

Monitoring golven en stroming op rivieren

Plan van aanpak voor pilot studies



Monitoring golven en stroming op rivieren

Plan van aanpak voor pilot studies

Rinus Schroevers
Aukje Spruyt
Arjan Sieben
Herman Peters
Gerrit Burger
Marcel Bottema
Denes Beyer

11200537-003

Titel

Monitoring golven en stroming op rivieren

Opdrachtgever
RWS

Project
11200537-003

Kenmerk
11200537-003-ZWS-0008

Pagina's
30

Trefwoorden

Monitoring, rivieren, golven, stroming, Quick reaction force

Samenvatting

Bij RWS wordt vermoed dat ontwerpwaarden van golfhoogten bij keringen op rivieren met het huidige instrumentarium niet goed worden berekend. Daarnaast is er ook onduidelijkheid over hoe de berekende doorstroming van de uiterwaarden tijdens hoogwater zich verhoudt tot de werkelijkheid. Door het ontbreken van goede waarnemingen is echter niet vast te stellen in welke mate er afwijkingen zijn. Dit leidt tot de behoefte om golven en stroming op rivieren efficiënt en voldoende nauwkeurig, al dan niet gefaseerd, te monitoren, zodat de betrouwbaarheid van het instrumentarium kan worden bepaald en zo nodig verbeterd.

Door middel van een pilot kan de golf- en stroomdata op rivieren worden ingewonnen. De voorgestelde monitoringstrategie bestaat uit overwegend indirecte monitoring met *remote sensing* van golven, stroming en vorm van het waterstandoppervlak, en enkele *puntmetingen* ter verificatie. Voor de puntmetingen worden technieken ingezet waar goede ervaring mee is in ondiep water in estuaria en nieuwe technieken waar potentie in wordt gezien. Dit zijn een directionele golfboei (al dan niet uitgeruste met een stromingsmeter) een golf ADCP met Acoustic Surface tracking (AST) en een op afstand bestuurbaar bootje dat kan fungeren als golfboei. Voor de ruimtelijke metingen van golven en stroming wordt ingezet op video- en/of infraroodcamera's vanwege de bestaande ervaring voor kustdynamica en rivieren. Daarnaast lijkt het mogelijk om via laserscanning van het wateroppervlak met een drone de vorm van het oppervlak te bepalen en daaruit indirect de onderliggende stroming af te leiden.

Om een goede pilot uit te voeren, die aan alle verwachtingen voldoet, is een redelijk uitgebreid programma van testen en ontwikkelen van de meettechnieken en verwerkingssoftware nodig. Omwille van voortgang wordt voorgesteld om vier pilots te hanteren, in opeenvolgende complexiteit/meetnauwkeurigheid:

- Pilot 1: "eerste scan golven" gericht op een kwalitatieve bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogten.
- Pilot 2: Modelverificatie en testen van data-inwintechnieken op een alternatieve testlocatie.
- Pilot 3: inrichten van een locatie op de rivier waar de vraagstelling speelt.
- Pilot 4: is als "output-verificatie golven" gericht op een kwantitatieve verificatie van hydraulische belastingniveaus bij de kering.

Deltares adviseert daarbij op korte termijn parallel de volgende stappen te ondernemen:

- Het snel uitvoeren van eerste video en stereometrie opnamen van een rivier (pilot 1) en het organiseren van een "hackathon" om ervaring en inzicht op te doen met de verwerking van gegevens tot golfhoogten en stroming.
- Het nader uitwerken van de pilots op basis van offertes en overleg met RWS CIV en marktpartijen.
- Voorbereiden locatie voor video monitoring op de IJssel en Waal.

Titel

Monitoring golven en stroming op rivieren

Opdrachtgever
RWS**Project**
11200537-003**Kenmerk**
11200537-003-ZWS-0008**Pagina's**
30**Referenties**

KPP 2017, Quick reaction force, 11200537

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	dec. 2017	Aukje Spruyt		Alfons Smale		Johan Boon	
		Rinus Schroevers					

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Organisatie en bijdragen	2
1.4	Leeswijzer	2
1.5	Terminologie	2
2	Onderliggende vragen	3
2.1	Onzekerheid in de modelering van golven op rivieren	3
2.2	Onzekerheid in de modelering van doorstroming van uiterwaarden	4
3	Informatiebehoefte voor validatie van modellen	5
3.1	Behoefte aan metingen van golven voor modelvalidatie	5
3.2	Behoefte aan metingen voor validatie van stroming door uiterwaarden	6
3.3	Korte discussie ten aanzien van de wensen/eisen	7
3.3.1	Nadere discussie over de haalbaarheid van de genoemde wensen	7
3.3.2	Karakteristiek van de informatiebehoefte	8
4	Meettechnieken en monitoringsstrategie	9
4.1	Inleiding	9
4.2	Uitgangspunten voor een monitoringsstrategie	9
4.3	Bestaande metingen en campagnes	10
4.3.1	Landelijk Meetnet Water	10
4.3.2	Hoogwatermeetprogramma	11
4.3.3	Andere bronnen voor golf- stroominformatie	11
4.4	Overzicht mogelijke aanvullende metingen	12
4.5	Eerste indruk beschikbare meettechnieken	15
5	Voorstel voor pilots	17
5.1	Definitie van pilots	17
5.2	Pilot 1 is als “eerste scan golven” gericht op een kwalitatieve bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogten.	17
5.3	Pilot 2: Modelverificatie en testen van data-inwintechieken op een alternatieve testlocatie	18
5.4	Pilot 3: inrichten van een locatie op de rivier waar de vraagstelling speelt	18
5.4.1	Event	18
5.4.2	Metingen	18
5.5	Pilot 4: is als “output-verificatie golven” gericht op een kwantitatieve verificatie van hydraulische belastingniveaus bij de kering	19
5.6	Inzet markt en universiteiten	19
5.7	Planning en fasering	19
6	Conclusies en aanbevelingen	21
7	Referenties	23

