



## Remote Sensing voor waterveiligheid

Deze Deltafact gaat over de toepassingen van remote sensing op waterveiligheid. De toepassingen op het gebied van waterveiligheid betreffen onder meer aspecten van dijkmonitoring. Bijvoorbeeld hoogte, deformaties, (kwaliteit van) bekleding en lekkages.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE MEERLAAGSVEILIGHEID
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. TECHNISCHE KENMERKEN
6. GOVERNANCE
7. KOSTEN EN BATEN
8. PRAKTIJKERVERVARINGEN EN LOPEND ONDERZOEK
9. KENNISLEEMTEN
10. BRONNEN & LINKS
11. DISCLAIMER

### 1. Inleiding

Remote Sensing is een verzamelterm voor meten op afstand. Dit staat in tegenstelling tot *in situ* metingen die ter plaatse worden uitgevoerd.

De [Nederlandstalige Wikipedia-pagina](#) geeft een beknopt overzicht van demogelijkheden. De [Engelstalige Wikipedia-pagina](#) is een stuk uitgebreider, maar is eveneens voornamelijk beperkt tot satellieten als meetplatform. Deze Deltafact is wat dat betreft uitgebreider. De toepassingen zijn wel gericht op waterveiligheid.

Metingen kunnen worden uitgevoerd met behulp van vaste of bewegende meetopstellingen. Bij remote sensing worden die meestal 'platform' genoemd. Voorbeelden van bewegende platforms zijn satellieten, vliegtuigen, helikopters,

drones, schepen, auto's en quads. Vaste meetopstellingen zijn gangbaar bij belangrijke objecten van beperkte afmetingen (tot enige honderden meters), zoals (stuw)dammen of natte kunstwerken. In deze Deltafact wordt voornamelijk ingegaan op toepassingen met satellieten en drones als platform.

De toepassingen op het gebied van waterveiligheid betreffen onder meer aspecten van dijkmonitoring. Bijvoorbeeld hoogte, deformaties, (kwaliteit van) bekleding en lekkages. Daarnaast kan hydrologische data worden verzameld, zoals waterpeilen en stromingen. De meetdata kan worden ingezet in de gebruikelijke cyclus van beheer en onderhoud, beoordelen, ontwerpen en versterken van waterkeringen. Daarnaast kan de meetdata ook worden ingezet bij crisismanagement.

De metingen kunnen bijvoorbeeld eenmalig worden ingezet voor het verkrijgen van een globale indruk. Ook kan een meting af en toe worden herhaald. Bij specifieke hotspots en problemen kan ook gekozen worden voor metingen met een hoge frequentie. Vaak meten kan ook worden gedaan voor verkenningen tijdens of na bijzondere gebeurtenissen, zoals ongewone hoogwatersituaties of droogtesituaties.

## 2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts.

Deze Deltafact heeft te maken met de volgende onderwerpen:

- Toetsen van primaire waterkeringen
- Toetsen van regionale waterkeringen
- Meten en monitoren
- Asset management
- Life Cycle Monitoring
- Calamiteitenbeheer

Er is een verband met de volgende Deltafacts:

- [Bodemvochtgestuurd beregenen](#)
- [Informatievoorziening bij calamiteiten](#)
- [Remote Sensing waterkwantiteits-waterkwaliteitsbeheer](#)
- [Sensoren](#)
- [Stabiliteit veenkades](#)

