

# Verplaatsing van rivierijs gemeten vanuit de ruimte

BAS ALTENA EN ANDREAS KÄÄB.

*Tegenwoordig zijn er steeds meer optische aardobservatiesatellieten in de ruimte die ons inzicht kunnen geven in de hydrologische kringloop. Afgezien van de radiometrische gegevens van deze instrumenten, kunnen ook de geometrische aspecten gebruikt worden. Zo kunnen verplaatsingen worden opgemeten over grote delen van ons aardoppervlak. Doordat er tussen de opnames een klein tijdsverschil zit, kan het snel verplaatsende ijs op rivieren worden gemeten. Deze informatie maakt het mogelijk om hiaten in de afvoerdata van rivieren te dichten of deze data aan te vullen, of kan helpen bij het anticiperen op damvorming en overstromingen veroorzaakt door bewegend rivierijs.*

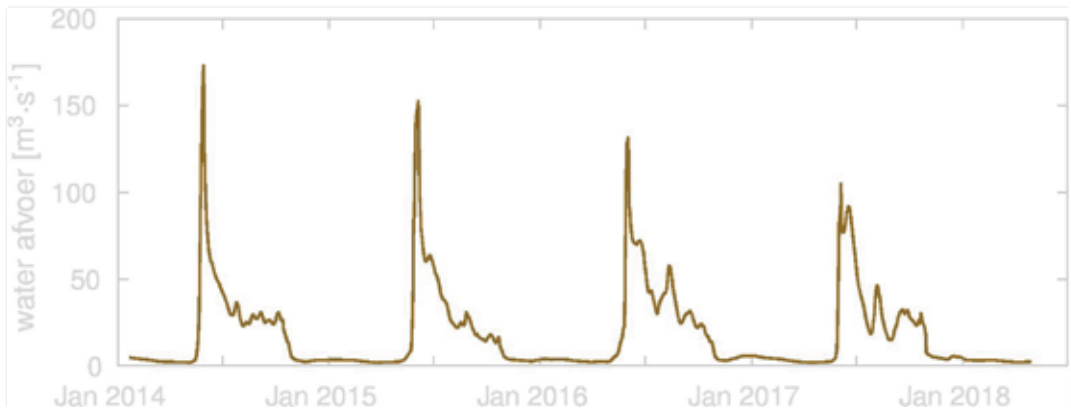
Artikel

## De kracht van ontdoeien

Ieder voorjaar, als de hoeveelheid inkomende zonnestraling weer toeneemt, is er een geleidelijke opwarming noordwaarts. Dit zorgt ervoor dat het sneeuwdek en het ijs beginnen te smelten. Het smeltwater stroomt naar een rivier die nog geheel of gedeeltelijk is bevroren. Deze bevroren bovenlaag zorgt voor een barrière, wat de waterafvoer ophoudt. Als de omgevingstemperatuur hoog genoeg is ontstaan er smeltwaterpoeltjes op het rivierijs en smelt de ijslaag weg. Als dit echter niet snel genoeg gebeurt, dan kan de opgebouwde watervoorraad de ijslaag breken, waarna deze gebroken stukken meereizen met de rivier.

Dit mechanisme komt vooral voor bij noordelijke rivieren in Canada, Rusland en Scandinavië, waar grote rivieren vooral noordwaarts stromen en het water dus het aanbreken van de lente inhaalt. Het is minder het geval in berggebieden, aangezien de hoogtegradiënt veel steiler is en daardoor minder oppervlakte beslaat. Ook hier kunnen echter lokale weersomstandigheden ervoor zorgen dat een smeltwaterpuls ontstaat.

