Hier wordt na deze opsomming dieper op ingegaan.
- De temperatuur van het rivierwater. Bij een significante toestroom van rivierwater is het denkbaar dat de temperatuur van het uittredende water hierdoor beïnvloed wordt. Bij een flinke toestroom of een korte verblijftijd van toestromend water in de ondergrond zal de temperatuur van het uittredewater richting dat van de rivierwatertemperatuur gaan.

Figuur 5.1 Indicatie temperatuur ondergrond per seizoen (bron: <https://www.smartgeotherm.be/ondiepe-geothermie/>)



Het waarnemen van kwel of wellen is enkel mogelijk indien het kwelwater een andere temperatuur heeft dan het maaiveld of de waterpartij waar het water uittreedt. In de winterperiode is het water in de diepere ondergrond doorgaans warmer dan de buitentemperatuur. Kwelwater wordt derhalve waargenomen als warmer water. In de onderstaande paragrafen zijn situaties toegelicht waarbij dit niet of beperkt het geval is waardoor het waarnemen van kwel of wellen lastiger is.

5.2.1 THERMISCHE TRAAGHEID

Bij het invliegen van de deelgebieden IJssel Zuid en Waal is de buitentemperatuur 0°C en de rivierwatertemperatuur 7°C. De buitentemperatuur is echter over een periode van ongeveer een maand voorafgaand aan invliegen constant rond de 9°C geweest. Circa twee dagen voor invliegen is een sterke daling van de buitentemperatuur ingezet. Het heeft echter enige tijd nodig voordat de temperatuur van waterpartijen is aangepast aan een verandering van de buitentemperatuur. De snelheid waarmee de temperatuur zich aanpast is afhankelijk van de eigenschappen van de waterpartij zoals de diepte en het volume water ('thermische traagheid'). Als gevolg van de verandering in buitentemperatuur en verschillen in thermische traagheid ontstaan er temperatuurverschillen tussen waterpartijen. Hierdoor kan een waterpartij dus warmer zijn door kwel of doordat deze simpelweg nog warmer is. Dit bemoeit

lijkt het waarnemen van kwellocaties of potentiële wellocaties in waterpartijen. Dit is naar verwachting het geval voor de deelgebieden IJssel Zuid en Waal. Voor de analyse van infraroodbeelden is het gunstig als er enige periode van constante temperatuur is geweest. Dit voorkomt temperatuurverschillen in waterpartijen als gevolg van verschillen in thermische traagheid. Opgemerkt wordt dat temperatuurverschillen in waterpartijen ook aanwezig kunnen zijn als gevolg van invloed vanuit de diepere ondergrond (voor diepere waterpartijen) en de mate van doorstroming.

5.2.2 GRONDTEMPERATUUR

Voor het waarnemen van kwelwater op het maaiveld is het nodig dat de grondtemperatuur afwijkt van het uittredende water. Voor de deelgebieden IJssel Noord en Midden was de grondtemperatuur circa 9°C ten tijde van invliegen. Het uittredende water op potentiële wellocaties ligt op basis van de infraroodbeelden tussen circa 10°C en 12°C. Het is denkbaar dat bij een grondtemperatuur van eveneens 10°C à 12°C het doen van waarnemingen een stuk lastiger is. De buitentemperatuur en daarmee de grondtemperatuur is daarmee van groot belang.

5.2.3 RIVIERWATER

Bij het invliegen van de deelgebieden IJssel Noord en Midden bedraagt de riviertemperatuur 8°C en de grondtemperatuur 9°C. Zoals toegelicht in bovenstaande opsomming is het mogelijk dat bij een flinke toestroom of een korte verblijftijd van het rivierwater in de ondergrond de temperatuur van het uittredewater beïnvloed wordt. Wanneer rivierwater kouder is dan de grondtemperatuur kan kwelwater dus kouder tonen in plaats van warmer zoals de verwachting is op basis van de ondergrondtemperatuur. In dit geval moet in de analyse dus gelet worden op zowel warmere als koudere plekken. Een bijkomende moeilijkheid is eventuele neerslag. Zoals in paragraaf 4.1.2 besproken onder “Koudere plekken” is neerslag veelal kouder dan de buitentemperatuur. In het geval van neerslag is het lastig om onderscheid te maken tussen plassen door regen en uittredend (kouder) kwelwater. Voor de analyse van de deelgebieden IJssel Noord en Midden is het temperatuurverschil beperkt en is hier geen hinder van ondervonden. Dit zou wel het geval kunnen zijn als het temperatuurverschil tussen het rivierwater en de grondtemperatuur groter is. Het is onduidelijk in hoeverre dit de waarnemingen zou belemmeren. Dit fenomeen speelt niet wanneer de rivierwatertemperatuur hoger is dan dat van de grond. Voorzichtig wordt geconcludeerd dat het voor de analyse van infraroodbeelden daarom gunstig is dat de rivierwatertemperatuur rondom de grondtemperatuur of hoger is.

5.3 SEIZOEN VAN WAARNEMING

In figuur 51 is de variatie in ondergrondtemperatuur over de jaargetijden gepresenteerd. Als eerst naar de temperatuurlijn van de zomer, vervolgens de herfst en daarna de winter gekeken wordt, valt op dat de warmte zich als een golf richting de diepe ondergrond verplaatst. Als gevolg van deze beweging bereikt de diepere ondergrond in de winter de maximum en in de zomer de minimum temperatuur. Voor de buitentemperatuur geldt het omgekeerde. Door het verschil in temperatuur van de diepere ondergrond en de buitentemperatuur (grondtemperatuur) is het mogelijk kwelwater waar te nemen. Dit geldt dus zowel voor de zomer als de winter. Hoogwater treedt meestal 's winters op. Hoogwater is 's zomers echter niet uitgesloten zoals het hoogwater van juli 2021 heeft aangetoond. Het opnemen en analyseren van infraroodbeelden is zomers dus mogelijk kansrijk, waarbij kwelwater als koelere plek kan worden waargenomen. Het fenomeen van koelere regen zoals in paragraaf 4.1.2 besproken onder “Koudere plekken” kan waarnemingen in geval van neerslag echter

bemoeilijken. Dit geldt ook voor de invloed van zon zoals eveneens besproken in paragraaf 4.1.2. De zonnestraling is door de hoek van inval groter in de zomer en de kans op zon is eveneens groter. Infraroodbeelden opnemen in de herfst en de lente lijkt minder interessant doordat de ondergrond geen maximum of minimum in temperatuur heeft. Winter wordt daarmee als meest kansrijk geacht voor het opnemen van infraroodbeelden.

6

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIE

Uit de analyse volgt dat de inzet van infraroodbeelden een effectieve manier is voor het identificeren van kwellocaties en potentiële wellocaties. Onderstaand volgen enkele conclusies met betrekking tot de effectiviteit:

- Op basis van de beelden zijn langs circa 78 km primaire waterkering 74 locaties aangeduid als potentiële wellocaties. Dit zijn locaties waarbij duidelijke tekenen van kwel op een puntlocatie zichtbaar zijn, bijvoorbeeld door een patroon van afstromend water. In totaal zijn er 196 waarnemingen gedaan. In dezelfde periode zijn voor dit gebied 13 veldwaarnemingen gedaan. De infraroodbeelden zijn daarmee een waardevolle aanvulling op de veldinspectie.
- Wellen op het maaiveld zijn beter waarneembaar dan wellen in het water. Dit geldt met name in grotere en diepere waterpartijen omdat warmteverschillen als gevolg van kwel uitspreiden. In sloten zijn temperatuurverschillen door de beperkte omvang beter waar te nemen.
- Uit een vergelijking met veldwaarnemingen volgt dat voor bijna alle veldwaarnemingen geldt dat er ook een aanduiding is gegeven in de analyse van de infraroodbeelden¹. Kleine wellen in waterpartijen zijn echter lastig waarneembaar doordat deze geen significant temperatuurverschil veroorzaken.
- Er zijn diverse potentiële wellocaties aangeduid waar geen veldwaarnemingen beschikbaar zijn. De infraroodbeelden zijn van toegevoegde waarde wanneer zich hiertussen wellen bevinden. Dit wordt als zeer waarschijnlijk geacht gezien de stroompatronen bij enkele waarnemingen, de bodemopbouw en de nabijheid van historische welwaarnemingen.
- Infrarood bereikt ook lastig toegankelijke locaties, locaties waar een veldinspecteur moeilijk komt door bijvoorbeeld een nat achterland of een gebrek aan een weg of pad naar de locatie. Infrarood biedt hier toegevoegde waarde.
- Infrarood is minder effectief ter plaatse van dichte begroeiing. Op de infraroodbeelden wordt namelijk de temperatuur van de begroeiing geregistreerd, wat het lastiger maakt om kwel of wellen op de grond of in het oppervlaktewater waar te nemen. Het waarneemen van patronen van afvloeiend water naast de begroeiing is wel mogelijk.
- Dronebeelden zijn eveneens geschikt voor het nemen van infraroodbeelden. Naar verwachting is het door de lagere snelheid echter lastig om grote delen in één keer in te vliegen. Drones worden daarom gezien als een geschikt middel voor het real-time monitoren van (bekende) risicolocaties en niet zozeer voor gebiedsdekkende analyses. De doorgaande ontwikkeling van dronetechnologie kan hier verandering in brengen.

¹ Opgemerkt wordt dat voor een objectieve vergelijking de infraroodbeelden zijn geanalyseerd zonder gebruik te maken van de veldwaarnemingen.

Daarnaast zijn enkele bevindingen gedaan met betrekking tot de (weers)omstandigheden voorafgaand en tijdens het opnemen van de infraroodbeelden in relatie tot de effectiviteit:

- Het analyseren van infraroodbeelden is optimaal wanneer warmteverschillen op het maaiveld en in waterpartijen als gevolg van andere oorzaken dan kwel minimaal zijn. Het is daarom gunstig als er voorafgaand aan de infraroodmetingen enige periode van constante buitentemperatuur is geweest zodat waterpartijen zoveel mogelijk dezelfde temperatuur hebben voorafgaand aan het hoogwater. In dit geval zijn er geen warmteverschillen te verwachten als gevolg van verschillen in opwarm- en afkoelsnelheden (thermische traagheid) van waterpartijen (zie paragraaf 5.2.1).
- De aanwezigheid van zon bemoeilijkt het doen van waarnemingen op infraroodbeelden. Zonneschijn veroorzaakt veel temperatuurverschillen die afleiden bij het analyseren van de beelden. Daarnaast warmt het oppervlakkige waterpartijen op waardoor het niet zeker is of dit door zon of door kwel komt. Wel wordt voor het maaiveld voorzichtig geconcludeerd dat het effect van zon snel verdwijnt zodra de zon niet meer schijnt (zie paragraaf 4.1.2). Voor waterpartijen is deze waarneming niet gedaan en is dit waarschijnlijk afhankelijk van de mate van opwarming door de zon.
- Het is gunstig als het rivierwater ('s winters) warmer is dan de grondtemperatuur. Zo kan koude neerslag niet verward worden met kwel (zie paragraaf 5.2.2).
- Het is belangrijk dat de buitentemperatuur en daarmee de grondtemperatuur een aantal graden afwijkt van de temperatuur van het water uit de diepere ondergrond. Zo zijn temperatuurverschillen als gevolg van kwel goed waarneembaar.
- Het gelijktijdig opnemen van luchtfoto's ondersteunt de interpretatie van infraroodbeelden.

Samengevat zijn de onderstaande omstandigheden optimaal voor het invliegen van infraroodbeelden:

- Er is een hoge buitenwaterstand. Naar ervaring van de keringbeheerders is het doen van waarnemingen langs de Rijntakken niet zinvol onder een waterstand van NAP +13,50 m bij Lobith.
- Het is winter. De diepere ondergrond is op zijn warmst en de kans op hinderlijk zon en een nadelig effect op de analyse door neerslag is minder groot (zie paragraaf 5.3).
- De buitentemperatuur is enkele graden kouder dan in de diepere ondergrond (winter). Op basis van de analyse lijkt 9°C een redelijke bovengrens voor de buitentemperatuur om waarnemingen te doen (zie paragraaf 5.2.2), dit is echter onzeker.
- Er is enige periode sprake geweest van een constante temperatuur. Dit beperkt het nadelige effect van verschillen in thermische traagheid (zie paragraaf 5.2.1).
- De zon schijnt niet ten tijde van de opname.
- De temperatuur van het rivierwater is warmer dan de buitentemperatuur (zie paragraaf 5.2.3).
- Er is beperkt neerslag geweest (zie in paragraaf 4.1.2 "Koudere plekken"). Indien er veel neerslag is geweest is het gunstig als de rivierwatertemperatuur warmer is dan de grondtemperatuur (zie paragraaf 5.2.3).