## 3. Strategie meerlaagsveiligheid

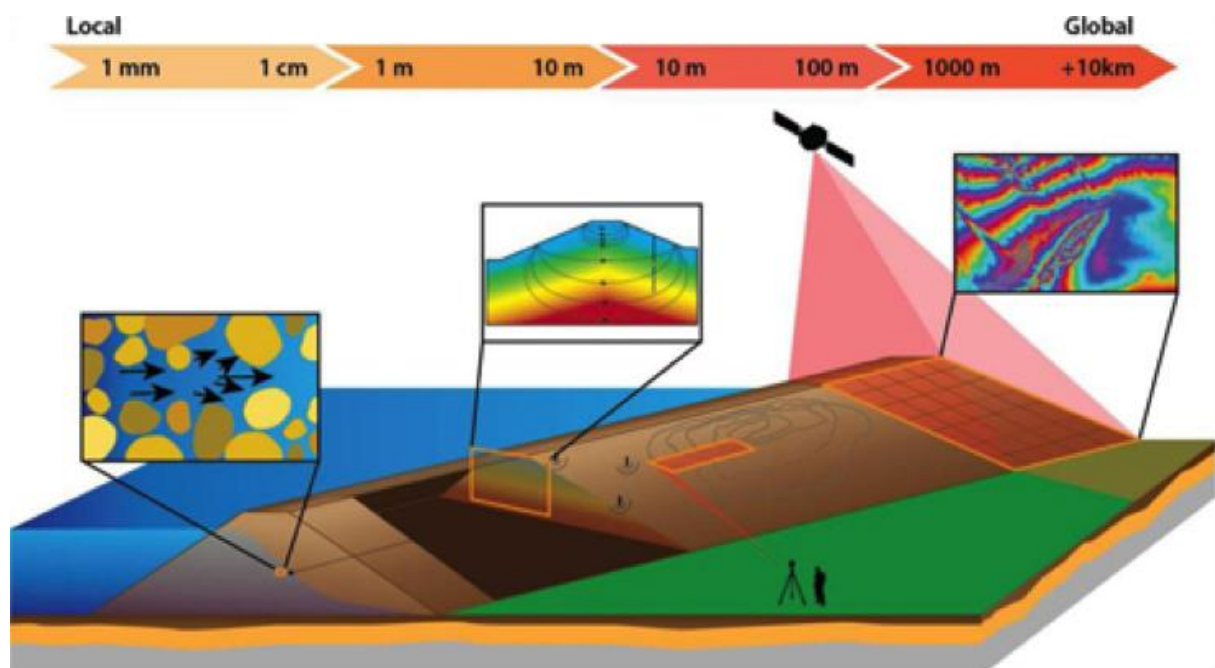
Remote sensing is vooral inzetbaar voor preventie en bij crisisbeheersing. Verder kan met behulp van remote sensing relevante detailinformatie ten behoeve van ruimtelijke ordening worden aangeleverd.

#### 4. Schematische weergave

Remote sensing (meten op afstand) kan op verschillende schalen en afstanden plaatsvinden. Dit is geïllustreerd in onderstaand figuur. Hierin is de stroming van water door een dijk op verschillende manieren weergegeven. Op detailniveau geldt dat het water in de poriën tussen de (zand)korrels doorstroomt. Dit is aangegeven in de uitsnede links.

De waterstroming in de dijk kan worden gemeten met meetpunten aan het oppervlak. Hier is als voorbeeld gekozen voor spontane-potentiaalmetingen. Een typisch meetresultaat is weergegeven in de uitsnede in het midden. Dit type metingen is trouwens een tussenvorm tussen in situ metingen en volledige remote sensing, omdat hierbij nog wel contact nodig is met de grond waaraan gemeten wordt.

Het oppervlak kan ook van een afstand worden ingemeten, zoals geïllustreerd met het statief in het achterland. Het kan hier gaan om infraroodmetingen waarmee uittredend kwelwater kan worden gedetecteerd.



Remote sensing op diverse schalen, bewerkt naar [Mooney \(2012\)](#).

Ook kan vanuit de lucht worden gemeten. In de uitsnede rechts is een meting van de vervorming van het binnentalud met een nauwkeurigheid in de orde van grootte van millimeters weergegeven. Dit is gemeten vanuit een satelliet.

Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen het gebruikte platform (satelliet, vliegtuig, helikopter, drone, auto, quad, vaste opstelling) en de gehanteerde meettechniek. Per platform kunnen verschillende meettechnieken worden gebruikt. Ook kan één meettechniek met verschillende platforms worden toegepast. Er gelden wel beperkingen afhankelijk van het platform en de meettechniek. Zo kan een drone meestal minder gewicht meenemen dan een bemand vliegtuig. Ook het energieverbruik van het meetinstrument zal aan een drone meestal kleiner moeten zijn dan bij een vliegtuig.

De keuze voor een platform hangt samen met de beschikbaarheid, de kosten, de mobilisatiemogelijkheden en de vereiste meetfrequentie en meetbehoefte. Hierna worden drie voorbeelden gegeven van een dergelijke afweging.