De lengtes van deze noordelijk gelegen rivieren lopen al snel in de honderden kilometers. Het opbreken en opschonen van de rivier kan binnen een week plaatsvinden en kan gepaard gaan met schade aan rivierbanken en infrastructuur. Dus monitoring van opbrekend rivierijs is van belang. Doordat de opbreking en doorloop zo snel gebeurt is het identificeren van zwakke plekken in het ijs over zulke enorme afstanden lastig. Het gebruik van aardobservatietechnieken om verplaatsingen te meten van rivierijs en kan een uitkomst bieden om het peil van deze noordelijke rivieren in beeld te brengen. Gebruik van aardobservatietechnieken heeft bovendien als voordeel dat geen gebruik wordt gemaakt van in-situ meetinstrumenten die kwetsbaar zijn voor het alles verwoestende ijs en puin dat wordt meegenomen door de rivier.



*Afbeelding 1 Hydrograaf van het Kyusyur meetstation langs de Lena rivier, ontleend aan Holmes e.a. (2021).*

## De Lena-rivier

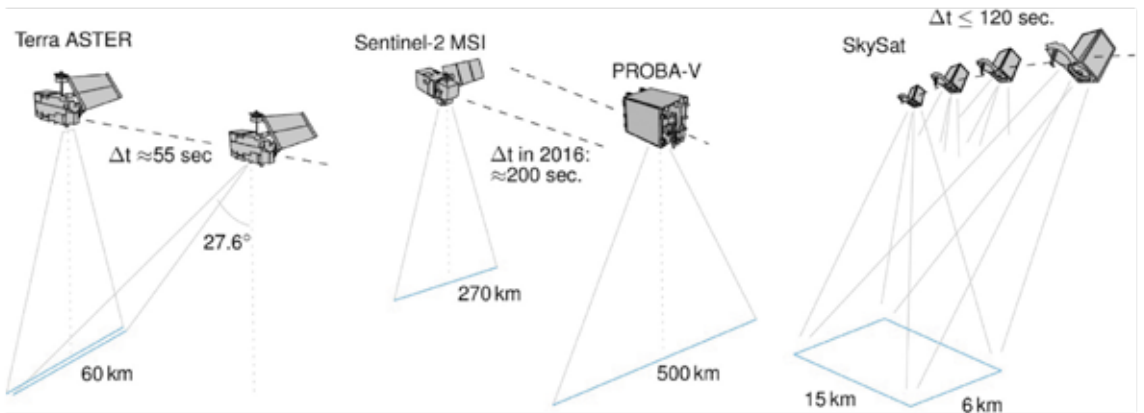
Eén van de langste rivieren ter wereld is de Lena-rivier in Siberië met een stroomgebied van 2.500.000 km<sup>2</sup>. In de laatste decennia is de afvoerdynamiek voor de Lena en drie andere grote Arctische rivieren flink veranderd: De afvoer in de winter nam toe, begon het smeltseizoen eerder, maar nam de intensiteit van de voorjaarspuls af (Ahmed e.a., 2020). Dit is ook te zien over de laatste jaren, zoals weergegeven in Afbeelding 1. Deze figuur laat ook de voorjaarspiek goed zien, welke ieder jaar zorgt voor een enorme hydrologische impuls.

Deze enorme toename van afvoer zorgt dat het ijs op de rivier breekt tot platen of brokken. Het zijn deze ijsbrokken die voor een hoog contrast zorgen, doordat ze fel afsteken tegen het absorberende water waarop ze drijven. Dit intensiteitsverschil maakt het mogelijk om snelheden te meten wanneer er beelden met een klein tijdsverschil worden vergeleken.

## Foto-opnames vanuit de ruimte

Bij verschillende satellietsystemen kunnen beelden worden gemaakt met een klein tijdsverschil. Zo zijn er satellieten met een stereoscopische opstelling, waar een telescoop voorwaarts, neerwaarts en achterwaarts staan gericht (afbeelding 2). Ook zijn er satellieten die hun kijkhoek kunnen veranderen en zo gestuurd video-opnames kunnen maken van een bepaalde plek, terwijl de satelliet staart naar een plek op aarde wordt er zo een video gemaakt. Het verschil in kijkhoek wordt dan gebruikt om hoogtedata te genereren, maar het opnameverschil creëert ook de gelegenheid om snelle en grootschalige verplaatsingen te meten.