Bijlage(n)

A Beschikbare meettechnieken en beoordeling	A-1
A.1 Golven in hoofdgeul en uiterwaarden	A-1
A.1.1 Beschikbare technieken	A-1
A.2 Stroming in uiterwaarden	A-1
A.2.1 Beschikbare technieken	A-1
B Locatiekeuze pilot alternatieve locatie	B-1
C Locatiekeuze pilot rivieren	C-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Bij RWS wordt vermoed dat ontwerpwaarden van golfhoogten bij keringen op rivieren met het huidige instrumentarium niet goed worden berekend. De bijdrage van golven aan de hydraulische belastingen wordt momenteel voorspeld met modellen die niet zijn ontwikkeld voor sterk niet-uniforme stromingen met obstakels en vegetatie in wind en water, zie Figuur 1.1. Observaties tijdens het hoogwater van 1995 duiden er eveneens op dat golven mogelijk veel minder hoog zijn dan voorspeld met de beschikbare modellen (Seiffert, 1995). In dat geval zouden hydraulische belastingen door golven overschat worden. Een lagere berekende hydraulische belasting kan er toe leiden dat een kering niet wordt afgekeurd, of dat er een minder zware kering hoeft worden aangelegd. De kostenbesparing die dit met zich meebrengt kan in de tientallen miljoenen euro's lopen. Daarnaast is er ook onduidelijkheid over hoe de berekende doorstroming van de uiterwaarden tijdens hoogwater zich verhoudt tot de werkelijkheid. Die doorstroming draagt bij aan de afvoercapaciteit bij hoogwater; met meer inzicht kan die capaciteit effectiever worden gehandhaafd.

Door gebrek aan goede waarnemingen van stroming en het volledig ontbreken van metingen van golven is momenteel niet vast te stellen in welke mate er afwijkingen zijn. Dit leidt tot de behoefte om golven en stroming op rivieren efficiënt en voldoende nauwkeurig te monitoren. Het gebrek aan goede metingen is echter onder meer het gevolg van het ontbreken van goede methoden voor het bepalen van golven en stroming onder meer extreme situaties. Dit leidt tot de behoefte aan een verkenning hoe de gewenste golf- en stroomdata op rivieren het beste kan worden ingewonnen.

De achterliggende onderzoeksvragen zijn dan ook:

- 1 hoe kan de kwaliteit van stromings- en golfvoorspellingen worden bepaald?
- 2 Welke gegevens moeten hiervoor worden ingewonnen en hoe kunnen deze voldoende betrouwbaar worden bepaald?

en tenslotte

- 3 wat is de kwaliteit van stromings- en golfvoorspellingen?

Maar het hoofddoel is het verkrijgen van metingen.



Figuur 1.1 Voorbeeld van een meestromende uiterwaard. De begroeiing en de ruimtelijke variabiliteit vormen de uitdaging voor de monitoring.

1.2 Doelstelling

Ontwikkeling van een plan van aanpak om, met behulp van pilots, metingen te verkrijgen waarmee stromings- en golfvoorspellingen geïntegreerd kunnen worden.

Als de modellen getoetst zijn met de verkregen meetgegevens en blijkt dat het meenemen van golf-stroominteractie leidt inderdaad tot een aanpassing van de ontwerpwaarden leidt, dan zal besloten moeten worden op welke wijze dit verwerkt moet worden. Uitspraken over zo'n vervolg traject zijn geen doel van deze studie.

1.3 Organisatie en bijdragen

Het voorstel voor de pilot is tot stand gekomen uit een eerder voorstel van RWS (Beyer, Bottema, Burger, Peters, Sieben) en een expertsessie. Daarbij zijn de volgende personen betrokken geweest:

Arjan Sieben (RWS), Dénes Beyer (RWS), Marcel Bottema (RWS), Gerrit Burger (RWS), Herman Peters (RWS), Rik Nieuwhof (WSRL), Laura Taal (WSRL), Fred (WS R&IJ), Marcel Zijlema (TUD), Rinus Schroevers (Deltares), Alfons Smale (Deltares), Aukje Spruyt (Deltares)

Daarnaast is gebruik gemaakt van materiaal van Wim Uijttewaal (TUD) en Ton Hoitink (WUR), uit een sessie in 2013 over meten van extreme afvoeren.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk twee bespreekt nogmaals kort de onderliggende aanleiding.