1) Voor bijvoorbeeld het snel verkrijgen van gedetailleerde beelden van een doorgebroken dijk vallen satellieten meestal af. Die komen maar eens in de paar dagen over en de dataverwerking kost relatief veel tijd. Als er haast bij is, dan kost het bovendien veel geld. Dan nog duurt de verwerking meestal meerdere dagen.

Aan de andere kant kan een drone snel ingezet worden. Vanwege de wetgeving is dan wel een gecertificeerde aanbieder met vliegvergunning vereist. Een alternatief kan een helikopter of een langzaam vliegend vliegtuig zijn. Dit laatste geeft meteen een begrenzing aan de mogelijke kosten van de inzet van een drone: dat zou dan niet meer mogen kosten.

2) Voor de periodieke beoordeling van de veiligheid van de waterkeringen werden vroeger altijd landmeters gebruikt. Zo'n traditionele meetcampagne is nu niet meer nodig. Hiervoor kan nu gebruik worden gemaakt van de landsdekkende data van het [Actueel Hoogtebestand Nederland](#). De kosten hiervan zijn tegenwoordig nihil. Deze data is ingewonnen met de LiDAR-techniek vanuit vliegtuigen en wordt iedere vijf jaar geactualiseerd. De tweede versie (AHN2) is voor analyse beschikbaar via de Google Earth Engine.

3) Bij een gedeelte van een boezemkade waarbij excessieve kwel optreedt, kan ter bewaking gedurende de periode tot aan versterking een infraroodcamera in een vaste opstelling worden aangebracht. Dit biedt een meetfrequentie die hoog genoeg is om ingrijpen bij een plotselinge verslechtering mogelijk te maken. De kosten hiervan kunnen acceptabel zijn in vergelijking met de kosten van een overstroming aan de ene kant en een mogelijk overbodige acute noodmaatregel aan de andere kant. Zo'n meetsysteem kan binnen een dag operationeel zijn.

## 5. Technische kenmerken

### Algemeen

Remote sensing betreft meten op afstand. Belangrijke voordelen hiervan zijn de meestal grotere toegankelijkheid en flexibiliteit. Bovendien wordt er meestal vlakdekkend of volumedekkend gemeten. Dit in tegenstelling tot *in situ* metingen die doorgaans puntmetingen of hoogstens lijnmetingen betreffen. Een algemeen nadeel is wel dat de metingen indirect zijn. Er wordt immers een afgeleide parameter gemeten, niet de parameter zelf zoals waterdruk, snelheid of temperatuur. Ook worden de metingen vaak beïnvloed door tussenliggende media, zoals de atmosfeer of het (grond)water.

Er zijn veel mogelijkheden op het gebied van remote sensing, het is daarom belangrijk om de informatievraag leidend te laten zijn. Hier wordt aan het einde van dit overzicht van technische kenmerken nader op ingegaan.

### Technieken

Er zijn twee hoofdvarianten van remote sensing: actieve remote sensing, waarbij signalen worden uitgezonden waarvan de reflectie wordt opgevangen (zoals radar), en passieve remote sensing, waarmee alleen wordt waargenomen (zoals fotografie).

Doorgaans worden met remote sensing trillingen in de ruimste zin van het woord gemeten, bijvoorbeeld straling in delen van het elektromagnetisch spectrum (Simons & Droogers, 2016). Meestal is aanvulling van de metingen met *in situ* metingen noodzakelijk. Dit komt door de mogelijke verstoringen door de tussenliggende media (zoals de atmosfeer) en doordat een absolute maat vaak ontbreekt. Soms is hiervoor de keuze van een 'vast' punt genoeg. Hiermee kan dan bijvoorbeeld de hoogte ten opzichte van een referentiepeil zoals NAP worden vastgesteld. Soms is een boring of een sondering nodig om lokaal een absolute maat te hebben waaraan de relatieve

metingen over een groter gebied kunnen worden gerelateerd. Bijvoorbeeld voor de variatie in de hoogte van de diepe zandlaag. Deze stap wordt vaak aangeduid als 'ground truthing'.