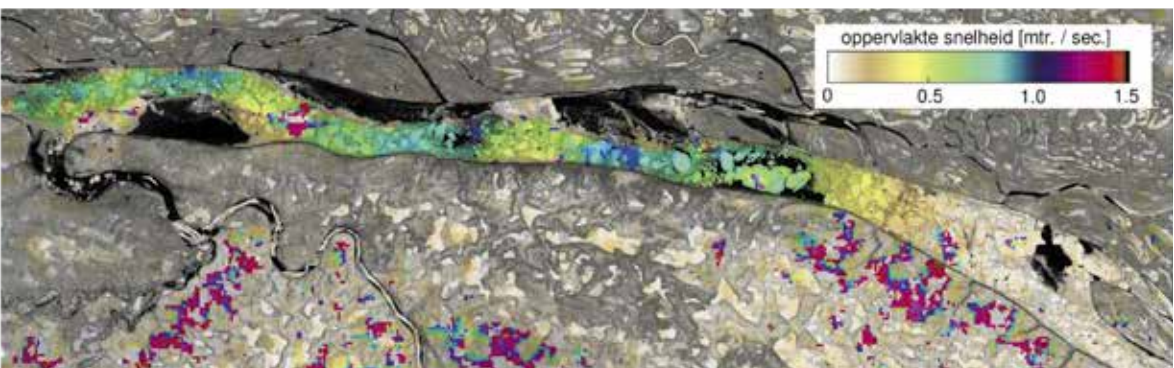
Een laatste mogelijkheid is om gebruik te maken van verschillende satellietsystemen (Altena en Kääh, 2021). Veel optische satellieten zitten in dezelfde zonsynchrone baan, waarbij de meeste opnames worden gemaakt in de voormiddag. Eén zo'n combinatie is die van Sentinel-2- en PROBA-V-satelliet. Beide systemen zijn ingericht om producten te genereren vanuit de radiometrische eigenschappen. Zo kunnen groeiseizoenen, smeltend sneeuw of overstromingen worden gekarteerd. Maar het tijdsverschil tussen opnames van enkele minuten kan ook worden benut om geometrische data te genereren.



*Afbeelding 2 Geometrische en temporele configuratie van verschillende optische satellietssystemen.*

### Een ijsopstopping nader bekeken

In afbeelding 3 zijn de snelheden van het rivierijs weergegeven met een kleurtje. Een geleidelijke kleurovergang is te zien bij de rivier, afgezien van wat rode spikkels, die grove uitschieters voorstellen. Verder van deze ruis geeft het snelheidsveld een smalle meanderende band weer. Dit komt sterk overeen met afbeelding 4 waarin een beeld van de daaropvolgende herfst is weergegeven toen er een lage waterstand was. Daar zijn zandbanken en zellingen (ondiepe stukken grond langs de rivier) zichtbaar, die in het snelheidsveld in het voorjaar worden ontweken. Verder lijkt de snelheid van de watergang te variëren, maar deze is rechtevenredig met de breedte. Deze verhouding gaat alleen niet op voor het rechter deel van de figuur. Hier lijken de ijsbrokken op elkaar gedrukt te worden, waardoor ze niet gemakkelijk meekunnen stromen met de rivier. Deze opstopping kan zijn ontstaan door een grote ijsplaat die een bocht niet kan maken, en zo de opschoning verhindert. Met enige kennis kunnen snelheidsvelen dus snel een indicatie geven van knelpunten, en een overzicht geven van de situatie.



