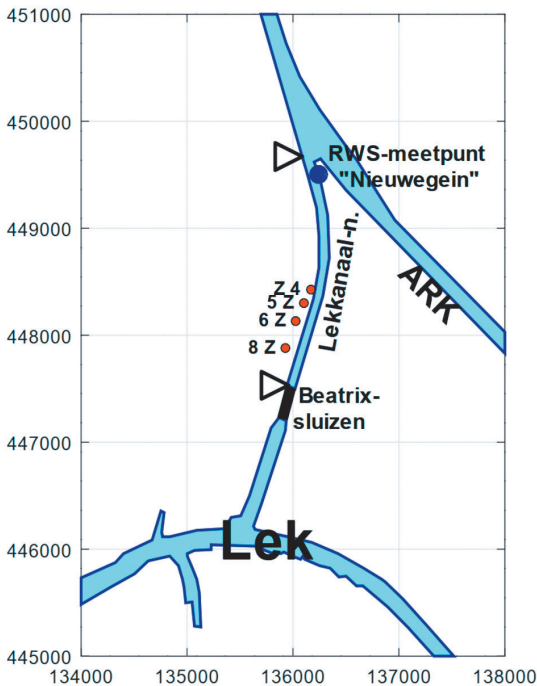


# Staande golven in stijghoogtereeksen

Philip Nienhuis<sup>1</sup>

## Inleiding

Waternet heeft langs het noordpand van het Lekkanaal in Nieuwegein een calamiteitengrondwaterwinning met winputten die in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket (80 – 130 m-mv) staan afgesteld (Afbeelding 1). Deze winning kan onder meer worden ingezet indien de kwaliteit van het ingenomen Rijnwater niet voldoet aan het Infiltratiebesluit. Inzet van de winning komt maar zelden voor, tot nu toe hooguit enkele dagen tot een week per jaar. De winning is goed beschermd, omdat zich tussen het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerend pakket een 20 m dikke kleilaag bevindt met een aanzienlijke verticale weerstand (ordegrootte 5000-10000 dagen).



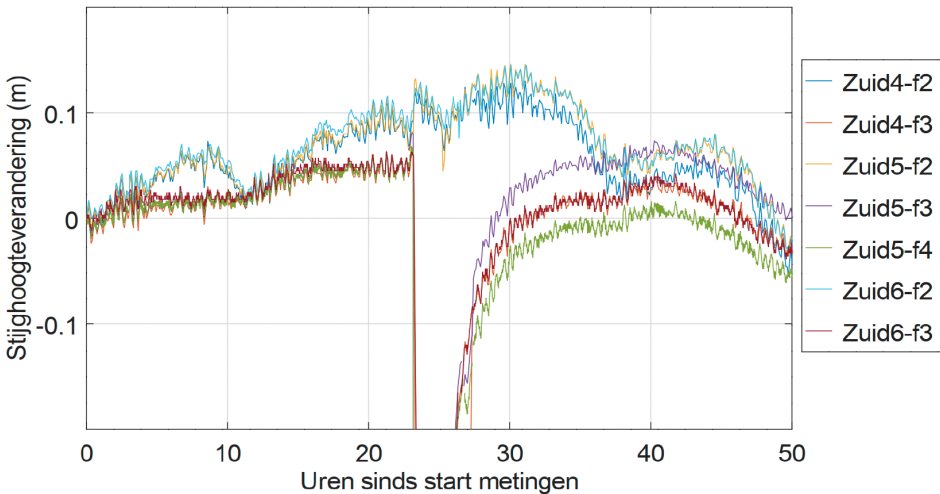
**Afbeelding 1:** Locatie van Lekkanaal en betrokken winputten. De afstand tussen de twee driehoekjes is gelijk aan  $\frac{1}{4}$  x de golf-lengte (circa 2,2 km); zie tekst voor verdere toelichting.

<sup>1</sup> Waternet, Amsterdam, philip.nienhuis@waternet.nl

## Onttrekkingsproef en meetresultaten

Met één van de winputten is in maart 2018 een korte onttrekkingsproef uitgevoerd. Stijghoogtereeksen zijn gemeten in peilfilters in de bepompte winput ("Bron Zuid 5") en de twee naastgelegen winputten (beide op circa 150 m afstand; zie afbeelding 1). In elk van die putten bevinden zich vier peilfilters in de omstorting, zowel in het 1<sup>e</sup> als in het 2<sup>e</sup> (bepompte) watervoerend pakket. Alle stijghoogtemetingen zijn gestart op een zondagochtend om 11:00 met meetintervallen van één tot vijf minuten. De eigenlijke onttrekkingsproef vond plaats op de volgende maandagochtend van circa 10:00 tot 12:00 uur.