### **Voorbeelden en toepassingen**

Voorbeelden van passieve technieken zijn:

- Fotografie, ook in de vorm van video veel toegepast voor het vastleggen van bijzondere situaties en de communicatie daarover. Een voorbeeld van hoge resolutie luchtfotografie van Nederland is te vinden bij [Beeldmateriaal Nederland](#).
- Stereofotografie, een reeds lang geleden ontwikkelde techniek om een driedimensionaal beeld te construeren op basis van twee naast elkaar genomen foto's. Uit opeenvolgende opnamen kunnen ook vervormingen aan het oppervlak worden afgeleid. In 2015 heeft de TU Delft hiertoe digitale camera's ingezet bij de bezwijkproef in de Leendert de Boerspolder.
- infrarood, bijvoorbeeld toepasbaar voor het zichtbaar maken van uittredend grondwater.



*Uittredend water in een teensloot bij een dijk, gemeten met infrarood*

- microgolfstraling, met bijvoorbeeld een L-band radiometer kan een signaal worden opgevangen dat een maat vormt voor het ondiepe bodemvocht van bijvoorbeeld veenkaden of asfaltbekledingen (Koelewijn et al., 2016).
- passieve sonar (sound navigation and ranging), deze techniek wordt onder water toegepast voor het detecteren van onderzeeboten, andere schepen en zeedieren, of het meten van neerslag. Bekender zijn de toepassingen van de actieve sonar (hierna).
- seismografie – met behulp van een [seismograaf](#) kunnen aardbevingen en andere zware trillingen op grote afstand gedetecteerd worden.

Voorbeelden van actieve technieken zijn:

- [radar](#) (=radio detection and ranging), bruikbaar voor nauwkeurige afstandsmetingen en daarvoor bijvoorbeeld toegepast bij grote stuwdammen. Ook de welbekende [buienradar](#) werkt met deze techniek, meer informatie daarover is te vinden via de [leverancier](#) van die metingen.
- [lidar](#) (=light detection and ranging), eveneens bruikbaar voor nauwkeurige afstands- en hoogtemetingen en bijvoorbeeld gebruikt voor het [Actueel Hoogtebestand Nederland](#).



- [insar](#) (=interferometric synthetic aperture radar) gebruikt de verschillen tussen twee radarbeelden, en daarvan specifiek in de golflengte. Daardoor is in theorie een hoge nauwkeurigheid mogelijk voor bijvoorbeeld de verticale verplaatsing bij metingen van boven. Hoewel er veel haken en ogen aan deze techniek zitten, worden hiermee vooral voor harde constructies bruikbare

resultaten bereikt. Vooral voor het zichtbaar maken van trage trends in vervormingen geeft deze techniek goede resultaten. Doorgaans kan tot 1992 worden teruggegaan met archiefbeelden. [Een spin-off van de TU Delft](#) heeft in de laatste tien jaar steeds meer toepassingen ontsloten. Bezwaren tegen deze techniek zijn: 1) hetzelfde punt heeft niet altijd dezelfde reflectie (condens kan al tot verschillen leiden) en 2) hetzelfde punt is meer dan één golflengte verplaatst; bij de verwerking wordt uitgegaan van verplaatsing over een fractie van een golflengte

- actieve [sonar](#) (=sound navigation and ranging), bruikbaar voor afstands- en dieptemetingen onder water en bijvoorbeeld veel gebruikt voor bathymetrische bepalingen (meten hoogte zee-/rivierbodembodem) waarmee niet alleen veranderingen in vaargeulen gedetecteerd kunnen worden, maar waarmee ook sedimentatie en vooral erosie gemeten kunnen worden die het gevaar vergroten voor een 'zettingsvloeiing' (Van den Ham et al., 2015, Mastbergen et al., 2016).

De recente STOWA-rapportage 2016-17 (Simons & Droogers, 2016) bevat 119 zogeheten factsheets met voorbeelden van remote sensing producten over de volle breedte van het waterbeheer.