Hoofdstuk drie de informatiebehoefte die er is om de modellen te kunnen verbeteren.

Hoofdstuk vier is een scan van beschikbare meettechnieken en monitoringsstrategie.

Hoofdstuk vijf bevat een voorstel voor 4 getrapte pilots. En uiteindelijk worden in hoofdstuk zes conclusies en aanbevelingen gegeven.

1.5 Terminologie

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AST	Acoustic Surface Tracking
GPS	Global Positioning System
LMW	Landelijk Meetnet Water
PIV	Particle Image Velocimetry
PTV	Particle Tracking Velocimetry
UHF	Ultra High Frequency
WBI	Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium
HBN	Hydraulisch Belasting Niveau

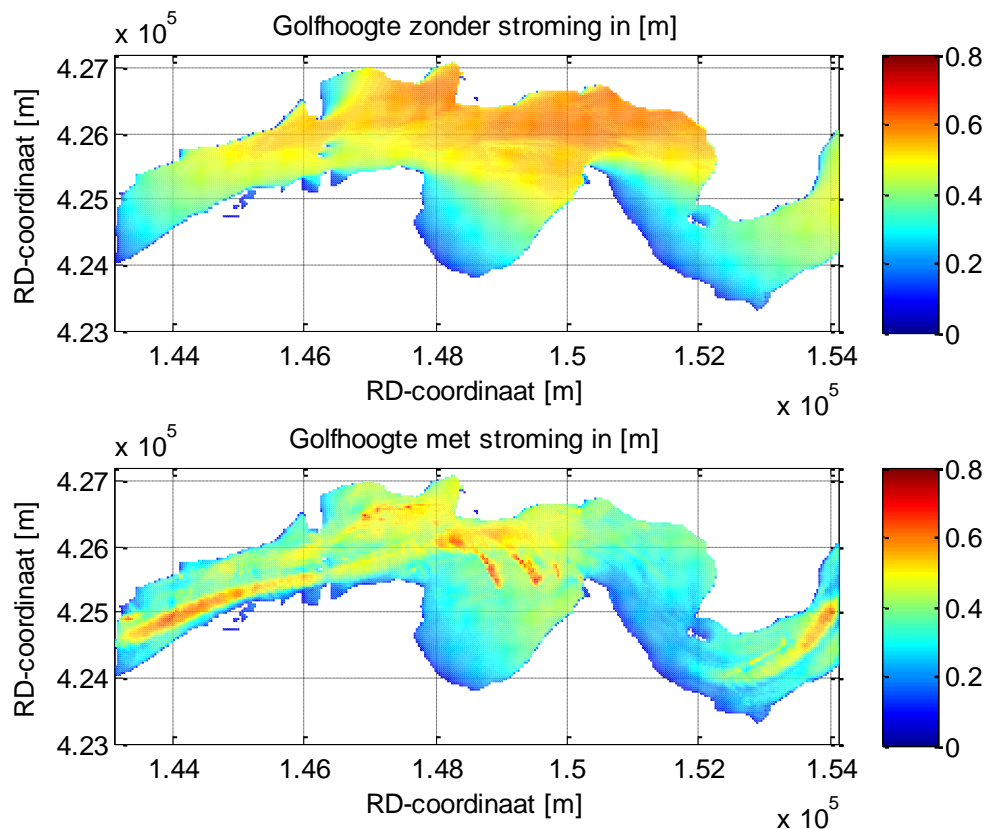
2 Onderliggende vragen

Dit hoofdstuk beschrijft in het kort de vragen ten aanzien van de modellen.

2.1 Onzekerheid in de modelering van golven op rivieren

De hydraulische belasting op keringen wordt bepaald uit combinaties van rivierwaterstand en (wind) golven. Dit betreft vanwege de stabiliteit van (bekledingen op) taluds van keringen ook combinaties van minder extreme rivierafvoer en extremere wind (11-12 Bft). De bijdrage van golven aan de hydraulische belastingen wordt op dit moment voorspeld met modellen die niet zijn gevalideerd voor sterk niet-uniforme stromingen met obstakels en vegetatie in wind en water. De combinatie van relatief sterke stroming en zeer korte/jonge golven is uniek voor rivieren, en kan aanleiding geven tot situaties waar golven (anders dan in getijde wateren) niet of nauwelijks tegen de stroming inkomen (zie ook het SWAN rekenvoorbeeld in Figuur 2.1). Observaties tijdens het hoogwater van 1995 duiden er eveneens op dat golven mogelijk veel minder hoog zijn dan voorspeld met de beschikbare modellen (Seiffert, 1995). In dat geval zouden ook hydraulische belastingen door golven overschat worden.