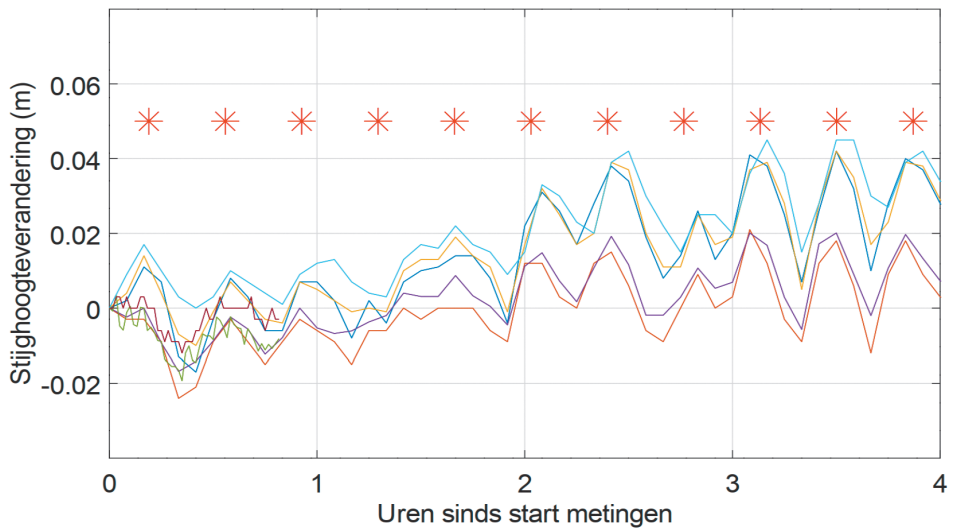
In Afbeelding 2 zijn gemeten en voor luchtdruk gecorrigeerde stijghoogtes weergegeven in de betreffende winputten, zowel in het 1<sup>e</sup> ("f2") als in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket ("f3" en "f4"); omdat het om een onttrekkingsproef gaat heb ik alleen de verschillen sinds de start van de meetreeksen weergegeven. In deze stijghoogtereeksen zijn allerlei invloeden te zien: uiteraard van de pompproef zelf, maar ook van getij op de Lek en het daarmee in verbinding staande zuidpand van het Lekkanaal, van de nabijgelegen Vitens-grondwaterwinningen "Tull en 't Waal" en "Nieuwegein", die ook uit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket winnen en ook nog fraaie Noordbergumeeffecten. Altemaal heel boeiend, maar ik concentreer me hier op de op het eerste gezicht minder interessante, ietwat rommelige kortdurende fluctuaties die in alle watervoerende pakketten te zien zijn.



**Afbeelding 2:** Gemeten tijdstijghoogtereeksen. De stijghoogteverlaging in het 2e watervoerend pakket tijdens de onttrekking bedroeg ongeveer 5 meter

Deze kortdurende fluctuaties trokken de aandacht, omdat de amplitude van soms 3 à 4 cm eigenlijk best groot was en de onttrekkingsproef onder meer gericht was op het detecteren van naar verwachting kleine reacties in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket. Uit Afbeelding 3 blijkt dat genoemde fluctuaties in beide watervoerende pakketten optreden met ongeveer gelijke amplitude en fase. Dit duidt op een proces dat stijghoogtes beïnvloedt door middel van drukoverdracht (zie bijvoorbeeld Leenen en Maas,

2009), in plaats van via Darcystroming (anders zou er vanwege de grote weerstand van de klei een groot verschil moeten zijn in reactie tussen het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerend pakket). Uiteraard dacht ik meteen aan het effect van schutten van de Beatrixsluizen, maar het rare is dat dat schutten dan kennelijk wel heel erg regelmatig geschiedt en ook dag en nacht met dezelfde intensiteit. Nadere inspectie van de eerste vier uur na starten van de metingen, dus van vóór de eigenlijke onttrekkingsproef, wijst uit dat het gaat om een heel regelmatige schommeling met circa 11 "pieken" in 4 uur, ofwel een periode van circa 22 minuten (Afbeelding 3).