*Afbeelding 3 Snelheden langs een deel van de Lena rivier op 25 Mei 2016. Het rivierijs beweegt van links naar rechts.*



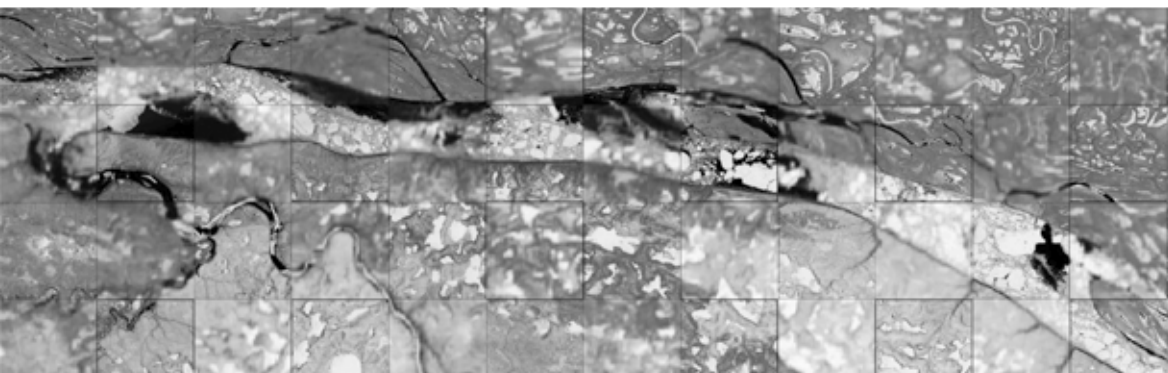
*Afbeelding 4 Sentinel-2 beeld in de herfst, waar een lagere waterstand zorgt dat de zandbanken en meandering beter zichtbaar maken. Waardoor een klein inzicht wordt gegeven in de bathymetrie en de watergang.*

Afgezien van de snelheidsverschillen, heeft de absolute snelheid ook informatieve waarde. Meedrijvende ijsblokken die bij een opstopping arriveren kunnen namelijk worden meegenomen onder de ijslaag, wanneer de rivier voldoende snelheid heeft (Hicks, 2016). Als een ijslaag niet te lang is kunnen ijsbrokken zo hun gang voortzetten, maar het kan ook zijn dat meerdere ijsbrokken blijven steken onder het ijs en zo een vernauwing opbouwen. Deze ijsdammen kunnen uiterst gevaarlijk zijn, omdat ze in korte tijd kunnen ontstaan, en lokaal voor overstromingen zorgen. Als voldoende druk is opgebouwd, kan het water de dam breken en met meer kracht verder trekken, en eenzelfde proces kan zich weer herhalen. Dit soort ijsdammen en overrompelingen richten veel schade aan. Inzicht in de karakteristieken van de ijsafvoer kan helpen bij het identificeren van zwakke plekken. De identificatie van deze zwakke plekken kan behulpzaam zijn bij het nemen van preventieve maatregelen in het winterseizoen.

### **Een kijkje naar de toekomst**

Het meten van de verplaatsing van rivierijs vanuit de ruimte was al eerder mogelijk met hoge resolutiebeelden (0.5-3 meter) (Kääb e.a., 2019). Het verwerken daarvan is echter uiterst computerintensief, wat een grootschalige opzet voor meerdere rivieren belemmert. Het is echter ook mogelijk om met lage-resolutiebeelden een soortgelijk resultaat te genereren. Het resolutieverschil is te zien in afbeelding 5. Dit laat goed zien dat brede meanderende rivieren kunnen worden gemeten, maar dat dit niet het geval zal zijn voor smalle rivieren in berggebieden.

Het is dus mogelijk om met middelmatige en lage-resolutiebeelden de ijsafvoer te bestuderen (Altena en Kääb, 2021). De satellietdata van zowel Sentinel-2 als PROBA-V zijn vrij toegankelijk en snel beschikbaar. Dit maakt het mogelijk om een dienst op te zetten die analyse en anticipatie mogelijk maakt. Helaas is de operationele missie van PROBA-V ten einde en is er drift in de satellietbaan. Het beetje zwaartekracht dat werkt op de satelliet, laat deze zakken naar een lagere hoogte. Als dit niet wordt gecompenseerd door stuw raketten, kan het tijdsverschil tussen opnames oplopen tot enkele uren. Deze satellietcombinatie is dus



*Afbeelding 5 Schaakbordvisualisatie van Sentinel-2 (10m), en PROBA-V (100m) beeld.*

niet meer bruikbaar, maar de studie laat zien dat het mogelijk is om data van verschillende satellieten te combineren. Dit opent de deur naar satellietconstellaties die vooropgezet bij elkaar in een baan worden geplaatst.