Vraag: Hoe verhouden de uit WBI-modellen (Bretschneider/SWAN) berekende windgolven op de rivieren zich tot de werkelijkheid, en welke mogelijkheden zijn er om deze scherper/realistischer te modelleren? In hoeverre komt de wind boven ondergelopen uiterwaarden daarbij overeen met de KNMI-wind (te Deelen).

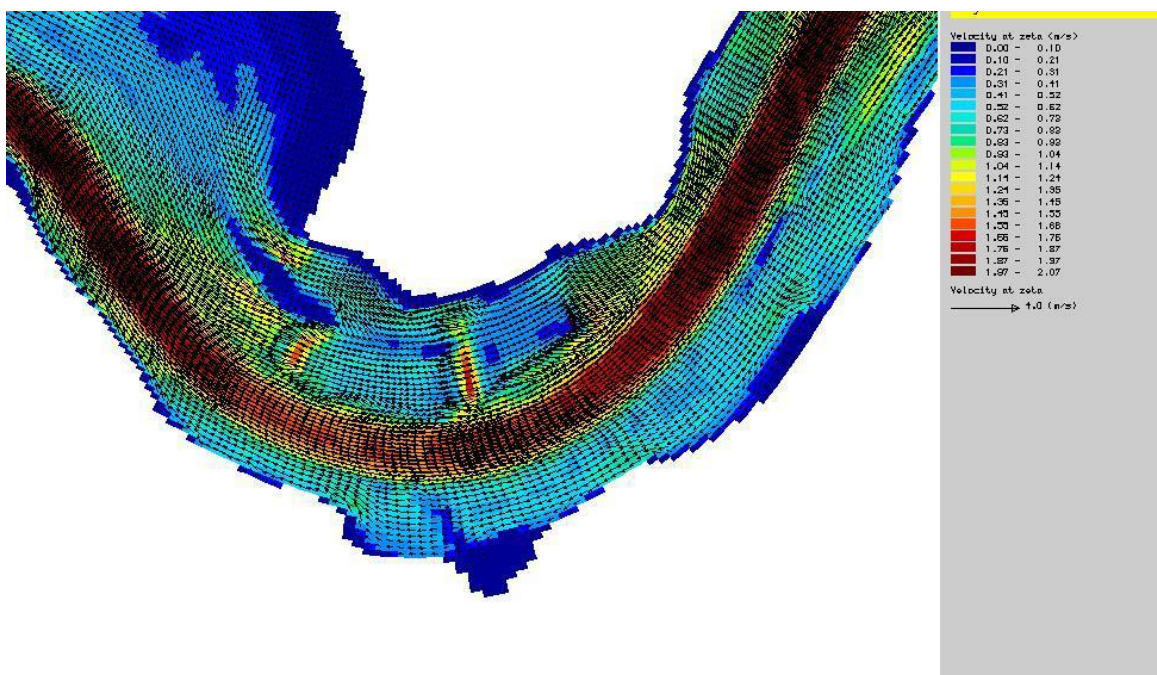


Figuur 2.1 Voorbeeld van modelresultaten van niet-uniforme golfhoogten in uiterwaarden, berekend met SWAN met en zonder stroming.

2.2 Onzekerheid in de modellering van doorstroming van uiterwaarden

De doorstroming van uiterwaarden tijdens hoogwater draagt bij aan de afvoercapaciteit. Die capaciteit moet door RWS worden gehandhaafd (zie programma's *Stroomlijn* en *Ruimte voor de Rivier*). Te lage afvoercapaciteit leidt tot opstuwing en waterstandsverhoging gedurende afvoerpieken. Omdat de werkelijke stroombeelden bij extreme afvoer onbekend zijn steunt de bepaling van de afvoercapaciteit op een modelmatige inschatting van de doorstroming; hoe beter de inschatting, des te effectiever de handhaving van deze doorstroming. De kwaliteit van het rekenmodel is echter onbekend, omdat weliswaar waterstanden en takafvoeren zijn gebruikt voor kalibratie en verificatie, maar niet de doorstroming van uiterwaarden.

Vraag: Hoe verhoudt de berekende doorstroming van uiterwaarden zich tot de werkelijkheid?



Figuur 2.2 Voorbeeld van berekende niet-uniforme stroming in hoofdgeul en uiterwaarden

3 Informatiebehoefte voor validatie van modellen

Het doel van de in te winnen kwantitatieve data van golven en stroming is het verifiëren en zo nodig verbeteren van de voorspelinstrumenten (hydraulische modellen), zodanig dat de kwaliteit kan worden ingeschat voor de beoogde toepassingen (veelal extremere condities).

Daarbij zijn van belang:

- de omstandigheden waarbij de validatie moet plaatsvinden;
- de tijd- en ruimteschaal van de relevante fysische processen (wind, water);
- de kleinste en grootste tijd- en ruimteschaal in de gewenste toepassing van modellen;
- een schatting van de huidige onzekerheid in de modelering.

Deze factoren worden hier afzonderlijk voor golf- en stromingsmodellen besproken.