**Afbeelding 3:** Eerste 4 uur van de gemeten tijdstijghoogtereeksen. De sterretjes geven de pieken van de fluctuaties aan

### Oorzaak van de fluctuatie

Resonantie zou een goede verklaring kunnen zijn voor de regelmaat van de fluctuatie. Andere oorzaken voor de regelmaat kun je nooit uitsluiten, maar ik kon ze niet vinden. Het Lekkanaal zelf heeft op het eerste oog de goede eigenschappen voor het accommoderen van een staande golf. De kortste afmeting daarvoor is  $\frac{1}{4}$  maal de golflengte, met één open en één gesloten eind (zie bijv. Gao en Adcock, 2017). Stel je een golfbuik voor met maximale waterpeilfluctuatie en minimale stromingsamplitude aan de kant van de Beatrixsluizen (gesloten eind), een golfknoop met minimale waterpeilamplitude en maximale stromingsamplitude aan de kant van de samenvloeiing met het diepere en veel bredere Amsterdam-Rijnkanaal (open eind; hier kunnen de heen- en weerstroming in het Lekkanaal en de waterpeilfluctuaties gemakkelijk worden opgevangen of "gedempt"). Voor de aandrijving van de staande golf ligt onder meer het schutten van de Beatrixsluizen en/of zuiging van voorbijvarende grote schepen in het Amsterdam-Rijnkanaal voor de hand. In ieder geval is dat eerste een bekend fenomeen: zie bijvoorbeeld Horvath et al (2014) en referenties daarin. Nu wat relevante getallen:

- De golfsnelheid in ondiep water bedraagt  $\sqrt{D \cdot g}$  m/s, waarin  $D$  de waterdiepte in meters is en  $g$  de versnelling van de zwaartekracht in  $m/s^2$ .

- De diepte van het Lekkanaal bedraagt volgens Rijkswaterstaat 4,5 meter. In het Tracébesluit 3<sup>e</sup> Sluiskolk Beatrixsluizen (Rijkswaterstaat, 2014) wordt gerept van een bodemligging van NAP-5,7 m, met een waterpeil van -0,4 m zou dat 5,3 m waterdiepte betekenen. Die NAP-5,7 m lijkt mij een meer theoretische ontwerpwaarde, maar wie ben ik? Ik neem maar een gemiddelde aan; dan volgt met bovenstaand formuletje een golfsnelheid van circa 6,9 m/s.
- De lengte van het Lekkanaal tussen Amsterdam-Rijnkanaal en Beatrixsluizen die staat voor  $\frac{1}{4}$  golflengte is ongeveer 2,2 km (de afstand tussen de twee driehoekjes in Afbeelding 1). De golflengte is dan 8,8 km. Delen door de bovenvermelde golfsnelheid levert een periode op van 1275 seconden, ofwel ongeveer 21,5 minuten; dat klopt heel goed met de in de stijghoogtereeksen waargenomen periode.

De exacte te hanteren lengte en waterdiepte van het Lekkanaal zijn niet goed bekend. De positie van de Beatrixsluisdeuren ligt uiteraard precies vast, maar waar het Lekkanaal hydraulisch overgaat in het Amsterdam-Rijnkanaal is niet zo duidelijk. De onzekerheid in waterdiepte is al genoemd; bovendien wordt het Lekkanaal thans verbreed en verdiept in het kader van de aanleg van een 3<sup>e</sup> sluiskolk voor de Beatrixsluizen. Helaas heb ik niet de beschikking over waterpeilmetingen in het Lekkanaal waarmee die waterpeilfluctuatie zelf kan worden bewezen. Navraag per email bij Rijkswaterstaat en de bouwcombinatie die het Lekkanaal verbreedt leverde geen uitsluitsel op. Er is wel een vast Rijkswaterstaat-meetpunt ("Nieuwegein", zie Afbeelding 1) maar dat ligt precies bij de samenvloeiing van het Lekkanaal en Amsterdam-Rijnkanaal waar de amplitude van de staande golf naar verwachting nu juist minimaal is. Het waterpeil wordt daar om de 10 minuten gemeten en dat is heel dicht bij de Nyquist-bemonsteringsfrequentie, ofwel de meetfrequentie die minimaal nodig is om een regelmatige golf te kunnen karakteriseren, gelijk aan tweemaal de golffrequentie. Het kan in theorie in dit geval misschien nog net, maar je belandt vrijwel onvermijdelijk in problemen met "aliasing". Dat is het verschijnsel dat de "waargenomen" frequentie een soort grootste gemene deler is van de eigenlijke frequentie en de meetfrequentie. Door de in uitvoering zijnde verdieping van het Lekkanaal zal de golfsnelheid toenemen en de golffrequentie dus ook. Die laatste wordt dan wellicht zelfs hoger dan de helft van de meetfrequentie van RWS-meetpunt Nieuwegein zodat met dat meetpunt bij gelijkblijvend meetinterval de staande golf helemaal niet meer kan worden gemeten.