### **Platforms**

De gebruikte platforms kunnen zeer divers zijn. Het gebruikte platform staat los van de gebruikte meettechniek. Voor elk platform zijn er andere beperkingen ten aanzien van de volgende aspecten:

- toelaatbaar gewicht (meestal (zeer) laag bij onbemande platforms zoals satellieten en drones, bij bemande platforms zoals vliegtuigen, helikopters en auto's speelt dit minder een rol),
- energieverbruik (vergelijkbaar met het voorgaande),
- mogelijkheden tot technische vernieuwing (afgezien van vervanging is dit praktisch afwezig bij satellieten, bij alle andere platforms veel makkelijker),
- resolutie/nauwkeurigheid (bij geostationaire satellieten vanwege de grotere afstand bij de meeste technieken een groter probleem dan bij satellieten in een lagere baan, bij platforms dichterbij is dit ook variabel),
- toegang tot moeilijk bereikbare gebieden (drones en helikopters zijn hier relatief goed in),



- toegang tot bewoonde gebieden (hier vallen drones vaak juist af door wet- en regelgeving),
- flexibiliteit van inzet (drones zijn heel flexibel inzetbaar, handig bij bijvoorbeeld calamiteiten, daar tegenover zijn satellieten juist helemaal niet flexibel, de andere platforms zitten daar tussenin),
- kosten voor de eindgebruiker (onbemand is doorgaans goedkoper dan bemand. Satellieten nemen hier een aparte positie in vanwege overheidssubsidies. Bij satellieten kan de beschikbaarheid van ingewonnen data per ruimtevaartorganisatie en per land van herkomst van de gebruiker verschillen.)

In Blaas et al. (2016) wordt een overzicht geboden van remote sensing-technieken en platforms – weliswaar toegespitst op waterkwaliteitsbeheer, maar wel goed bruikbaar voor de algemene aspecten.

### **Dataverwerking**

De dataverwerking is in eerste instantie gericht op het reconstrueren van de toestand van het gemeten object. Het gaat dan om de vraag wat de gemeten elektromagnetische straling binnen één of meer golflengte-bereiken heeft veroorzaakt? Daarvoor zijn de resolutie, de eventuele correcties en het niveau van het gebruikte bronbestand van belang.

De resolutie, dat is het detail waarmee observaties mogelijk zijn, verschilt per sensor en bestaat uit:

- ruimtelijke resolutie: de grootte van het kleinste beeldelement (pixel)
- spectrale resolutie: de breedte van de golflengte van de verschillende frequentiebanden
- radiometrische resolutie: het aantal verschillende stralingsintensiteiten dat de sensor kan onderscheiden. Doorgaans varieert dit van 8 tot 14 bits, overeenkomend met 256 grijstinten (8 bits) en 16.384 kleurtinten (14 bits), in iedere band. Dit is mede afhankelijk van de ruis van het instrument.
- temporele resolutie: de herhalingsfrequentie van de metingen.

Daarbij kunnen nog radiometrische, topografische en atmosferische correcties van toepassing zijn.

Vanuit de verwerking van satelliet-gebaseerde data heeft de NASA in 1986 een [niveau-indeling van remote sensing data](#) gedefinieerd, die sindsdien breed ingang heeft gevonden. Hier is ook een [korter overzicht](#) van beschikbaar. De twee belangrijkste niveaus zijn 'level 1' – gemeten data met de volledige resolutie, tijdgebonden en voorzien van radiometrische en geometrische kalibratiecoëfficiënten en georeferentiedata, en 'level 2' – afgeleide geofysische gegevens, zoals hoogte, vochtgehalte en ijsconcentratie, met dezelfde resolutie en locatie als de level 1-brondata.

In tweede instantie gaat het er om, de metingen om te zetten naar data die voor de waterveiligheid relevant is: wat is de potentiële invloed op de verschillende faalmechanismen van een dijk?

Voor veel situaties blijkt het nog moeilijk om deze tweede stap expliciet te zetten. Zelfs bij een schijnbaar eenvoudig probleem kunnen al moeilijkheden ontstaan. Bijvoorbeeld het meten van verticale verplaatsingen. Dit kan met INSAR worden gedaan. Dan kan de vraag ontstaan welk deel van de verplaatsingen te maken heeft met faalmechanisme zettingen en welk deel met bijvoorbeeld een macrostabiliteitsprobleem. Een tweede vraag daarbij kan zijn of er tussentijds aanvullingen zijn aangebracht (bijvoorbeeld een extra laag asfalt) waardoor de verplaatsingen nog onderschat worden.