6.2 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden gegeven:

- Het invliegen van infraroodbeelden is een effectieve manier voor het in kaart brengen van risicogebieden voor het faalmechanisme piping. Het wordt waterschappen aanbevolen om het gebruik van infraroodbeelden in de beheerstrategie af te wegen. Dit biedt informatie voor de beoordeling en verbetering van waterkeringen, bijvoorbeeld door identificatie van probleemlocaties, toepassen van de beslisboom piping [Ref 2.] en mogelijk het toepassen van bewezen sterkte. Infraroodbeelden hebben de potentie om ook meerwaarde te bieden in het geval van calamiteiten. De huidige werkwijze gaat echter gepaard met enige verwerkingstijd in verband met de duur van het invliegen, nabewerking (samenvoegen en uniformiseren), en opleveren van de beelden en bijbehorende gegevens. Vervolgens kost het enige tijd om deze beelden te analyseren op risicolocaties. Dit hele proces gaat gepaard met een verwerkingstijd in de orde van dagen waarmee inzet in het geval van calamiteiten op dit moment als beperkt kansrijk wordt geacht. Ontwikkelingen op het gebied van de nabewerking van de ingevlogen beelden dragen bij aan een snellere beschikbaarheid en kunnen de kansrijkheid voor toepassing op calamiteiten vergroten.
- Het wordt aanbevolen om bij de inzet van infraroodbeelden de kwaliteit van de omstandigheden in relatie tot de optimale omstandigheden (voorgaande paragraaf) af te wegen tegen de significantie van de hoogwaterstand. Het kan doelmatig zijn om een hoogwater met een jaarlijkse herhalingsstijd bij suboptimale omstandigheden niet in te vliegen. Deze treedt waarschijnlijk spoedig weer op met wellicht gunstigere omstandigheden. Een 1/10 jaar hoogwater is daarin tegen vrij zeldzaam draagt veel informatie in zich waardoor het sneller interessant wordt om in te vliegen, ook al zijn de omstandigheden niet ideaal.
- Voor de analyse van infraroodbeelden is het nuttig om te weten of eventuele voorlanden onder water staan en of het buitenwater tegen de kering aan staat. Daarnaast is het van belang de buitenwatertemperatuur te weten. De in voorliggende rapportage geanalyseerde beelden zijn echter begrensd op de kruinlijn waardoor deze informatie niet beschikbaar is. Het wordt aanbevolen om de invlieggrenzen te verruimen tot circa 50 m buitendijks van de kruin zodat deze informatie wel beschikbaar is.
- Voorafgaand aan het analyseren van infraroodbeelden wordt aanbevolen om het recente weerbeeld te analyseren, zoals voor deze analyse gedaan is in hoofdstuk 2. Dit ondersteunt de interpretatie van infraroodbeelden.
- Het is van belang om herhaaldelijk waarnemingen te verrichten bij verschillende rivierwaterstanden. Dit dient systematisch, nauwkeurig en nauwgezet te worden uitgevoerd. Het verzamelen van waarnemingen van kwel en zandmeevoerende wellocaties is van belang om meer begrip en kennis te krijgen voor onder andere de beoordeling van de waterkering. De waarnemingen geven bijvoorbeeld kennis van de lokale geohydrologische omstandigheden of de kans op het faalmechanisme piping. Hiermee sluit het aan op het 'verhaal van de kering' dat bij toekomstige beoordelingen een meer prominente plek krijgt.
- Gezien het nut van waarnemingen is het belangrijk om landelijk aandacht te besteden aan de registratie van deze waarnemingen. Daarbij is het belangrijk om beheerders te ondersteunen in de systematische registratie zodat deze de maximale informatie dragen en optimaal benut kunnen worden. Zie hiervoor ook het landelijk draaiboek voor de registratie van wellen [Ref 3.].

7

REFERENTIES

[Ref 1.] Wellenportaal, STOWA, www.wellenportaal.nl. Geraadpleegd juli 2024

[Ref 2.] Factsheet Beslisboom piping, Waterschap Rivierenland, 2017

[Ref 3.] Landelijk Draaiboek Registratie Wellen

BIJLAGE 1

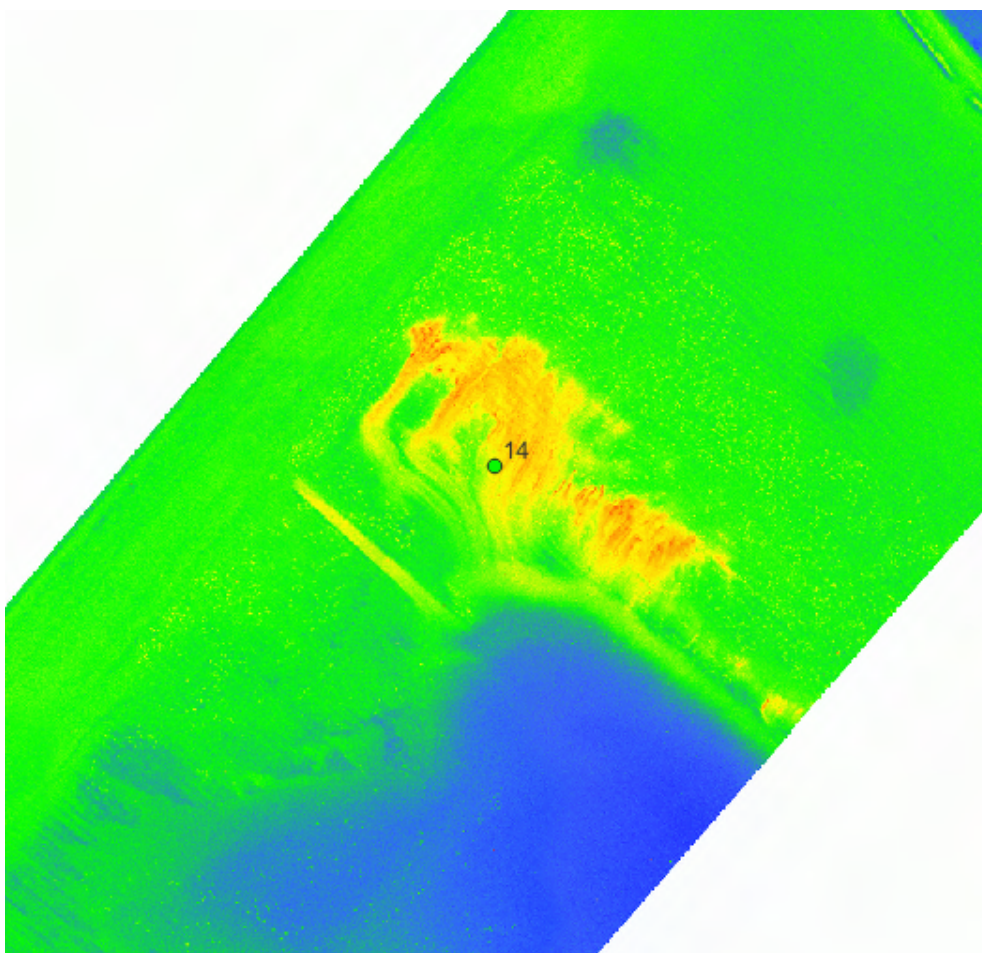
BESCHRIJVING GIS-LAAG WAARNEMINGEN INFRAROOD VLIEGTUIG

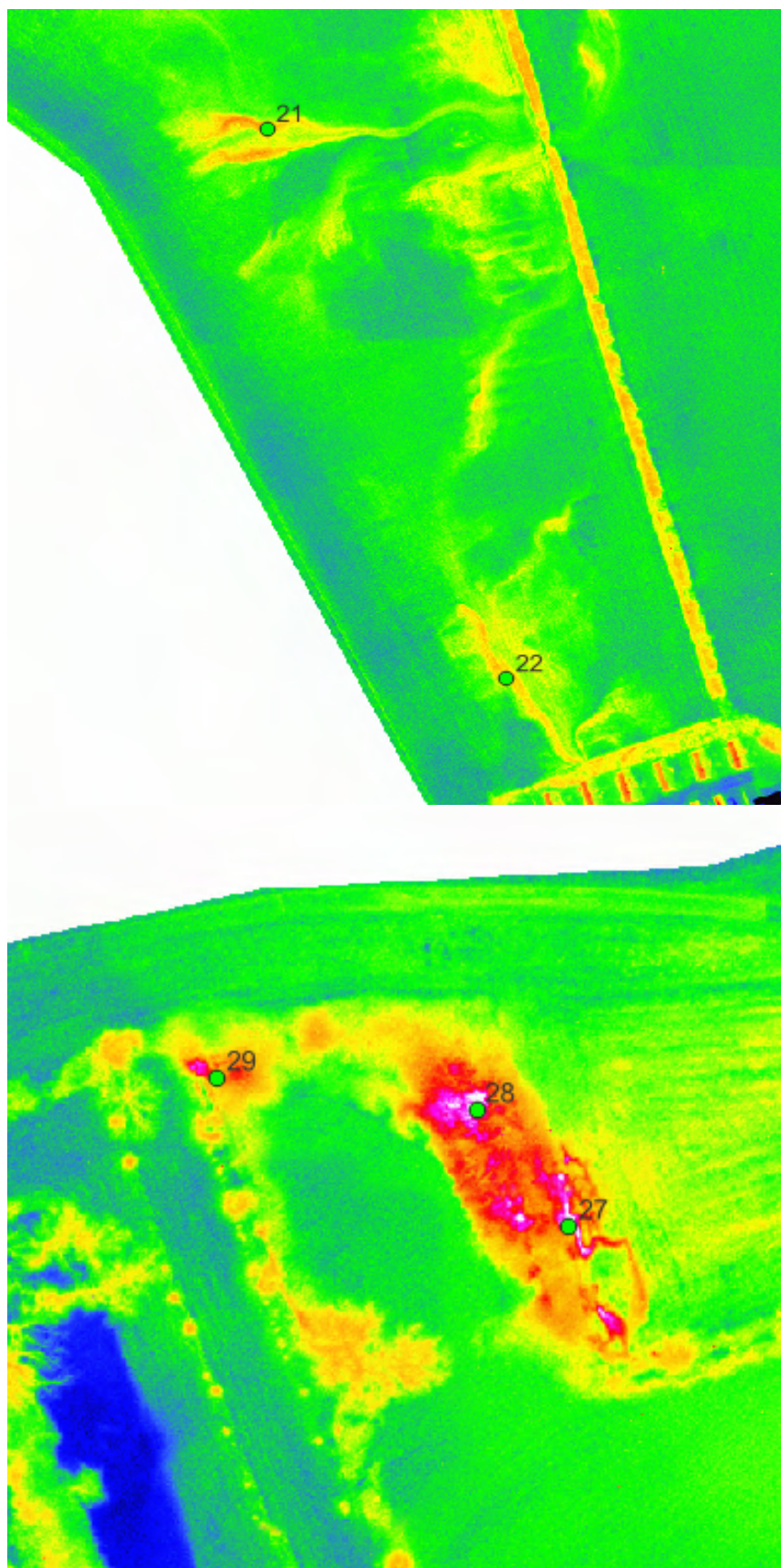
Veld	Inhoud
Id	Uniek kenmerk
Locatie	Waterpartij / sloot / plas / maaiveld
Kenmerk	Beknopte omschrijving van de waarneming.
RisicoType	Aanduiding voor risico. Betreft het een potentiële wel of waarschijnlijk een kwelgebied
Toelicht	Uitgebreidere toelichting op de waarneming.
WelLocRec	Zijn op deze locatie of binnen enige afstand in 2023/2024 wellen geregistreerd?
WelLocHist	Zijn op deze locatie of binnen enige afstand in het verleden waargenomen?
DatumIR	Datum van invliegen infraroodbeelden