3.1 Behoefte aan metingen van golven voor modelvalidatie

Op rivieren wordt op dit moment gebruik gemaakt van de relatief simpele Bretschneider-aanpak (1D). Hierbij hangt de golfhoogte alleen af van de strijklengte, gemiddelde bodemligging en windsnelheid. Mathematische modellen (SWAN) voor simulatie van golven zijn ontwikkeld en geverifieerd voor grote open wateren. Dergelijke modellen zijn ontwikkeld en geverifieerd voor grote open wateren, hoewel daarbij ook strijklengtes van 1-5 km zijn beschouwd. De condities op rivieren wijken daarvan af met een sterk niet-uniforme stroming en korte en variërende strijklengten. Voor die condities is het gedrag zijn modellen beperkt gevalideerd. De databehoefte bestaat uit enerzijds de data voor invoer in de modellen en formules en anderzijds de validatie van de resultaten. Waterstanden, stroming, en wind zijn de invoer voor SWAN-modellen. De waterstanden en stroming zijn eveneens verificatie variabelen voor de stromingsmodellen (WAQUA en in de toekomst D-Flow FM).

De specifieke databehoefte is als volgt:

Golven:

- **Golfparameters;** de gebruikelijke golfhoogte- en golfperiodematen, plus eventueel golfsteilheid, golfrichting en voortplantingssnelheid, stilwaterstand, te bepalen met een streefnauwkeurigheidsmarge van 5-10% (in overeenstemming met golfmeetcampagnes in de estuaria en meren).
- **Meetbereik**
Bij windkracht 7 (15 m/s) blijven golfhoogten vermoedelijk beperkt tot circa 0.4 – 1.0 m met piekperioden van 2-4 s. Bij windsnelheden van 10 m/s zijn de golfcondities circa 30% kleiner (golfhoogten van 0.25-0.75 m, piekperioden van circa 1.5-3 seconden en golflengten tussen 3 en 15 m). De waarden kunnen echter een factor 2-3 (golfhoogte) of 1.5-2 (piekperiode) kleiner zijn als strijklengten worden onderbroken door stroming en/of vegetatie. Daardoor kan de ruimtelijke variabiliteit vrij groot zijn, een golfpatroon kan binnen enkele tientallen meters in grootte variëren (zie Figuur 2.1). Het vereiste meetbereik ligt daarmee op $H_s = 0,1-1$ m en $T_p = 1,5-4$ s.

- **Tijdsdomein:** Tijdseries voor validatie op punten in karakteristieke zones: meting van de golfparameters. In zodanige tijdseries dat t.a.v. golven een goede analyse van spectra mogelijk is. De sampling in tijd en ruimte (ter indicatie: minimaal 5 meetpunten per golflengte/periode) dient toereikend te zijn om deze variabelen voldoende betrouwbaar te kunnen bepalen. Met golflengten van 3-15 m is de maximaal toelaatbare 'footprint' van een instrument 0.6 – 3 m. Samplefrequentie en middelingsduur moeten minimaal 4 Hz en 20 minuten zijn voor een aanvaardbare statistische bepaling van golfparameters. Dit zijn eisen vergelijkbaar met de eisen die gelden aan golfmetingen op de meren en zijn zwaarder dan de metingen aan golven in estuaria en open zee).
- **Ruimtelijk:** Ruimtelijke patronen in (spectrale) golfhoogte + (spectrale) lengte: ruimtelijke resolutie van 20x20 m wat overeenkomt met de kleinste cellen in de modellen. Nauwkeurigheid: ruimtelijk patroon moet goed zijn (mag wel stelselmatig afwijken). Minimaal 3 beelden van 1 event voor ensemble middeling. Grootte oppervlak: minimaal 300x300 meter, maar bij voorkeur over de hele breedte van de uiterwaard (as rivier tot bandijk), plus een overzicht (eventueel met grovere resolutie) van ca. 10x5km.

Stilwaterstand:

- **Parameters:** golfgemiddelde waterstand in de uiterwaard aan beide zijden van de waterloop om mogelijke scheefstand te kunnen valideren.
- **Meetbereik:** Vervallen zijn in de grootteorde van een decimeter, gedurende een afvoer golf varieert het bereik enkele meters.
- **Tijdsdomein:** Tijdseries voor validatie op punten. Golfgemiddelde waarde ter plekke van de puntmetingen voor golven (zie boven).
- **Ruimtelijk:** Gradiënten in wind- en in stroomrichting.

Stroming:

- **Parameters:** Grootte en richting van stroomsnelheid bij het waterstandsoppervlak (in het invloedsgebied van de golven).
- **Meetbereik:** Stroomsnelheden in uiterwaarden zullen variëren van 0 tot circa 1 m/s en waterdiepten van 0 tot circa 4 m (tot meer dan 10 m in plassen). Het streven is een nauwkeurigheid van 10-20%.
- **Tijdsdomein:** Tijdseries voor validatie op punten ter plekke van de puntmetingen golven (zie boven).
- **Ruimtelijk:** Beeld van ruimtelijke variatie (zie bij golven).