### **De 'beste' keuze?**

De veelheid aan platformen waarop de meetapparatuur kan worden geplaatst maakt dat de technische kenmerken zeer divers zijn. De combinatie van techniek en platform kan allesbepalend zijn voor de bruikbaarheid voor een specifieke toepassing. Bijvoorbeeld InSAR kent een hoge nauwkeurigheid in de richting waarin gemeten wordt, maar veel minder in de richting loodrecht daarop. 'Van boven' toegepast vanuit een satelliet is de verticale nauwkeurigheid daardoor hoog, maar de horizontale nauwkeurigheid is veel lager. Bij toepassing vanaf een aardgebonden platform, waarbij het signaal horizontaal wordt uitgezonden, kantelen de nauwkeurigheden mee.

### **Informatievraag**

Net als bij iedere monitoringstechniek geldt dat een kosteneffectieve beantwoording van een reële, relevante informatiebehoefte voorop dient te staan.

Met dit uitgangspunt kan gezocht worden naar een geschikte combinatie van techniek en platform. Dit zal in de meeste gevallen kunnen op basis van eerdere voorbeelden, op basis van wat in de markt beschikbaar is.

## 6. Governance

De laatste jaren is veel aandacht voor de inzet van drones (onbemande en op afstand bestuurbare vliegende platforms). Na een aanvankelijke wildgroei wordt nu ingezet op juridisch aangestuurde beperkingen, gericht op het ontmoedigen van niet-professionele aanbieders van drone services. Met gecertificeerde aanbieders kan gewoon aan de slag worden gegaan (Bakkenist & Flos, 2015). Verdere beperkingen van de professionele inzet zijn onder meer de minimale afstand tot verkeer, bebouwing en mensenmenigten (vanuit oogpunt veiligheid en privacy). Ook met certificering en vergunning om in een bepaald gebied te mogen vliegen, gelden deze regels.

De inzet van actieve remote sensing systemen kan op milieukundige bezwaren stuiten. Dit geldt bijvoorbeeld voor actieve sonarsystemen.

Satellietdata is ten dele gratis voor iedereen beschikbaar op de [Sentinel Scientific Data Hub](#) en geheel gratis via het [satellietdataportaal](#) van het Netherlands Space Office , maar het vereist specialisten (wetenschappers en bedrijfsleven) om hier bruikbare informatie uit te halen.

## 7. Kosten en baten

De kosten verschillen sterk per gekozen techniek en product, bewerkingsniveau en verdienmodel van de aanbieder. Zowel platformen als technieken worden momenteel rijp en groen door elkaar aangeboden; een kritische benadering is gepast.

De baten bestaan doorgaans uit het feit dat tegen lage kosten een globaal, vaak snel, inzicht in situatie kan worden verkregen. Hierdoor kunnen vervolgens meer gerichte metingen (eventueel ook met remote sensing technieken) en eventuele maatregelen meer specifiek en daardoor doeltreffender worden ingezet.

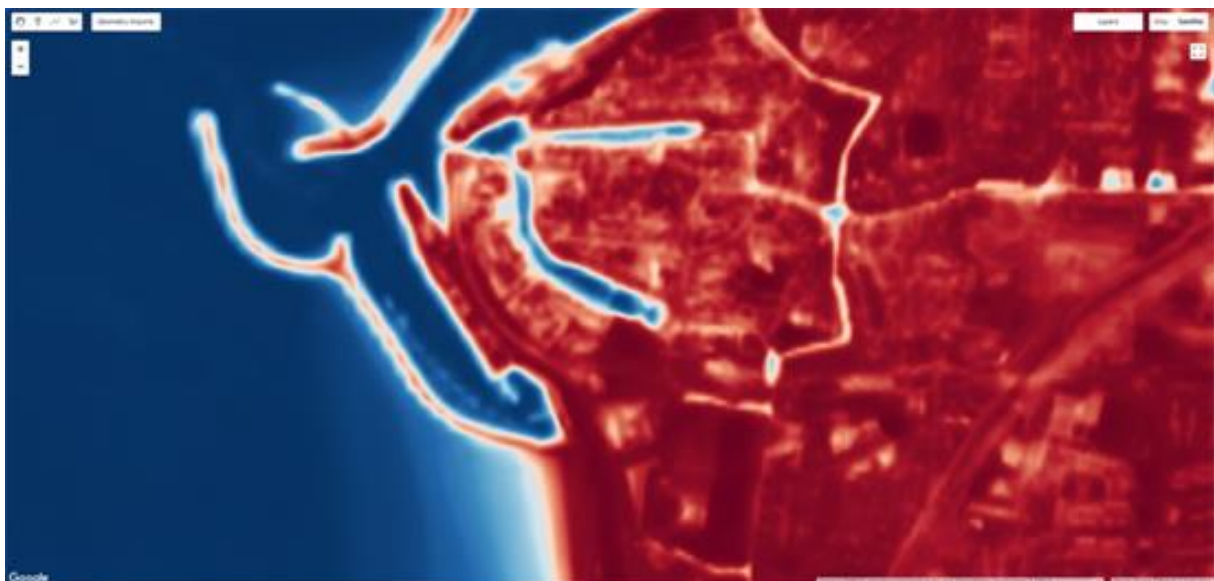
## 8. Praktijkervaring en lopend onderzoek