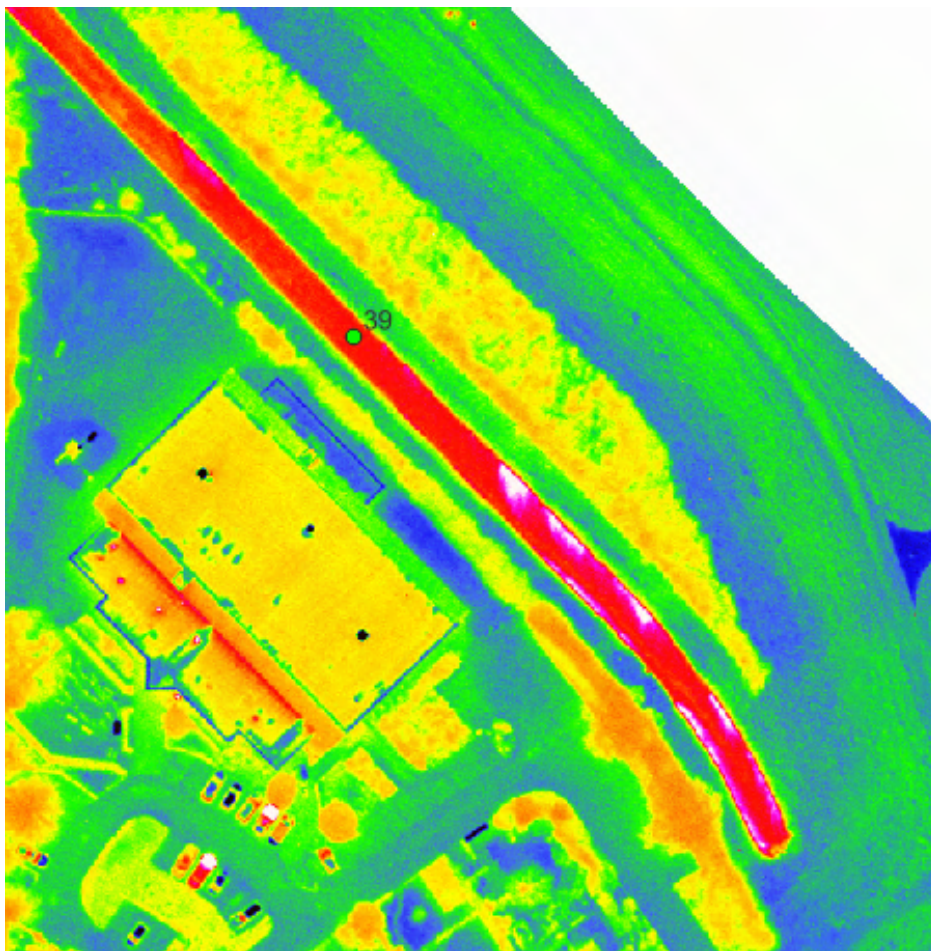
BIJLAGE 2

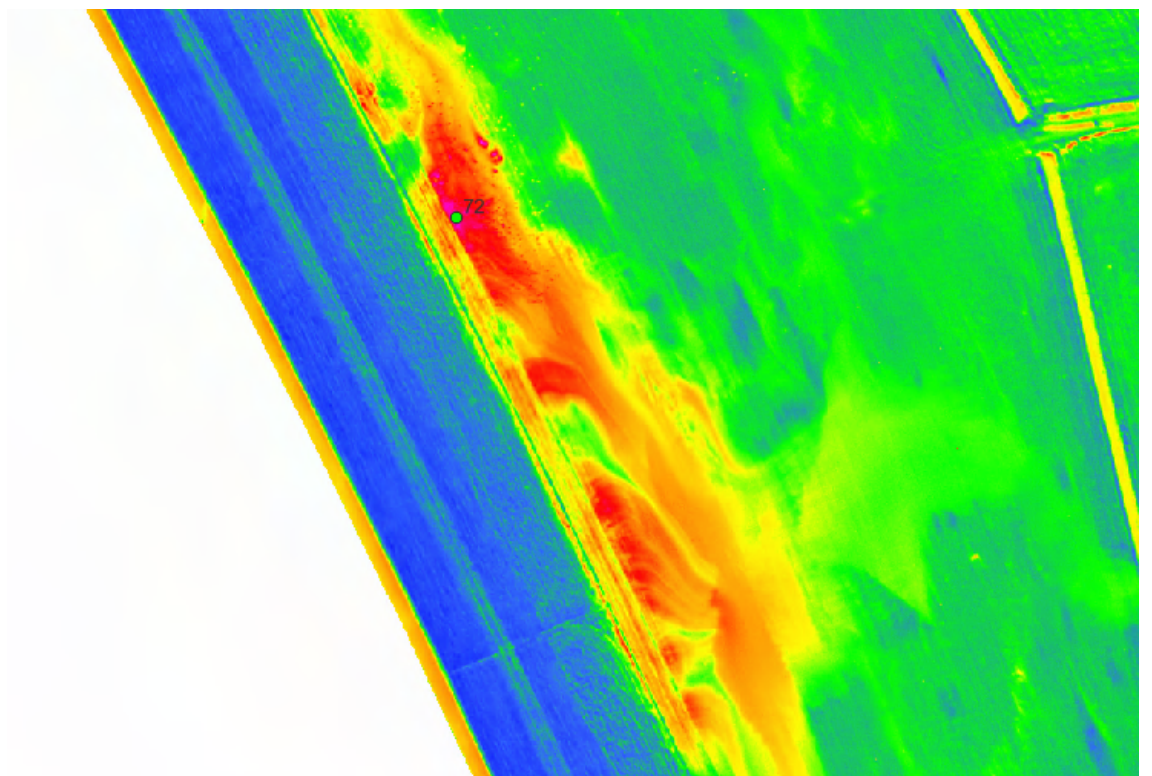
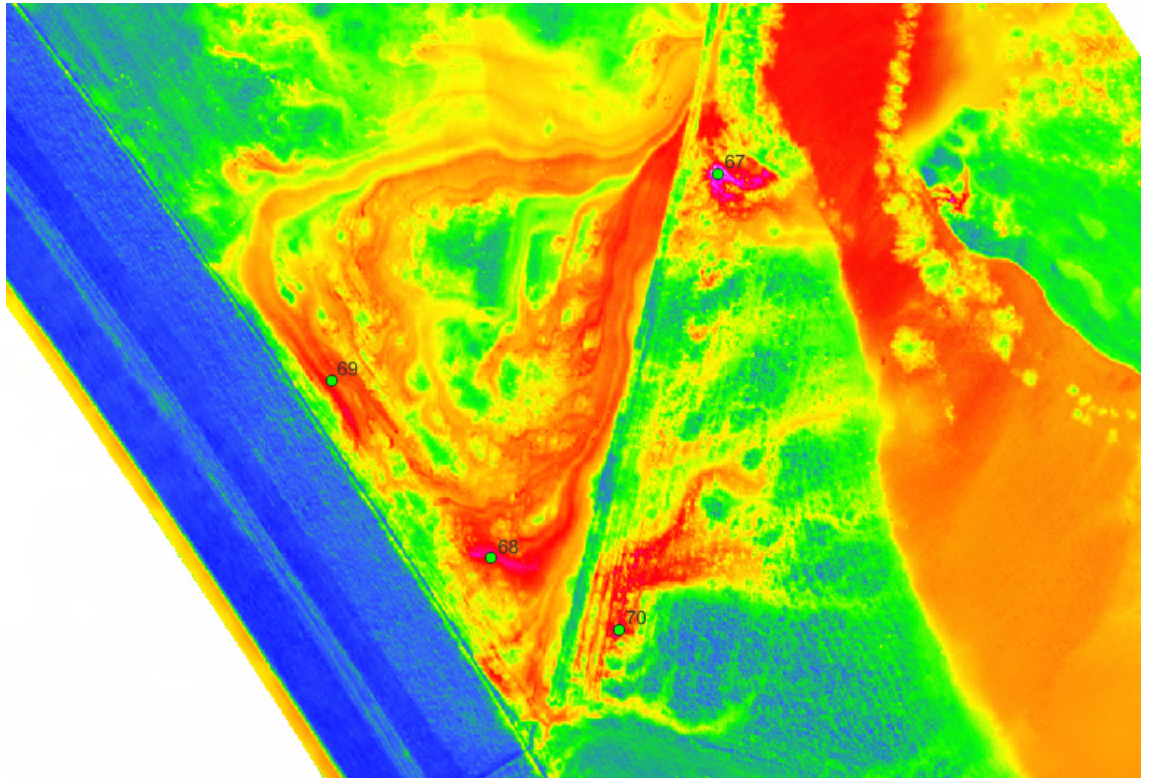
BIJZONDERHEDEN ANALYSE INFRAROODBEELDEN

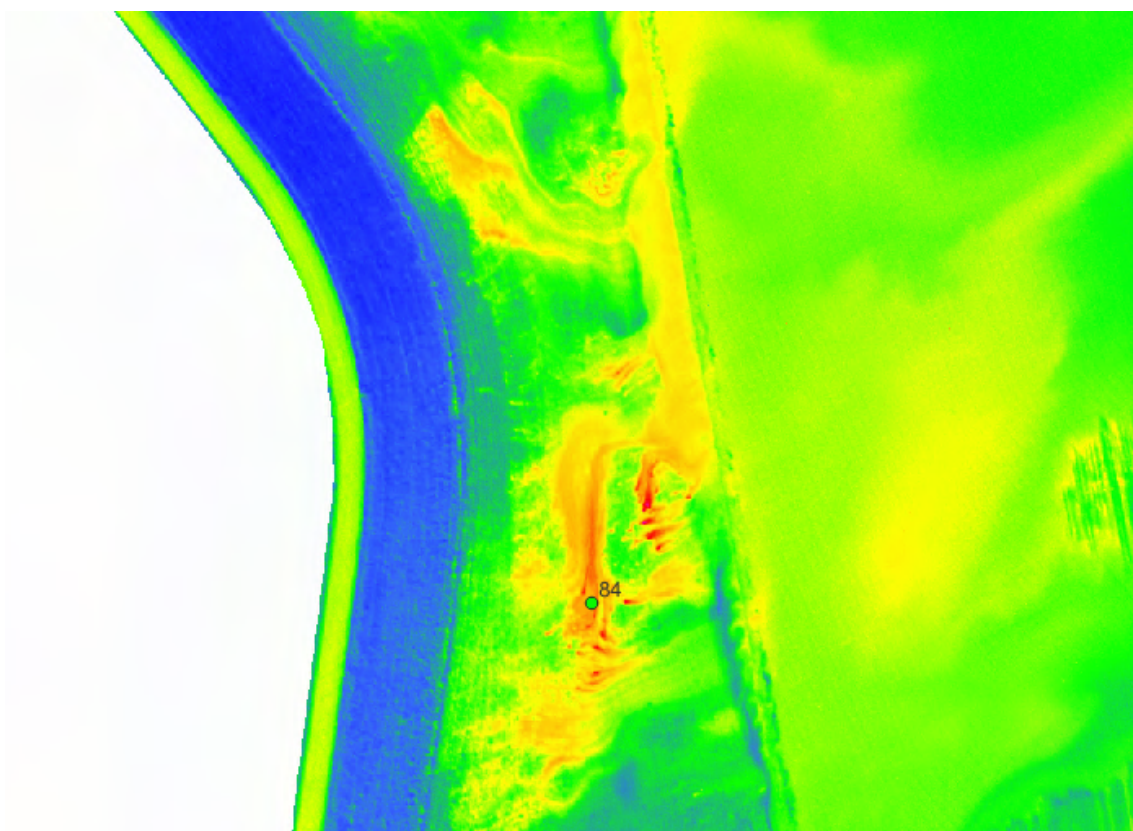
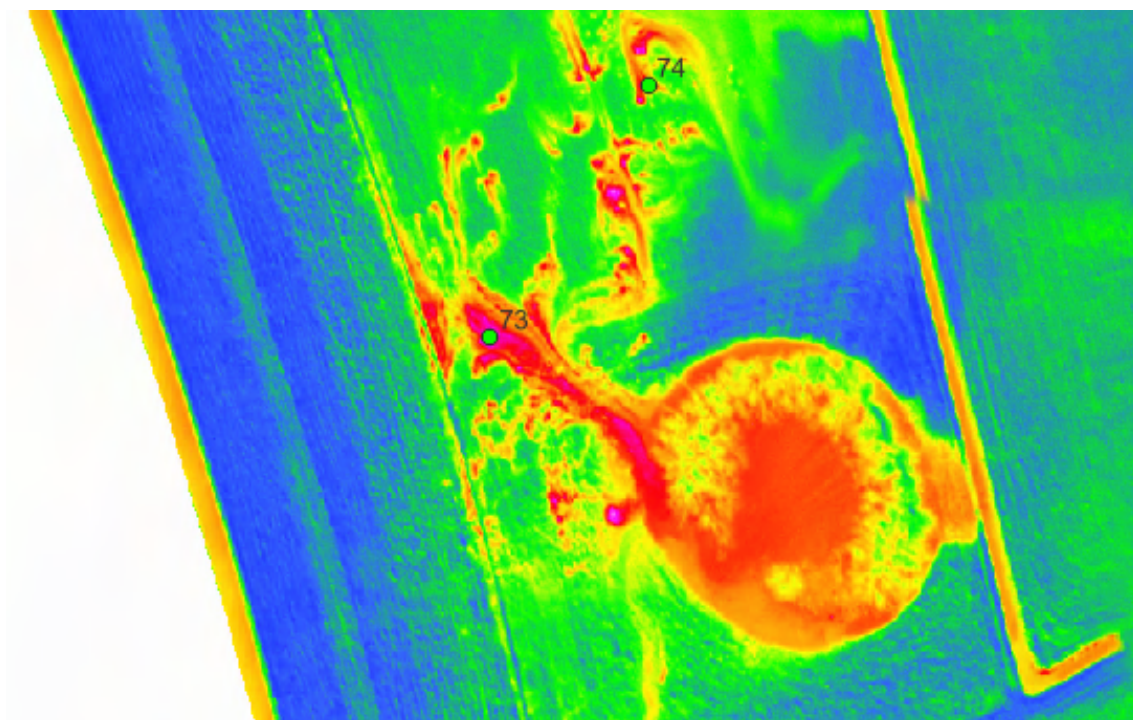
Bijzonderheid	Wellocaties
Toelichting	Enkele voorbeelden van locaties die op basis van de infraroodbeelden zijn aangeduid als potentiële wellocatie.