Wind:

Lokale windsnelheid op 10 meter hoogte (bij voorkeur ten minste 20 obstakelhoogtes van enig obstakel). Bij voorkeur met waarden gemiddeld over 10 minuten, 1 minuut en de 3 seconden windstoten.

Type event

Eerste beste hoogwater, maar het liefst met 1,5 m waterdiepte in de uiterwaarden met voldoende wind (5 Bft).

3.2 Behoeftte aan metingen voor validatie van stroming door uiterwaarden

Voor het modelleren van stromingen wordt gebruik gemaakt van 2D WAQUA-modellen (in de toekomst D-Flow FM). Die modellen zijn door kalibratie van zomerbedruwheid afgeregeld op LMW-waterstandspunten (ca. 30 km interval), niet op stroming door uiterwaarden. Stroomsnelheden in uiterwaarden zullen variëren van 0 tot circa 1 m/s en waterdiepten van 0 tot circa 4 m (tot meer dan 10 m in plassen) op lengteschalen vanaf 50 m. Hiervoor zijn geen data beschikbaar.

*De specifieke databehoefte stroming***Parameters:**

- Verdeling van afvoer over zomer-winterbed. Dit wordt verkregen uit afvoerraaien (over uiterwaarden of op verschillende posities in het zomerbed) met een ruimtelijke resolutie van grofweg 1 km tussen de raaien en ca. 20m langs een raai. Ook in windluwe situaties.
- ruimtelijke patronen op een lengteschaal vanaf 50 m, van stroming bij het vrije oppervlak en van specifieke afvoer in zomerbed en uiterwaard.

Meetbereik en variabiliteit:

Stroomsnelheden in uiterwaarden zullen variëren van 0 tot circa 1 m/s en waterdiepten van 0 tot circa 4 m (tot meer dan 10 m in plassen). De stroming varieert met de geometrie en ruwheid in een lengteschaal vanaf ca 50 m, maar mogelijk nog kleiner.

Voor de validatie op stroming is een eis gesteld ten aanzien van de resulterende debieten van 7%, de resulterende eis aan stroming hangt sterk af van verdeling van die metingen in ruimte en tijd, en moet per methode afgeleid worden.

Tijdseries: representatieve waarden voor stromingsparameters vergt ensemble-gemiddelden op de raaien (per 20 m raailengte); en tijdsmiddeling op puntmetingen ter plekke van de puntmetingen van golven. Ruimtelijke patronen van grootte en richting van stroomsnelheid bij het oppervlak en van specifieke afvoer: ruimtelijke resolutie van 20x20 m, nauwkeurigheid: ruimtelijk patroon moet goed zijn. Minimaal 3 beelden van 1 event voor ensemble middeling, simultaan met de golfmetingen. Grootte oppervlak: minimaal 300x300 meter, maar bij voorkeur over de hele breedte van de uiterwaard (as rivier tot bandijk), plus een overzicht (eventueel met grovere resolutie) van ca. 10x5km.

3.3 Korte discussie ten aanzien van de wensen/eisen

De informatiebehoefte kent de volgende niveaus:

- 1 kwalitatieve bepaling van de ruimtelijke verdeling van golfhoogten.
- 2 kwantitatieve bepaling van ruimtelijke verdeling van golf- en stromingsparameters voor kalibratie en verificatie van relevante fysische processen.

De prioriteit ligt daarbij bij een kwalitatieve verificatie van golven.

Een derde niveau wat te onderscheiden is:

- 3 de kwantitatieve bepaling van voorspelde hydraulische belastingniveau's ter plaatse van een kering.

De noodzaak en de mogelijke oplossingen hiervoor zijn in deze korte studie onderbelicht gebleven en moeten nog besproken worden.

3.3.1 Nadere discussie over de haalbaarheid van de genoemde wensen

Voor de validatie van golven is de gewenste maximum onnauwkeurigheid 5 a 10% gemiddeld over 20 minuten. Echter, door de verwachte variabiliteit van windvelden (windopbouw en vlagerigheid) is een validatie van golfparameters op een lengteschaal van 20x20 m over 20 minuten, met een nauwkeurigheid van minimaal 10% vermoedelijk niet haalbaar. Let wel, dit is dus geen onzekerheid door meetonzekerheid, maar een onzekerheid door de natuurlijke variabiliteit. Er zal dus gemiddeld moeten worden over langere tijd of grotere ruimte.

Van golfstroominteracties worden wijzigingen in de golfhoogten van een factor 2 a 3 verwacht (zie rekenvoorbeeld SWAN in Figuur 2.1). Ook onderbreking door vegetatie kan de golfhoogten beïnvloeden met een factor 2 tot 3. Die variatie lijkt wel groot genoeg om bij monitoring voldoende nauwkeurig te kunnen bepalen.