Zie voor praktijkervaringen ook de beschrijvingen van de verschillende technieken hiervoor.

Lopend onderzoek betreft in veel gevallen de inzet van een al eerder ontwikkelde techniek op een ander platform. Verandering van platform leidt tot andere mogelijkheden ten aanzien van resolutie, oriëntatie, energievoorziening en energiegebruik. Daarmee ontstaan ook andere toepassingsmogelijkheden. Een voorbeeld hiervan vormt de [toepassing van passieve microgolfstraling](#) vanaf een quad in plaats van een satelliet, dat met name voor de vlakdekkende inspectie van de kwaliteit van asfaltdijkbekledingen zeer succesvol blijkt te zijn.

Voor de detectie van kwelsituaties is in de afgelopen jaren gebruik gemaakt van infraroodcamera's zowel gemonteerd aan een straaljager (Eemskanaaldijk) als aan een paal of op een auto (LiveDijk XL Ommelanderzeedijk en LiveDijk Ameland). Voor de omstandigheden bij een calamiteit was uiteindelijk niet de snelheid van inwinnen, maar de totale tijd van meting tot en met verwerking van doorslaggevend belang. Bij het voorbeeld van de straaljager duurde dat in de praktijk eenvoudigweg te lang. Hierbij geldt overigens wel dat hiermee weliswaar kwel kan worden gemeten, maar over het relevante faalmechanisme ('piping') zegt dit betrekkelijk weinig: zandtransport in de bodem kan niet of nauwelijks worden onderscheiden. Wel geldt natuurlijk dat waar geen kwel is, er ook geen zandmeevoerende wellen zullen zijn en al helemaal geen pipingprobleem.

Recente experimenten in het kader van EMODnet richtten zich op het bepalen van de intergetijde bathymetrie, maar de resolutie daarvan valt vooralsnog tegen, zie onderstaand plaatje van dezelfde locatie als onder 'Technische kenmerken' als voorbeeld van het AHN is getoond.



Lopend onderzoek houdt verder vaak verband met de krachtiger reken- en verwerkingscapaciteit van computers, waardoor omvangrijke bestanden met meetdata (vaak van satellieten), ook uit het verleden, gemakkelijker ontsloten kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is de [Aqua Monitor](#), waarmee veranderingen van land in water of water in land in de afgelopen 30 jaar zichtbaar gemaakt kunnen worden en gekwantificeerd kunnen worden (Donchyts et al., 2016). Dit maakt ook nieuwe toepassingen op basis hiervan mogelijk.

Verder wordt in lopend onderzoek veelal gezocht naar de betekenis van de indirecte metingen voor de waterveiligheid. Het eerder genoemde [onderzoek geleid door de Colorado School of Mines](#) richt zich hierop, evenals het [SAFE Levee-project](#) geleid door de TU Delft. In praktische zin zijn ook diverse verkenningen gaande om met behulp van bijvoorbeeld de Google Earth Engine hoge-resolutie satellietdata te verwerken tot gegevens van een hoger niveau.

## 9. Kennisleemtes

De inzetbaarheid van drones kent in de praktijk nog veel onduidelijkheden en onzekerheden, zowel vanuit technisch oogpunt als vanuit juridisch oogpunt. In beide disciplines vinden daarom nog veel ontwikkelingen plaats.

Een algemene kennisleemte wordt verder gevormd door de validatie en ijking van remote sensing metingen in het algemeen (dus niet alleen voor data ingewonnen met drones). Aan verbeteringen op dit vlak wordt ook na vele decennia van remote sensing-toepassingen nog steeds gewerkt.