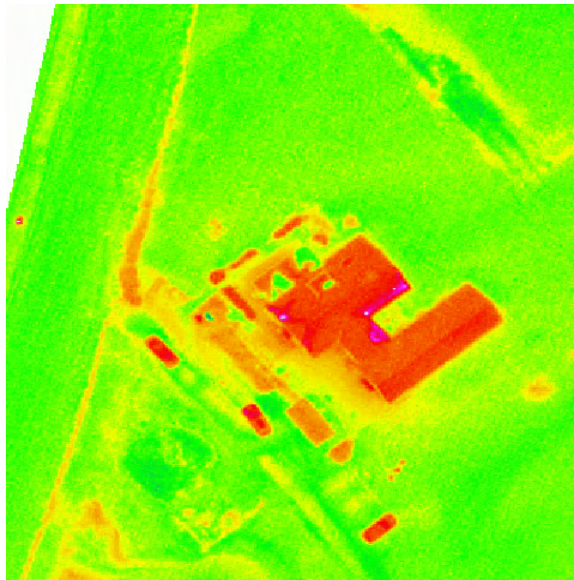




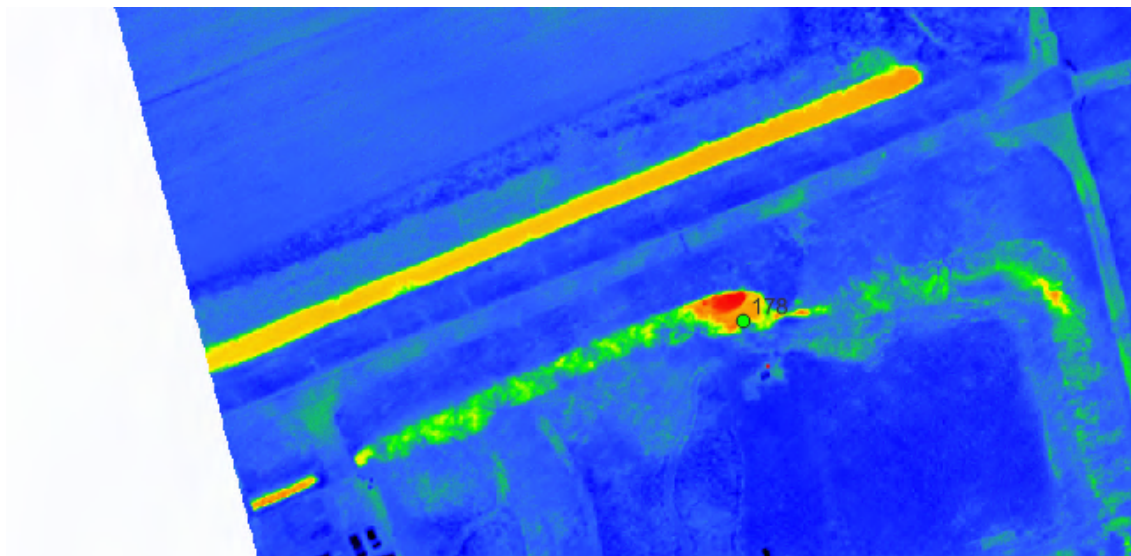




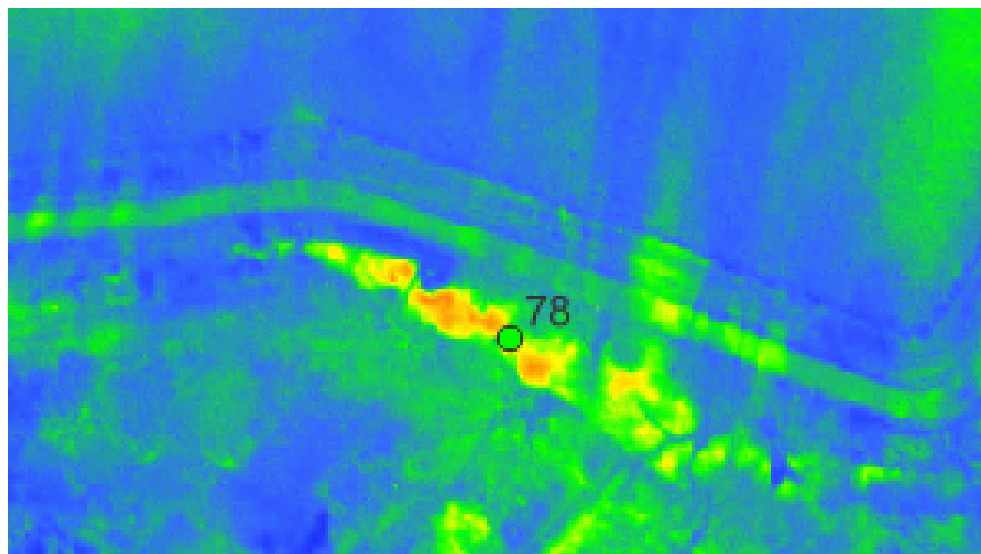
Bijzonderheid	Bebouwing
Toelichting	Bebouwing is vanwege de vorm goed te onderscheiden en niet te verwarren met kwel of wellen.



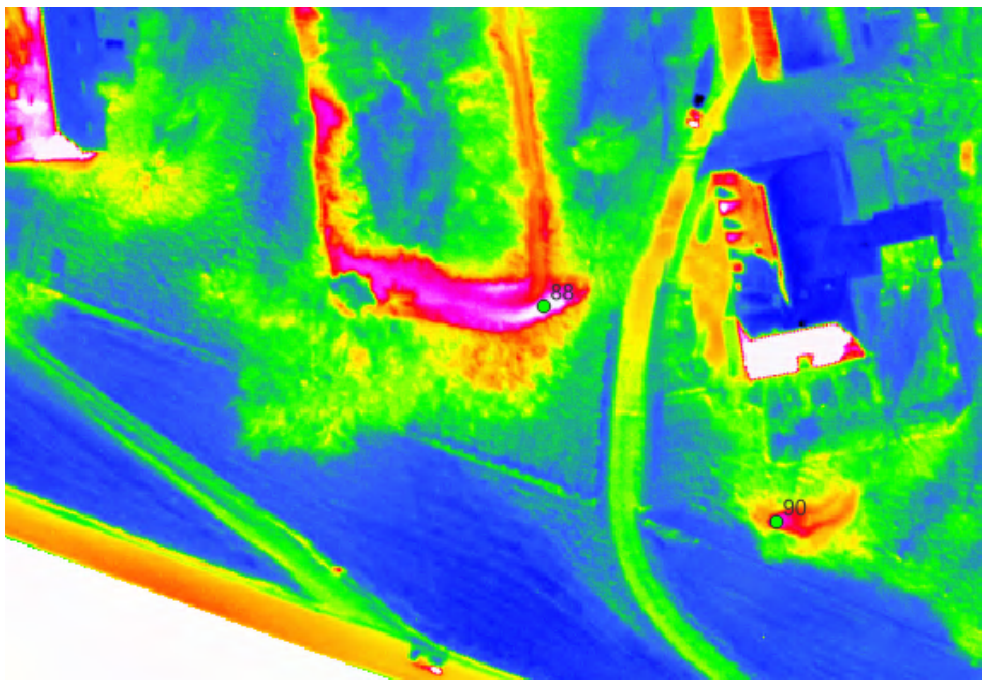
Bijzonderheid	Begroeiing
Toelichting	De rechterkant van deze kopsloot laat een temperatuurverschil zien ten opzichte van het links gelegen deel. Het linker deel is echter bijna geheel bedekt door begroeiing. Het is mogelijk dat de gehele sloot een uniform hogere temperatuur heeft maar dat de begroeiing het doen van deze waarneming hindert.



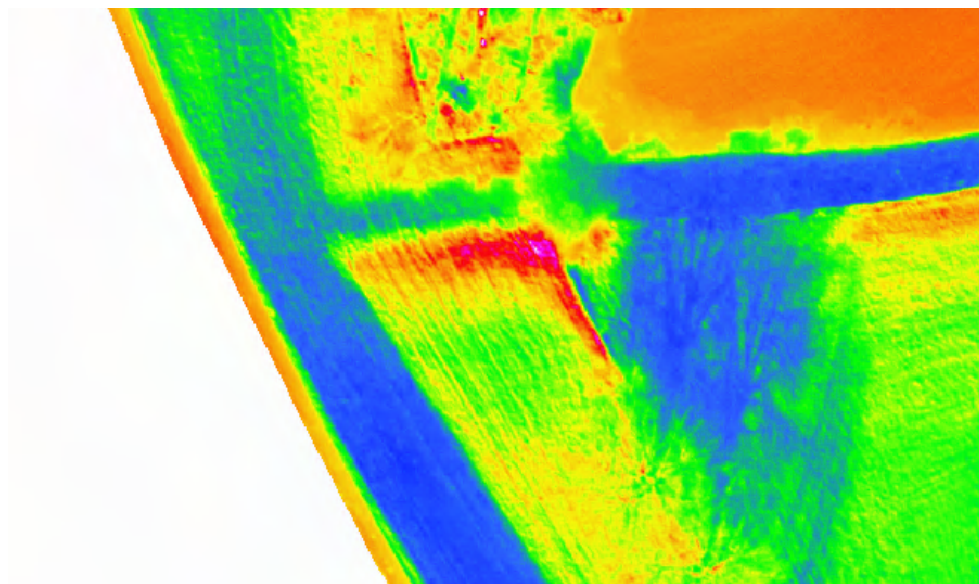
Bijzonderheid	Begroeiing
Toelichting	Sloot die deels is bedekt met begroeiing. Dit resulteert in een vlekkelig patroon van temperatuurverschillen. Eventuele lokaal onderscheidende warmere plekken zijn daardoor lastig waarneembaar.