Het gewenste meetbereik van piekperioden $T_p = 1,5-4$ s vereist een minimaal te meten periode die daar ongeveer een factor 3 onder ligt. Om aliasing te voorkomen ligt de sampleperiode daar weer een factor 2 onder (Nyquist criterium). Zo komt de gewenste op sampleperiode 0,25 seconden (4 Hz) en een maximale dimensie van het meetoppervlak (footprint) van in de orde van 10cm ($\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2$). De huidige RWS meetstandaard (de stappenbaak) voldoet hieraan, maar het is geen flexibel in te zetten instrument.

Voor validatie op stroming is een eis gesteld ten aanzien van de resulterende debieten van 7%. Dit valt binnen de huidige RWS meetstandaard voor afvoermetingen. De variabiliteit in de stroming per strekkende meter kan groter zijn dan de ensemble gemiddelde gradiënten. De ensemble middeling moet dan ook op minstens 10 meetwaarden kunnen worden toegepast per 20 m interval.

3.3.2 Karakteristiek van de informatiebehoefte

Uitgangspunt voor de informatiebehoefte is dat geometrie (bodemhoogte) en vegetatie in het interessegebied voor of na het event bepaald zijn en hier buiten beschouwing blijven. De informatiebehoefte richt zich dan op:

- de gebruikelijke golfhoogte- en golfperiodematen, plus eventueel golfsteilheid, golfrichting en voortplantingssnelheid stilwaterstand;
- stroming (bij voorkeur profielen, anders in elk geval een indicatie van zowel oppervlakte als dieptegemiddelde stroming en specifieke afvoer);
- lokale windsnelheid op 10 meter hoogte (bij voorkeur tenminste 20 obstakelhoogtes van enig obstakel vandaan).

De golf- en stroomparameters moeten zo worden bepaald dat een goede verificatie van modelvariabelen tot aan de kering mogelijk is. Een belangrijk aspect is de *ruimtelijke variatie* binnen de baan van de strijklengte door het interessegebied, inclusief hoofdgeul, overgang naar uiterwaard, stroomvoerende/luwe delen in de uiterwaard en tenslotte de zone langs de kering. Monitoring met een combinatie van flexibele *remote sensing* technieken en/of *punt- en of raaimetingen* (ground truth) is dan waarschijnlijk. Het eerste impliceert een zodanige opname van het waterstandsoppervlak dat ruimtelijke patronen in golfparameters en stroming kunnen worden bepaald. De puntmetingen moeten omwille van interpreteerbaarheid representatief zijn voor de zone rondom meting.

4 Meettechnieken en monitoringsstrategie

4.1 Inleiding

Het ontbreken van voldoende metingen van stroming in uiterwaarden komt enerzijds omdat het meten onder hoge afvoeren operationeel uitdagend en met schepen al snel onmogelijk is en anderzijds door de lage frequentie waarmee uiterwaarden worden doorstroomd. Het niet aanwezig zijn van de benodigde metingen voor verificatie voor golven komt bovendien omdat dit voor rivieren niet eerder geprioriteerd is.

In dit hoofdstuk worden kort de uitgangspunten voor een monitoringsstrategie beschreven, bestaande en reeds geplande metingen opgenoemd, en wordt geïnventariseerd welke aanvullingen denkbaar zijn.

4.2 Uitgangspunten voor een monitoringsstrategie

De informatiebehoefte kent de volgende twee niveaus:

- kwalitatieve bepaling van de ruimtelijke verdeling van golfhoogten;
- kwantitatieve bepaling van ruimtelijke verdeling van golf- en stromingsparameters voor kalibratie en verificatie van de relevante fysische processen.

Bij elk van deze niveaus past een andere aanpak, wat niet inhoudt dat de metingen niet gecombineerd kunnen worden. Dit onderscheid wordt pas in Hoofdstuk 5 verder uitgewerkt.

Een belangrijk aspect is de al eerder genoemde sterke ruimtelijke variatie in stroming en in golven. Om die te kunnen beschouwen is monitoring in alle verschillende karakteristieke zones van een locatie nodig. De twee uitersten hiervoor zijn:

- i) een strategie van volledig directe monitoring met voldoende puntmetingen in elke karakteristieke zone;
- ii) een strategie van overwegend indirecte monitoring van een met *remote sensing* bepaald waterstandsoppervlak dat modelmatig wordt geïnterpreteerd, met slechts enkele *punt- en of raaimetingen* ter verificatie.

De eerste strategie kan leiden tot een omvangrijke campagne met een groot aantal puntmetingen per locatie en grote risico's bij uitvoering als alles enkele dagen voorafgaand aan een hoogwater/storm geplaatst moet worden. Inzet van indirecte monitoring door middel van *remote sensing* lijkt daarom onvermijdelijk.

Omdat ruimtelijke technieken voor kwantitatief gebruik wat minder nauwkeurig zijn dienen *puntmetingen* dan als *ground truth*. Het kan zijn dat vanwege de sterke ruimtelijke variatie van stroming en golven meerdere puntmetingen nodig zijn. Voor inwinning van ruimtelijke patronen zijn technieken interessant die minimaal een kwalitatief beeld kunnen leveren en bij doorontwikkeling geschikt zijn voor kwantitatieve interpretatie. De ruimtelijke dekking moet daarbij alle karakteristieke zones van hoofdgeul tot kering omvatten in de baan van de strijklengte, met een ruimtelijke resolutie vanaf 20x20 m².