De enorme groei in mini- en microsattelieten kan dit faciliteren (Poghosyan en Golkar, 2017). Ruimtevaartorganisaties, bedrijven en zelfs verenigingen kunnen nu satellieten in een baan om de aarde krijgen. Dit alles is mogelijk doordat de kosten voor een raketlancering stevig zijn verminderd. Als een micro- of minisatelliet een optisch instrument heeft geïntegreerd, is dat er vaak één met een lage resolutie. Dit komt door de ruimte beperkingen in de satelliet. Toch kunnen resoluties van 75 meter gehaald worden, denk bijvoorbeeld aan het hyperscout-2 instrument van Cosine<sup>1</sup>. Dit bedrijf uit Warmond maakt optica waarmee een groot deel van het spectrum fijnmazig kan worden opgemeten. Als zo'n instrument in een microsatelliet wordt geplaatst, en naast een operationele satelliet wordt gezet, dan is het mogelijk om het product- portfolio van zo'n satelliet te verrijken.

## **Conclusie**

De resultaten en vooruitzichten die in dit artikel zijn beschreven en de technische ontwikkelingen op het gebied van satellieten brengen een operationeel systeem om *real time* ijsmetingen te implementeren ineens veel dichterbij. Nu is het toepassingsdomein van rivierijs in de Arctische gebieden een niche, maar dit voorbeeld geeft wel een goed idee van de mogelijkheden van aardobservatie voor de hydrologie. Want het lokale probleem van ijssdammen ontstaat door processen op grotere schaal, die nu iets beter kunnen worden gemonitord met satellieten.

---

<sup>1</sup> Vermelding van bedrijfsnamen is uitsluitend ter informatie en niet ter promotie

## Literatuur

- Ahmed, R. T. Prowse, Y. Dibike, B. Bonsal, en H. O'Neil** (2020) Recent trends in freshwater influx to the Arctic ocean from four major Arctic-draining rivers; in: *Water*, vol 12, pag 1189.
- Altena, B. en A. Kääb** (2021) Quantifying river ice movement through a combination of European satellite monitoring services; in: *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation*, vol 14, pag 462-472.
- Hicks, F.** (2016) An introduction to river ice engineering for civil engineers and geoscientists; Createspace publishing, Lexington.
- Holmes, R.M. J.W. McClelland, S.E. Tank, R.G.M. Spencer, en A.I. Shiklomanov** (2021) Arctic Great Rivers Observatory. Water Quality Dataset; afkomstig van: [arcticgreatrivers.org/data](http://arcticgreatrivers.org/data), vers 20181018.
- Kääb, A. B. Altena, en J. Mascaro** (2019) River-ice and water velocities using the Planet optical cubesat constellation; in: *Hydrology and Earth System Sciences*, vol 23, pag 4233-4247.
- Poghosyan, A. en A. Golkar** (2017) Cubesat evolution: analyzing cubesat capabilities for conducting science missions; in: *Progress in Aerospace Sciences*, vol 88, pag 59-83.

## Summary Measuring movement of river ice from space

*Currently, a suit of optical remote sensing satellites can provide insights into the hydrological cycle. Apart from radiometric readings, the geometric aspect of such data can be used. This allows the observation of large parts of the Earth's surface and ice cover. Due to a short time difference between different satellite acquisitions, it is possible to measure speed of fast floating ice on rivers. This type of information can be used to fill the gap in discharge records, or mitigate river ice break-up hazards.*

### Auteurs

BAS ALTENA

Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek Utrecht (IMAU),  
Universiteit Utrecht.

[b.altena@uu.nl](mailto:b.altena@uu.nl)

ANDREAS KÄÄB

Departement voor Aardwetenschappen, Universiteit van Oslo, Noorwegen.  
[a.m.kaeab@geo.uio.no](mailto:a.m.kaeab@geo.uio.no)