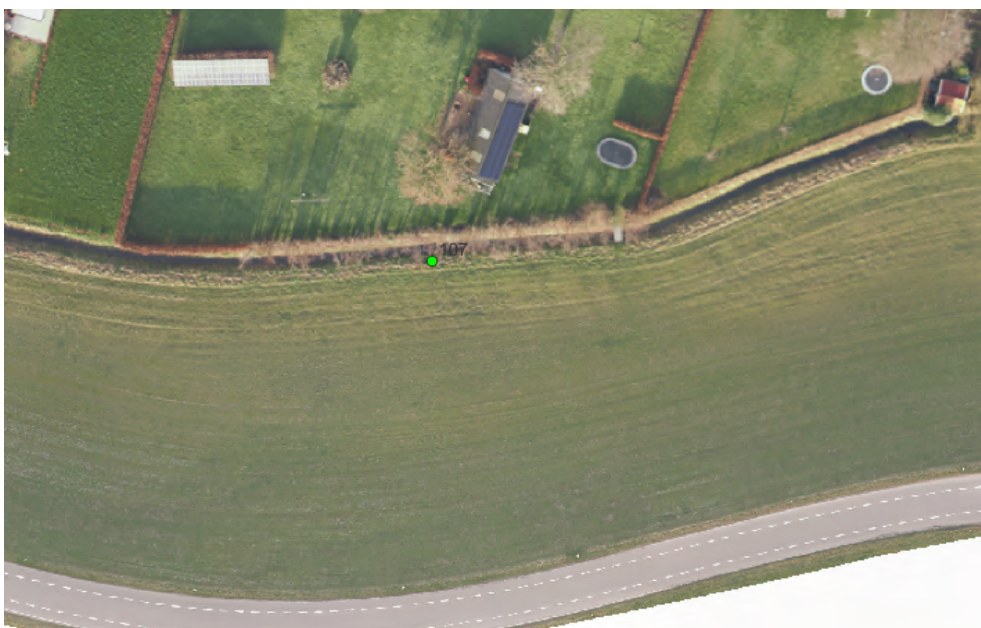
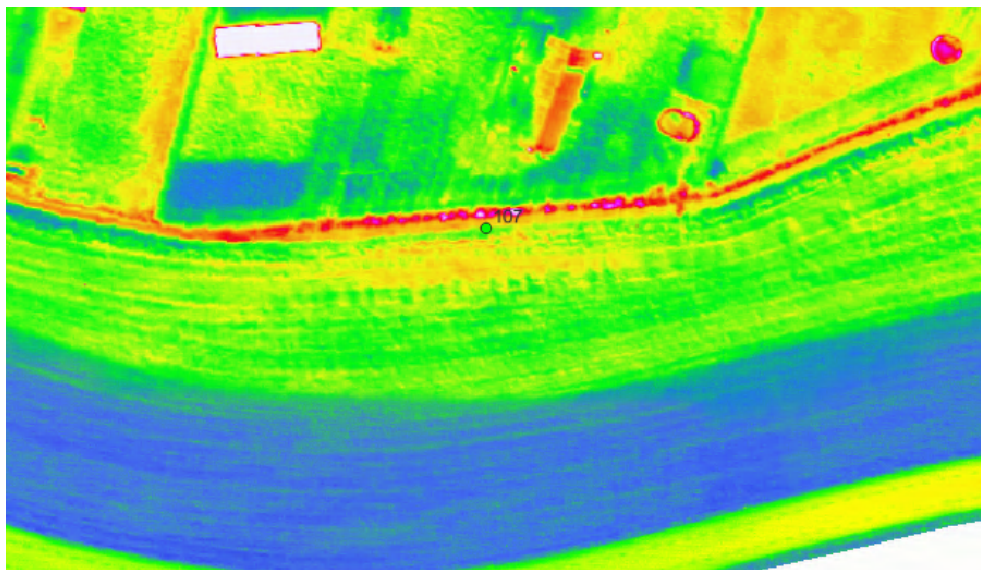
Bijzonderheid	Zon
Toelichting	Ondiepe plas met warmere plek aangeduid als potentiële wellocatie. Maar onzeker is wat het effect van de zon op de temperatuur in deze ondiepe plas is.



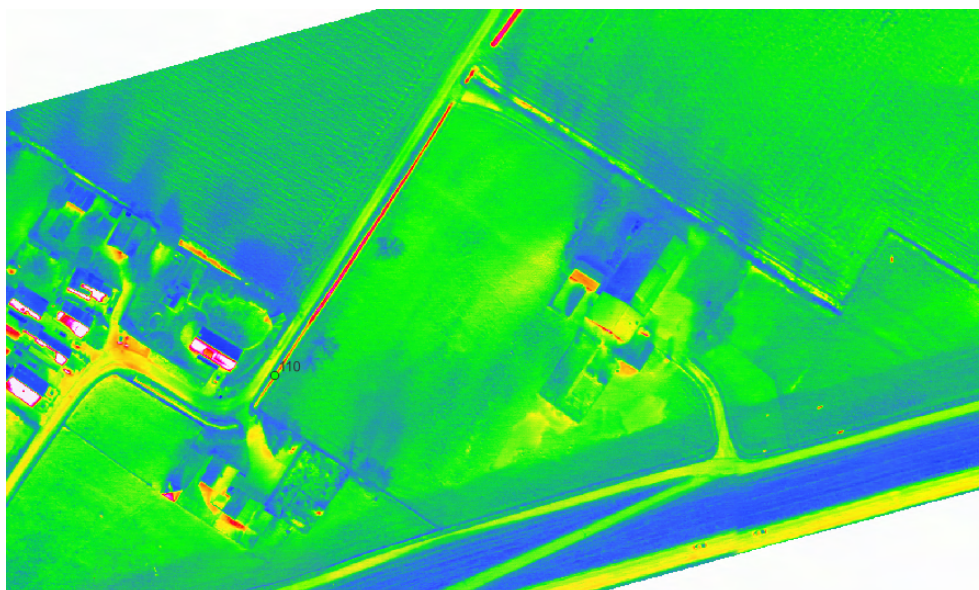
Bijzonderheid	Zon
Toelichting	Voorbeeld van een hellend oppervlak op een grondlichaam dat meer zonnestraling ontvangt en daardoor warmer is.



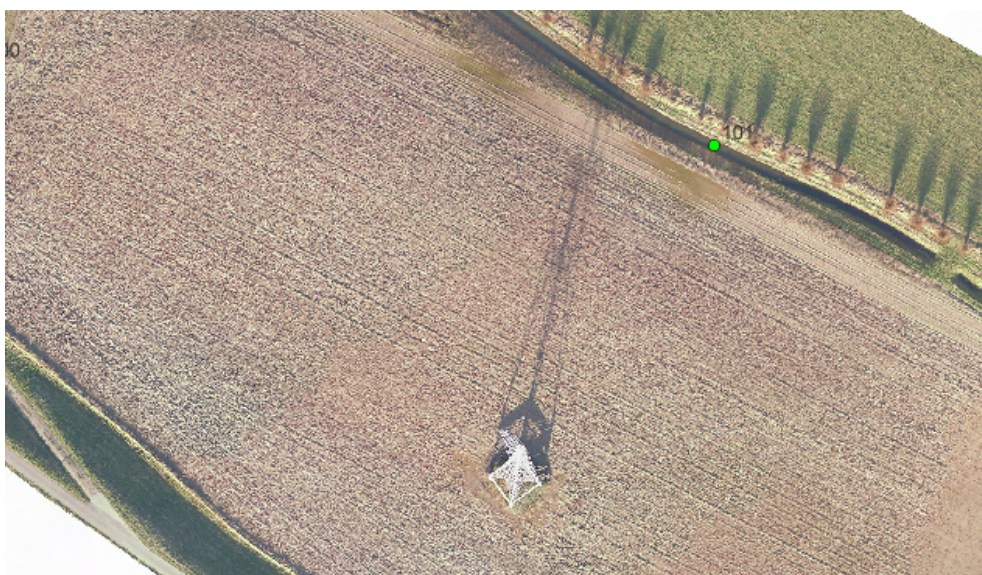
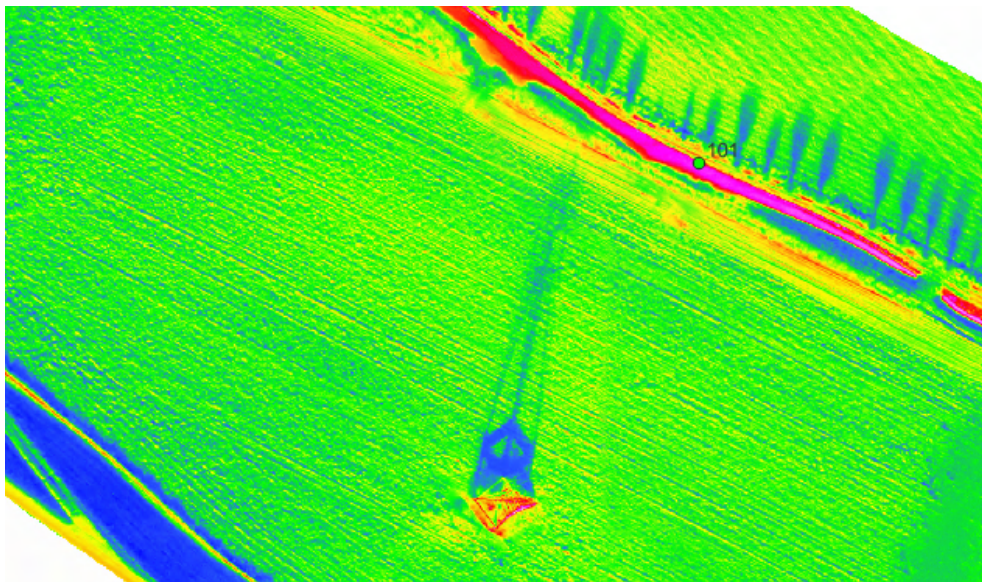
Bijzonderheid	Zon
Toelichting	Teensloot met begroeiing. Er lijkt sprake te zijn van warmere plekken maar dit wordt mogelijk veroorzaakt door de begroeiing die door de zon opgewarmd is.



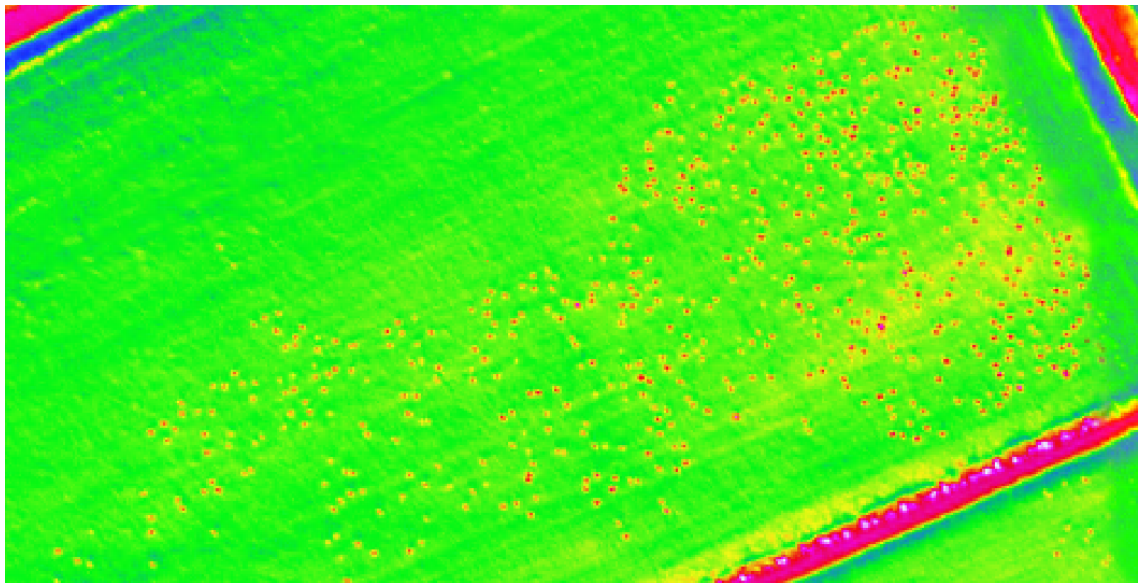
Bijzonderheid	Zon
Toelichting	Twee sloten die onder een hoek van 45 graden op de kering staan. Eén toont een stuk warmer dan de nader. De warmere sloot ligt echter in de zondrichting geïoriënteerd, de andere juist haaks op de zonrichting. Mogelijk is het temperatuurverschil te verklaren door de zon.

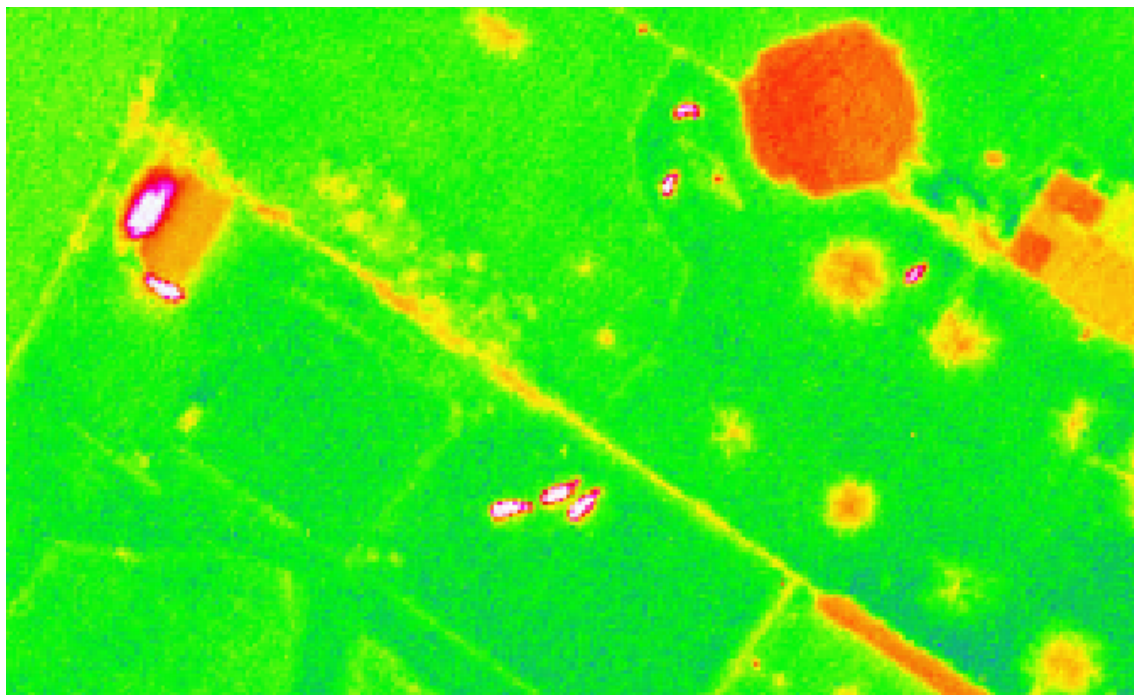


Bijzonderheid	Zon
Toelichting	De schaduw van de elektriciteitsmast heeft een exacte overlap met een koelere plek op het land. Dit toont dat de waar te nemen oppervlaktetemperatuur zich snel aanpast aan veranderingen in de oriëntatie van de zon. Er is immers geen koelere plek te zien over het gebied waar de schaduw was, maar een exacte overeenkomst met de huidige schaduw. Naar verwachting zijn effecten van de zon dan ook vlot verdwenen wanneer de zon niet meer schijnt.