Een schatting van de amplitude van de waterpeilfluctuaties zou moeten voldoen aan twee voorwaarden: (1) groter dan de fluctuaties in het grondwater, dus meer dan 3 à 4 centimeter en (2) klein genoeg dat het niet opvalt, laat staan hindert bij de scheepvaart, mede omdat deze staande golf niet bij Rijkswaterstaat bekend lijkt te zijn. Ik gok dat voor (2) de grens ligt bij zo'n 10 cm. Nadere beschouwing van de fluctuaties in de stijghoogte-meetreeks laat zien dat de amplitude van de staande golf op onvoorspelbare wijze soms groter en soms kleiner is. De oorzaak daarvan kan zijn dat het schutten van de Beatrixsluizen soms in fase en soms in tegenfase met de staande golf geschiedt en de golf daardoor versterkt, respectievelijk verzwakt wordt. Het getij in de Lek (piek-piek amplitude meestal rond 1,3 m) blijkt minder van belang: bij hoogwater zou je een groter schutvolume verwachten dat naar het noordpand van het Lekkanaal stroomt dan bij laagwater, maar ik kon geen ondubbelzinnige relatie vaststellen met de grootte van de stijghoogtefluctuaties. Zuiging van grote schepen in het Amsterdam-Rijnkanaal is uiteraard ook een onvoorspelbare factor.

In 2012 is een soortgelijke onttrekkingsproef uitgevoerd in de zuidelijkste winput (bron Zuid 8) waarbij rondom de stop met een interval van 1 minuut is gemeten. In die meetreeksen vond ik dezelfde fluctuatie terug, maar met een iets lagere frequentie (~23 à 24 minuten). Mogelijk heeft de huidige verbreding en verdieping van het Lekkanaal, die in 2012 nog niet in gang gezet was, via de waterdiepte en golfsnelheid de resonantiefrequentie van het stukje Lekkanaal al enigszins beïnvloed.

### Wat kun je hiermee?

Allereerst kun je met deze kennis gemeten tijdstijghoogtereeksen beter corrigeren. In dit geval gaat het om maar enkele centimeters maar dat was juist de verwachte grootte van bepaalde effecten die ik met de onttrekkingsproef probeerde te achterhalen. Relevant is dat deze regelmatige en goed corrigeerbare fluctuaties nooit hadden kunnen worden gedetecteerd als er niet relatief hoogfrequent zou zijn gemeten. In andere, kortere of langere kanaalpannen of zijhavens kunnen soortgelijke resonanties optreden die de stijghoogtes in de omgeving beïnvloeden. Het is verstandig om bij validatie en analyse van stijghoogtereeksen in ieder geval bedacht te zijn op dergelijke fenomenen. Deze kunnen regelmatige en dus goed corrigeerbare stijghoogtevariaties veroorzaken met een periode die te kort is om met de gebruikelijke datalogger-meetintervallen van één uur te detecteren, laat staan te karakteriseren.

### Referenties

**Gao, C en T.A.A. Adcock** (2017) On the Tidal Resonance of the Bristol Channel. *Int. Journal of Offshore and Polar Eng. Vol. 27-2*

**Horvath, K., E. Duvella, M. Petreczky, L. Rajaoarisoa en K. Chuquet** (2014) Model Predictive Control of Water Levels in a Navigation Canal Affected by Resonance Waves. In: Proc. of 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Hydroinformatics HIC 2014, NYC, USA

**Leenen, H. en K. Maas** (2009) Het eigen gewicht van freatisch grondwater of nogmaals: vergeten we iets? *Stromingen 2009 (2)*

**Rijkswaterstaat** (2014) Tracébesluit 3<sup>e</sup> Kolk Prinses Beatrixsluis (2014), beschikbaar via [https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Trac%C3%A9besluit%203e%20kolk%20Prinses%20Beatrixsluis\\_tcm174-366532\\_tcm21-24101.pdf](https://staticresources.rijkswaterstaat.nl/binaries/Trac%C3%A9besluit%203e%20kolk%20Prinses%20Beatrixsluis_tcm174-366532_tcm21-24101.pdf)