Daarnaast betreft een belangrijke kennisleemte wat de betekenis is van de indirecte remote sensing metingen voor de waterveiligheid.

## 10. Bronnen & links

- Sander Bakkenist & Stefan Flos, '[Dijkinspectie met drones](#)', STOWA rapport 2015-09, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, maart 2015. ISBN 978-90-5773-691-9.
- S.W. Bakkenist & W.S. Zomer, '[Inspectie van waterkeringen: een overzicht van meettechnieken](#)', STOWA rapport 2010-31, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, mei 2010. ISBN 978.90.5773.486.1

- L.M.Th. Swart, 'Remote sensing voor inspectie van waterkeringen', door Swartvast- in opdracht van Rijkswaterstaat, november 2007. ISBN 978-90-79331-02-4
- Meinte Blaas, Ellis Penning, Marieke Eleveld, Miguel Dionisio Pires & Anouk Blauw, 'Waterkwaliteitsbeheer – Remote sensing komt steeds meer binnen bereik', Water Matters (december 2016)
- Donchyts, Gennadii, Fedor Baart, Hessel Winsemius, Noel Gorelick, Jaap Kwadijk, and Nick van de Giesen. "Earth's surface water change over the past 30 years." Nature Climate Change 6, no. 9 (2016): 810-813.
- Geeralt van den Ham, Dick Mastbergen, André Koelewijn, Caspar ter Brake & Wouter Zomer, ['Eindrapport Validatie-experiment zettingsvloeiing, Meten aan zettingsvloeiing', STOWA/FloodControl IJkdijk, Amersfoort, maart 2015.](#)
- André Koelewijn, Sander Bakkenist & Suzanne Stoorvogel-van der Horst, 'Best practices Stichting FloodControl IJkdijk, Meerwaarde voor de waterveiligheidspraktijk: ontwikkelde kennis en toepassingen afkomstig van projecten uit het eerste en tweede IJkdijk ontwikkelprogramma', Stichting Flood Control IJkdijk, 2016.
- [Dick Mastbergen, Geeralt van den Ham, Matthieu Cartigny, André Koelewijn, Marco de Kleine, Mike Clare, Jamie Hizzett, Maria Azpiroz & Age Vellinga, 'Multiple flow slide experiment in the Westerschelde Estuary, The Netherlands', in Submarine mass movements and their consequences \(G. Lamarche et al. \(eds.\), Advances in Natural and Technological Hazards Research 41:241-249, 2016.](#)
- NASA, 'Report of the EOS data panel', Earth Observing System, Data and Information System, Data Panel Report, volume IIa, NASA Technical Memorandum 87777, juni 1986, 62 pp.
- Gijs Simons & Peter Droogers, ['Verkenning Remote Sensing producten voor het waterbeheer'](#), STOWA rapport 2016-17, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort, 2016. ISBN 978-90-5773-723-7.
- [Actueel hoogtebestand Nederland](#)
- [Neerslagradar KNMI](#)
- [Luchtfoto's van Nederland](#)
- [Veranderingen bodemgebruik: van land naar water of omgekeerd](#)
- [InSAR-metingen](#)
- [Infraroodmetingen nabij/vanaf de grond](#)
- [Passieve microgolfstraling \(voor onder andere asfaltkwaliteitsinspectie\)](#)

- [Satellietdata](#)
- [Lopend onderzoek door de Colorado School of Mines naar monitoring op verschillende schaalniveaus](#)
- [Lopend onderzoek gecoördineerd door de TU Delft naar veilige dijken](#)

Aangehaalde pagina's van Wikipedia: [nl.wikipedia.org/wiki/Remote\\_sensing](https://nl.wikipedia.org/wiki/Remote_sensing), [nl.wikipedia.org/wiki/Radar](https://nl.wikipedia.org/wiki/Radar), [nl.wikipedia.org/wiki/Seismograaf](https://nl.wikipedia.org/wiki/Seismograaf).

*Deze Deltafact is opgesteld door Deltares, oktober 2016 en laatst herzien in december 2017.*

### **Auteurs**

- Gennadii Donchyts
- André Koelewijn (Deltares)

## **11. Disclaimer**

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.