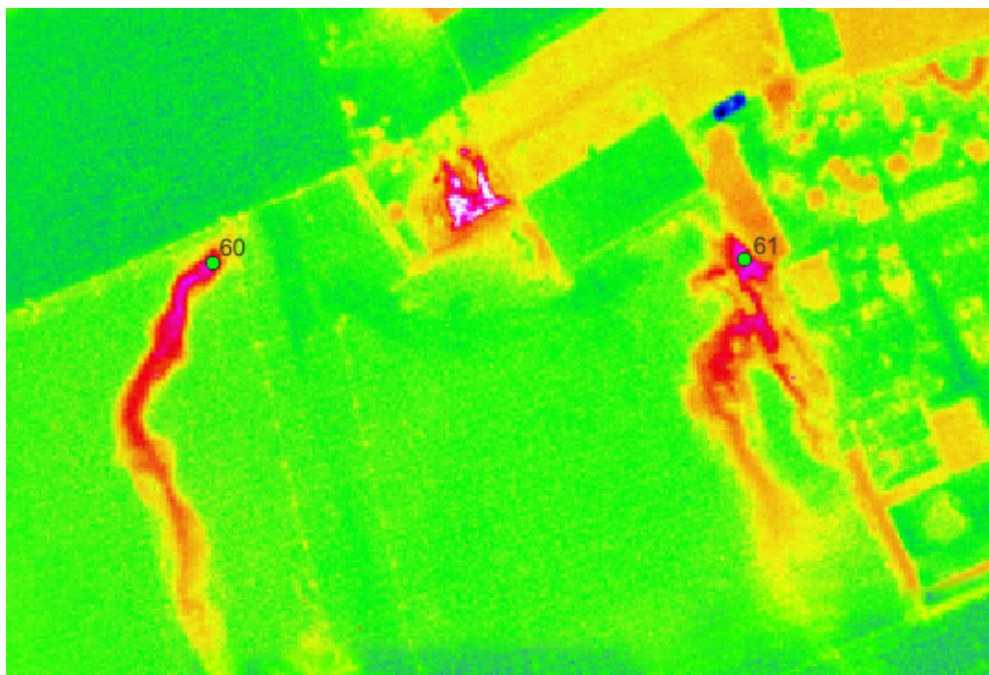


Bijzonderheid	Dieren
Toelichting	Voorbeelden van op de beelden waargenomen dieren. Het eerste voorbeeld betreft vermoedelijk ganzen. Op het tweede voorbeeld zijn paarden te zien. Dieren zijn vanwege hun formaat en vorm goed te onderscheiden van wellen en geen bemoeilijking voor het herkennen van wellen.





Bijzonderheid	Hooibroei
Toelichting	Tussen de waarnemingen 60 en 61 is een warmere plek te zien. Uit de luchtfoto's blijkt het te gaan om een opslag van organisch materiaal. De ontbinding van organisch materiaal geeft warmte af, dit is op de beelden waar te nemen.

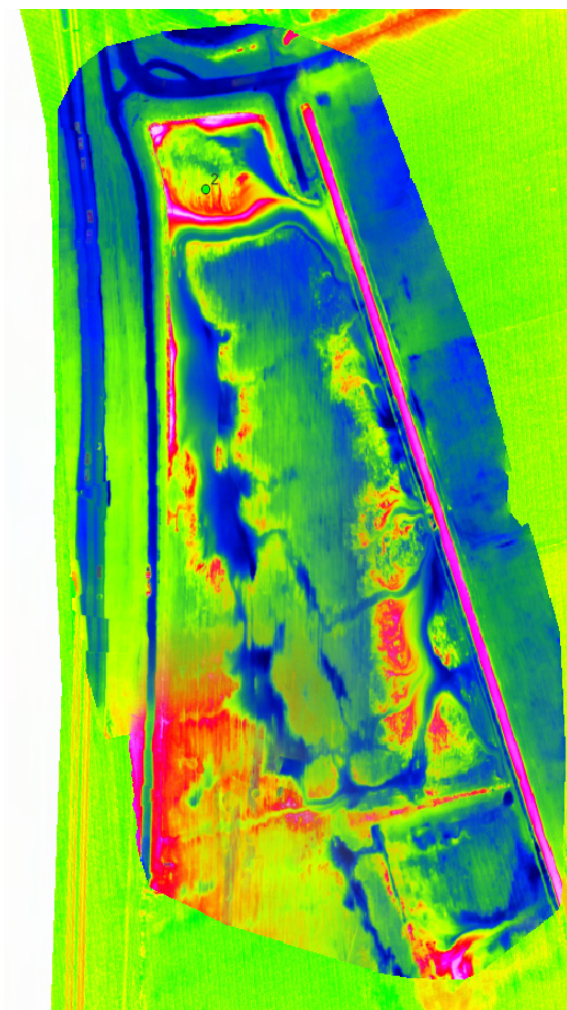


BIJLAGE 3

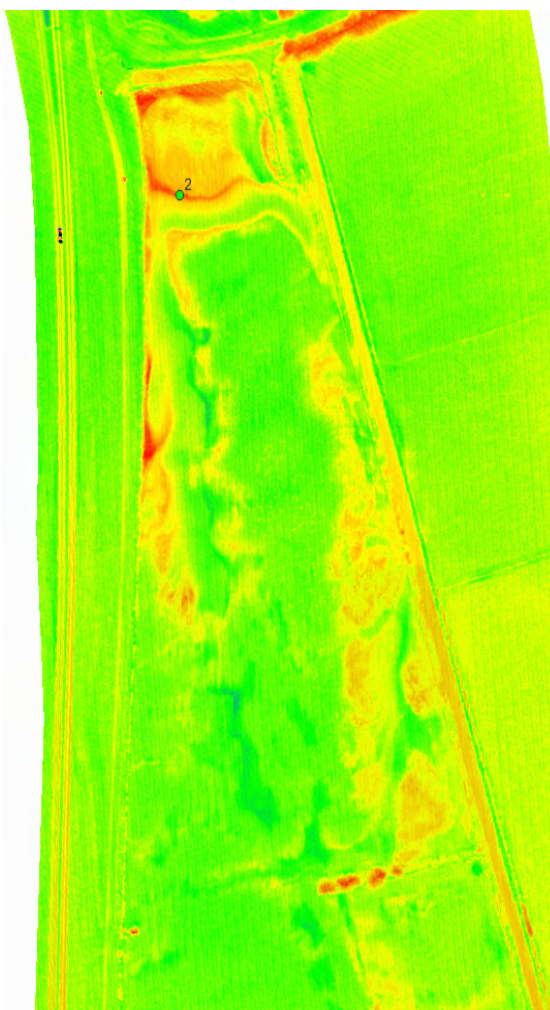
VERGELIJKING DRONE- EN VLIEGTUIGBEELDEN

Opgemerkt wordt dat de kleurschalen van de vliegtuig- en dronebeelden niet overeenkomen.

Dronebeelden



Vliegtuigbeelden

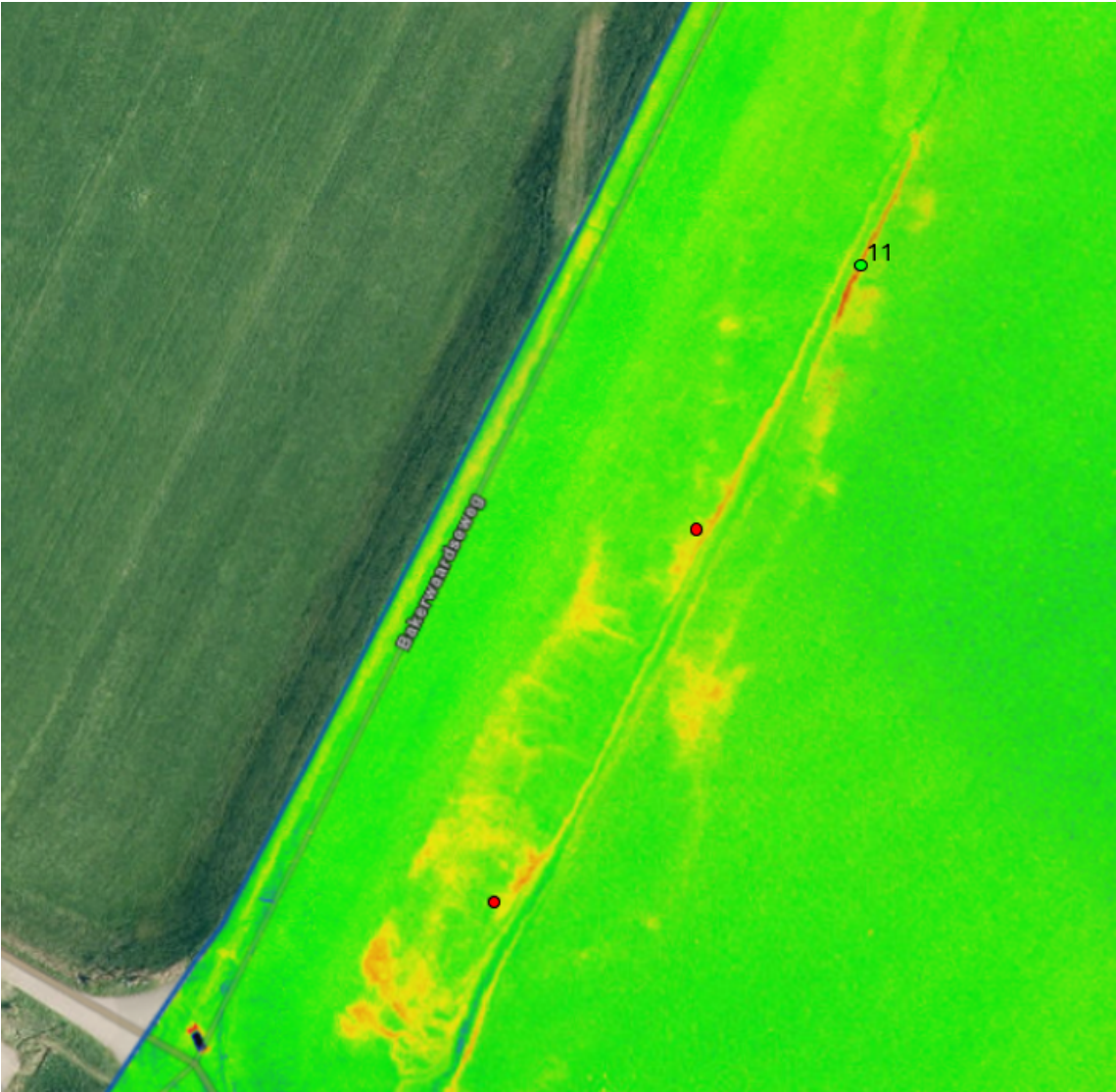


BIJLAGE 4

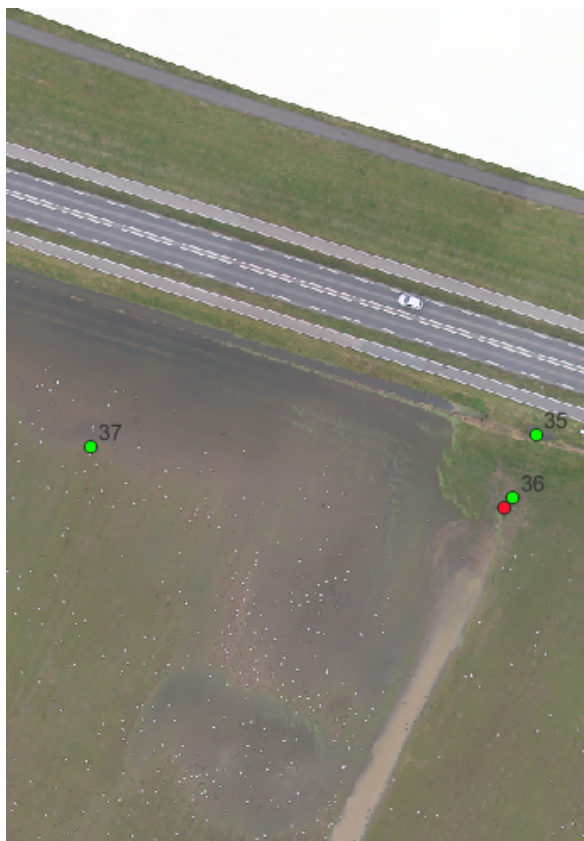
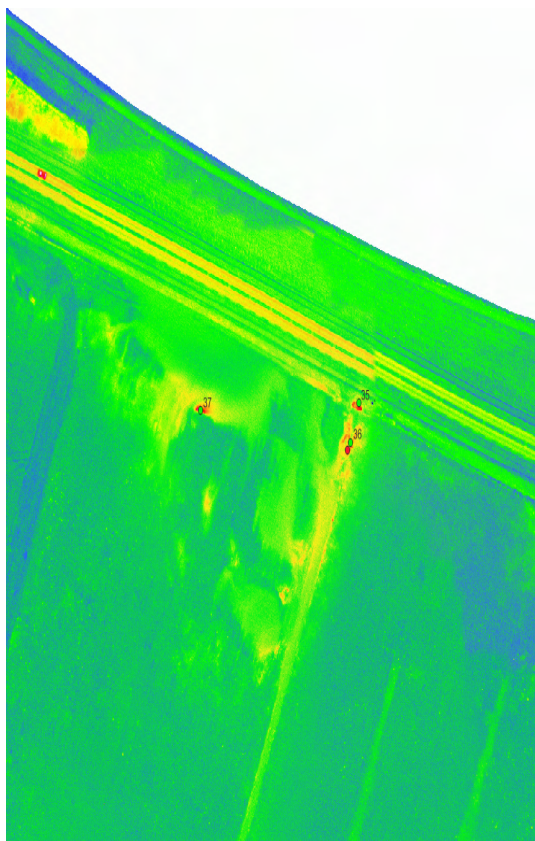
VERGELIJKING VELDWAARNEMINGEN

In deze bijlage is een vergelijking gepresenteerd van de met vliegtuig ingevlogen infraroodbeelden en de beschikbare veldwaarnemingen. De veldwaarnemingen zijn gepresenteerd als rode punten. De waarnemingen die gedaan zijn bij de analyse van alle infraroodbeelden zijn in het groen gepresenteerd. Deze waarneming zijn aangeduid als ‘bureauwaarneming’.

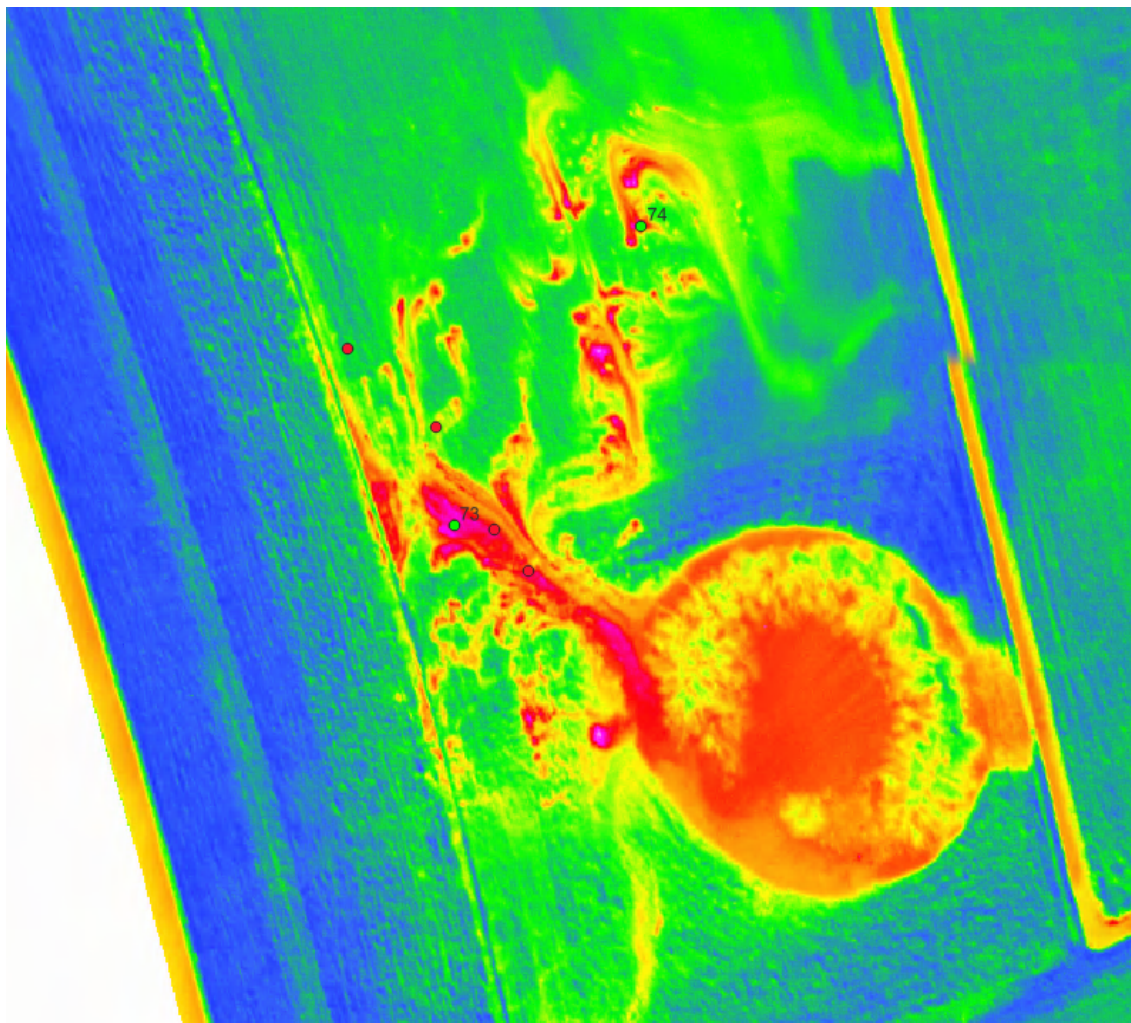
Nummer vergelijking	1
Areaal Waterschap	Waterschap Rijn en IJssel
Locatie	Nabij Bakerwaardseweg 2 Bronkhorst
Toelichting	De twee veldwaarneming vallen in een lijnvormige strekking met een hogere temperatuur ten opzichte van de omgeving. Hier is in de nabijheid een bureauwaarneming gedaan (nr. 11). De locatie van de veldwaarnemingen laten echter een minder verhoogde temperatuur zien dan de locatie van de bureauwaarneming. De locatie in zijn geheel is wel in beeld gebracht.



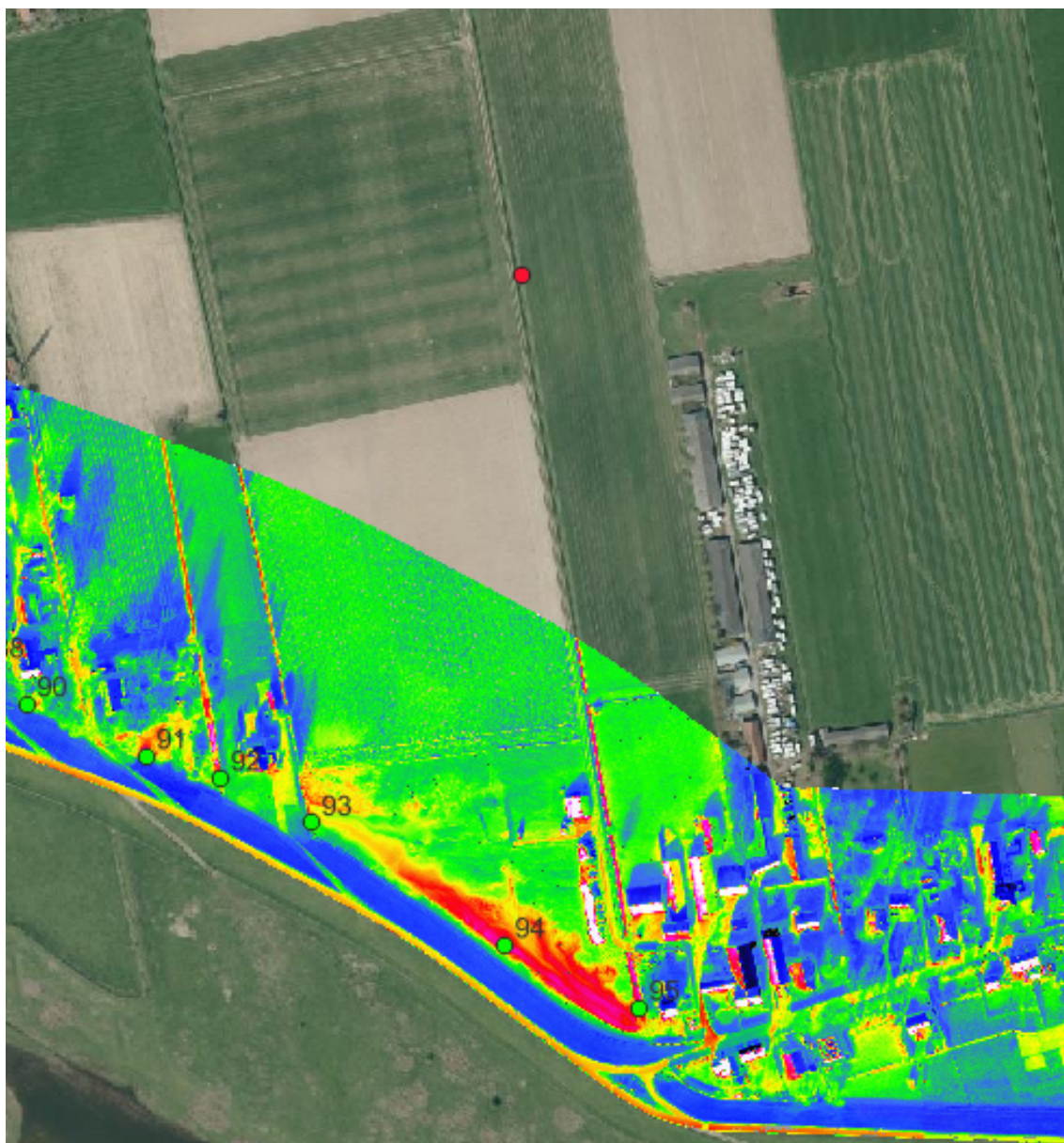
Nummer vergelijking	2
Areaal Waterschap	Waterschap Rijn en IJssel
Locatie	Ter plaatse van de N338 tussen Giesbeek en Angerlo
Toelichting	Ter plaatse van deze veldwaarneming zijn warmteverschillen zichtbaar. Er zijn eveneens bureauwaarnemingen gedaan (nr. 35 en 36).
Tien westen van deze waarneming is op de infraroodbeelden een duidelijke warmere plek te zien waar bureauwaarneming nr. 37 is gedaan. Door de lange periode van neerslag is deze locatie door zijn ligging in een grote plas lastig toegankelijk voor inspectie. De infraroodbeelden bieden hier meerwaarde.	



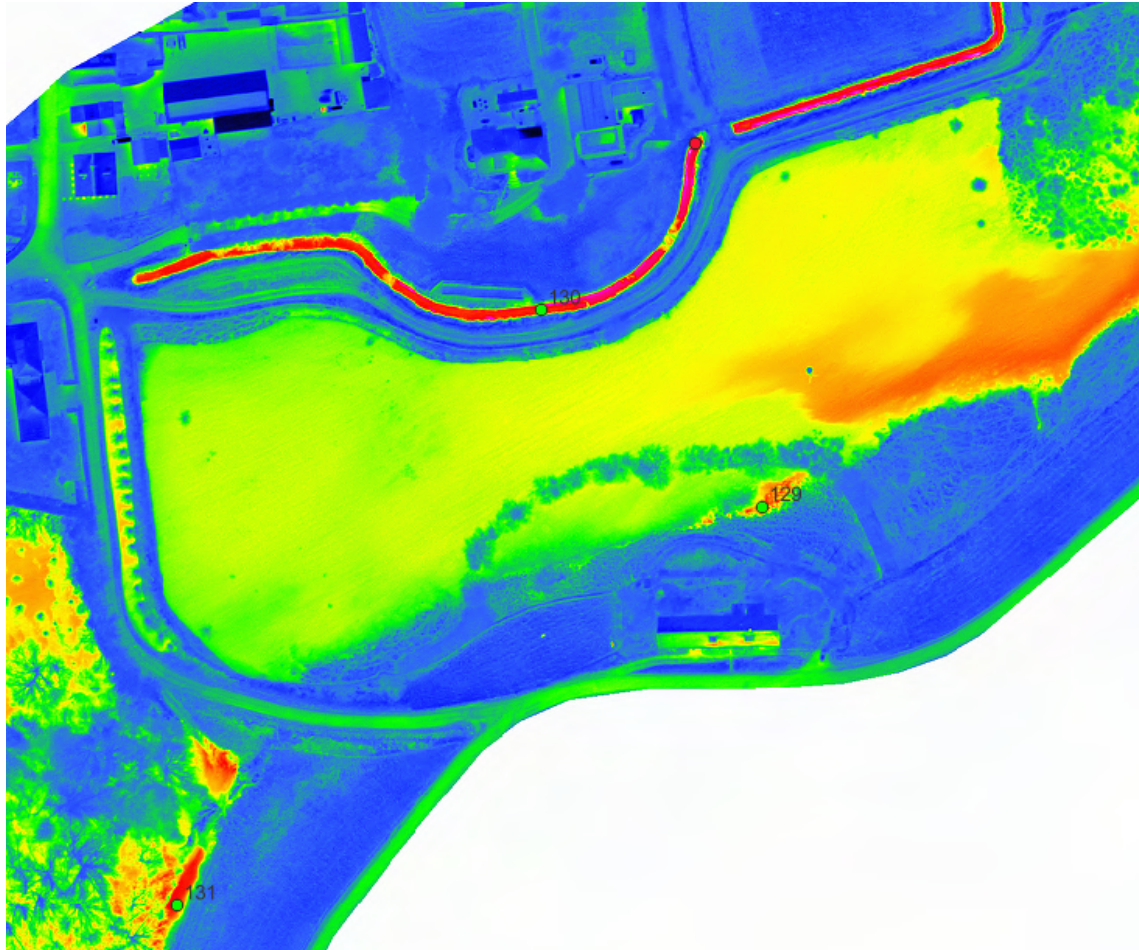
Nummer vergelijking	3
Areaal Waterschap	Waterschap Rijn en IJssel
Locatie	Hondsbroeksche Pleij (ten noorden van Schans 13), Westervoort
Toelichting	Duidelijk waarneembare wellocaties op de infraroodbeelden. Meerdere veldwaarnemingen en bureauwaarnemingen aanwezig.



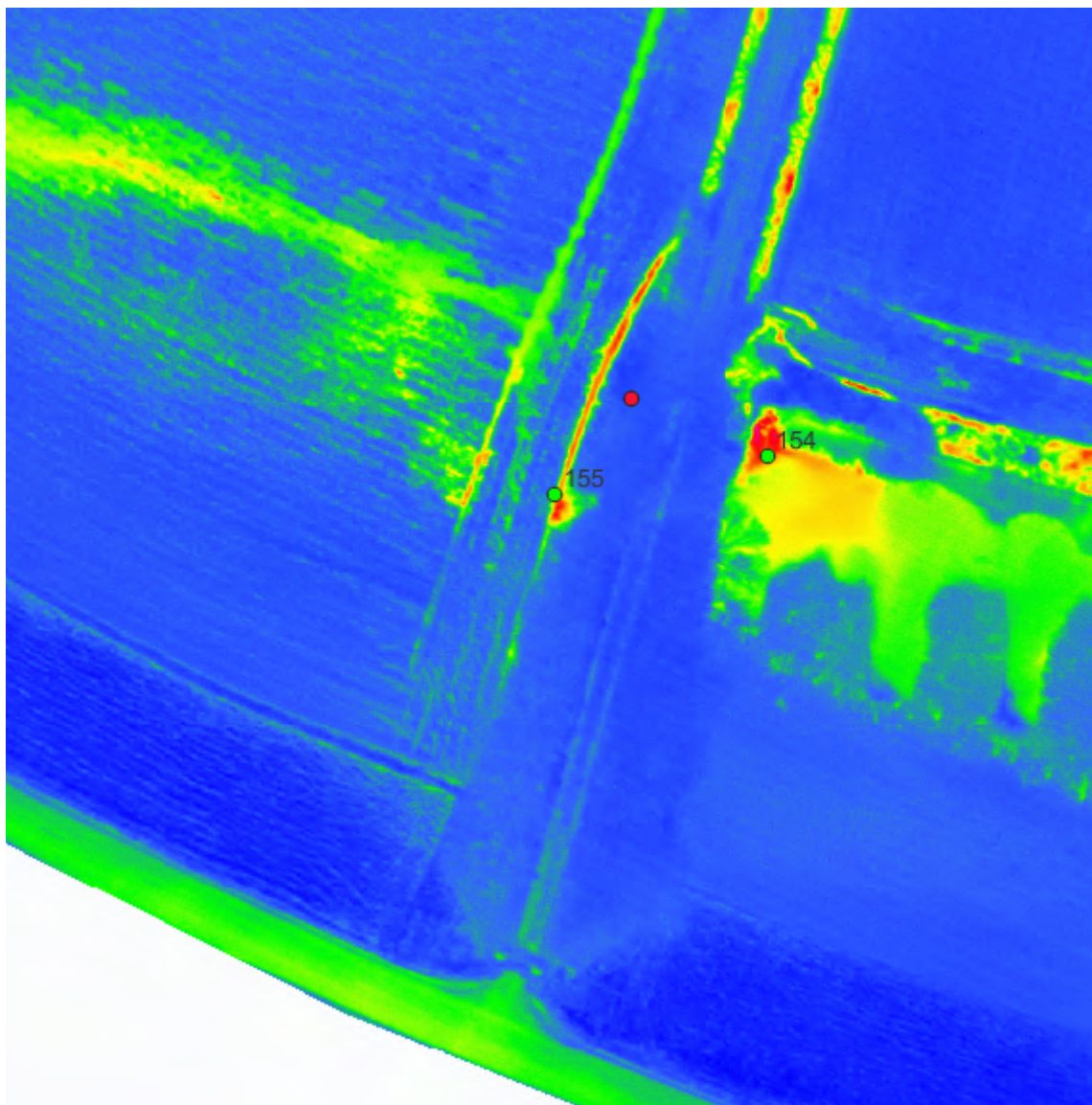
Nummer vergelijking	4
Areaal Waterschap	Waterschap Rijn en IJssel
Locatie	In het land achter Loostraat 60, Loo
Toelichting	Veldwaarneming op circa 350 m van de dijkteen, buiten bereik van de infraroodbeelden. Een zandmeevoerende wel met risico voor de waterveiligheid lijkt op een dergelijke afstand echter minder waarschijnlijk.



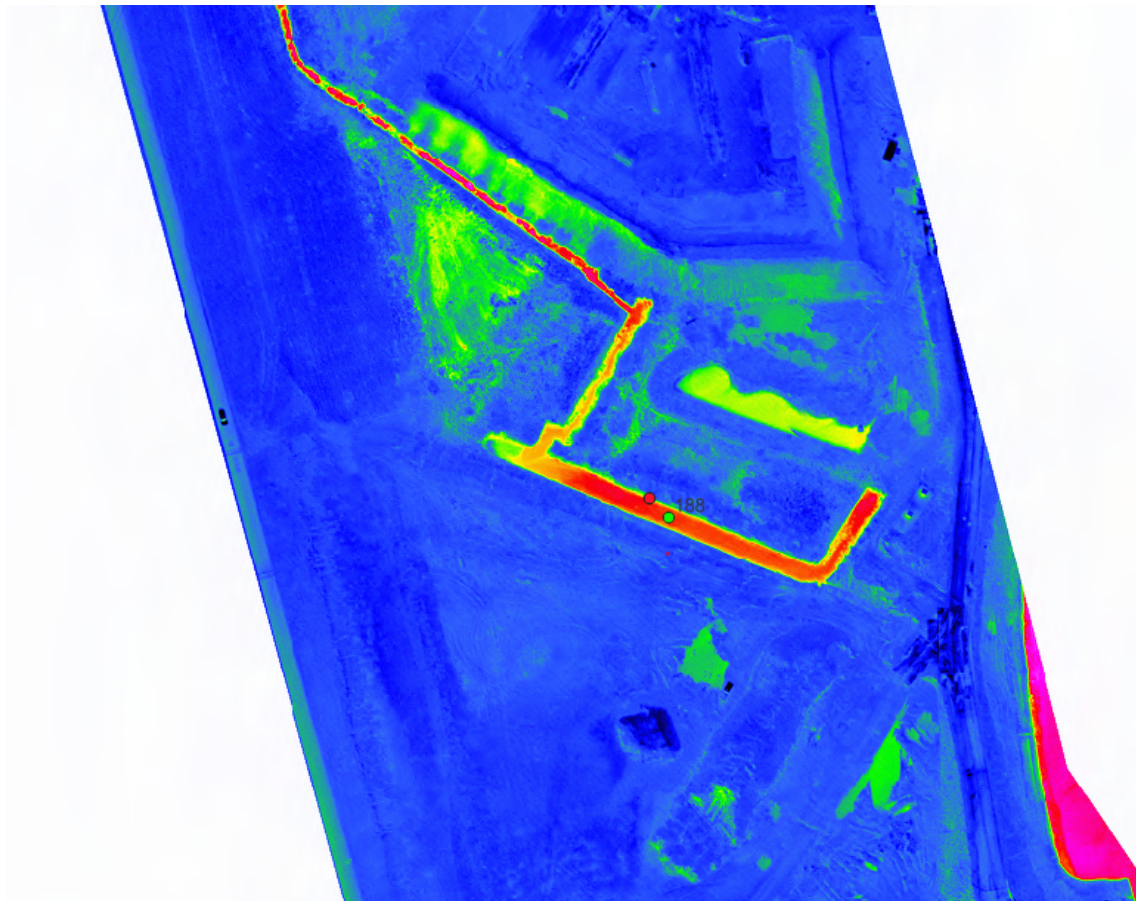
Nummer vergelijking	5
Areaal Waterschap	Waterschap Rivierenland
Locatie	Nabij Waaldijk 4, Doorneburg
Toelichting	Veldwaarneming bevindt zich in een warmere watergang. Deze is aangeduid als zandmeevoerende wel die weinig zand en uittredewater geeft. Deze watergang is bij bureauwaarneming nr. 130 als kwellocatie aangemerkt omdat de watergang integraal warmer is. In de watergang ter plaatse van de veldwaarneming zijn geen onderscheidende tekenen op de infraroodbeelden te vinden. De veldwaarneming biedt hier meerwaarde. Het herkennen van wellocaties in watergangen is lastig op basis van infraroodbeelden. Met name als het locaties zijn die weinig kwelwater geven en in een watergang liggen.



Nummer vergelijking	6
Areaal Waterschap	Waterschap Rivierenland
Locatie	Waldijk bij Gendt, ter plaatse van Poort Hagevoort
Toelichting	Veldwaarneming is gedaan nabij een warmere kopsloot. Exact ter plaatse van de veldwaarneming is geen warmere plek op de beelden waar te nemen. Mogelijk is er een onnauwkeurigheid in de exacte locatie. Daarnaast is de veldwaarneming gedaan ten tijde van de eerste hoogwatergolf (27-12-2024) en de infraroodbeelden gedurende de tweede (07-01-2024). Een gebrek aan kwelstroom bij het tweede hoogwater zou ook een oorzaak kunnen zijn. Locatie is ieder geval in beeld door de infraroodbeelden. Aanvullend is een bureauwaarneming gedaan ten oosten van de veldwaarneming.



Nummer vergelijking	7
Areaal Waterschap	Waterschap Rivierenland
Locatie	Oosterhoutsedijk, Nijmegen, ter hoogte van de Giorgio Vasaristraat
Toelichting	Veldwaarneming gedaan in een warmere watergang. De veldwaarneming omschrijft dat er in het gehele gebied veel kwelwater is, maar geen wellen. Er is ook een bureauwaarneming gedaan. De bureauwaarneming is eveneens aangeduid als kwellocatie.



Nummer vergelijking	8
Areaal Waterschap	Waterschap Rivierenland
Locatie	Waldijk bij Nijmegen, ter hoogte van Buitenplaats Oosterhout
Toelichting	De veldwaarneming benoemd veel kwelwater ter plaatse van de dijkteen maar geen ernstig risico. Dit gebied is eveneens benoemd in bureauwaarneming nr. 189. Het temperatuurverschil ter plaatse van de veldwaarneming is echter beperkt. Daarmee lijkt de locatie op basis van de infraroodbeelden niet zozeer risicovol. Het gebied ter plaatse van bureauwaarneming nr. 189 lijkt risicovoller.