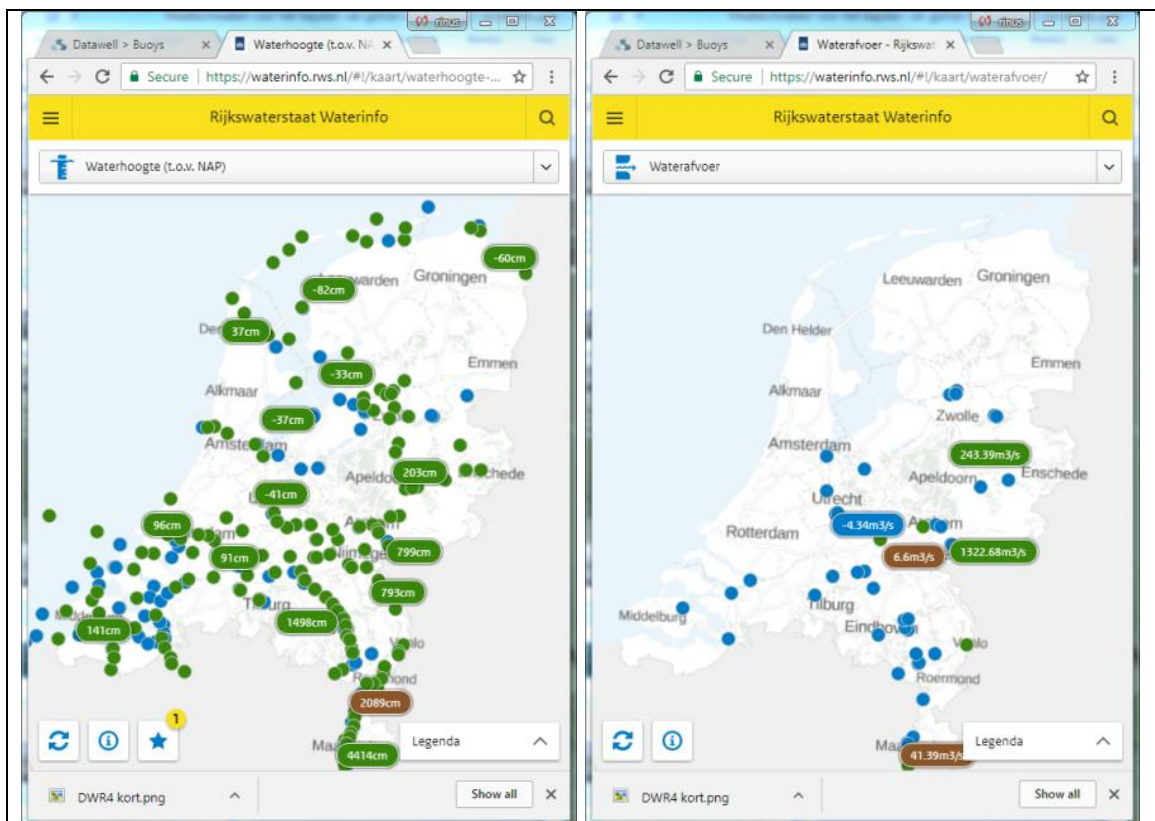
Bij voorbaat is niet duidelijk welke inwinningsmethode optimaal is. Daarom wordt voor het meten van de golfparameters en voor de stromingsparameters, voor zowel het meten op punten als over de ruimte, meerdere alternatieven benoemd. Een vergelijking is dan mogelijk op basis van prestatie, kosten, gebruiksgemak en de inspanning die nodig is voor verwerking van meetgegevens. Bij voorkeur heeft minstens een van die alternatieven de status “customer of the shelf”. Technieken voor het gecombineerd meten van stroming en golven verdienen de voorkeur. Een flexibele inzet is vanwege de lage herhaalfrequentie van events een vereiste.

Waar nodig en mogelijk is bij objecten (bruggen e.d.) realisatie van een vaste opstelling tegen lage kosten te overwegen, maar het opzetten van meetpalen is niet de bedoeling.

4.3 Bestaande metingen en campagnes

4.3.1 Landelijk Meetnet Water

Het Landelijk Meetnet Water (LMW) is een voorziening die verantwoordelijk is voor de inwinning, opslag en distributie van waterbeheergegevens. Via meer dan 400 meetpunten wordt data ingewonnen, verwerkt en opgeslagen in het rekencentrum. De parameters die op rivieren gemeten worden zijn vooral waterstanden (om de 10 tot 30 km), de debieten (afgeleid uit stroming) door de hoofdgeulen en kanalen (op 20 sleutellocaties) en op enkele punten watertemperatuur, maar geen golven en geen stroming in de uiterwaarden. Aanvullend hieraan is er een dichter netwerk van druksensoren waarmee rivierwaterstanden op kleinere lengteschaal worden gemeten.



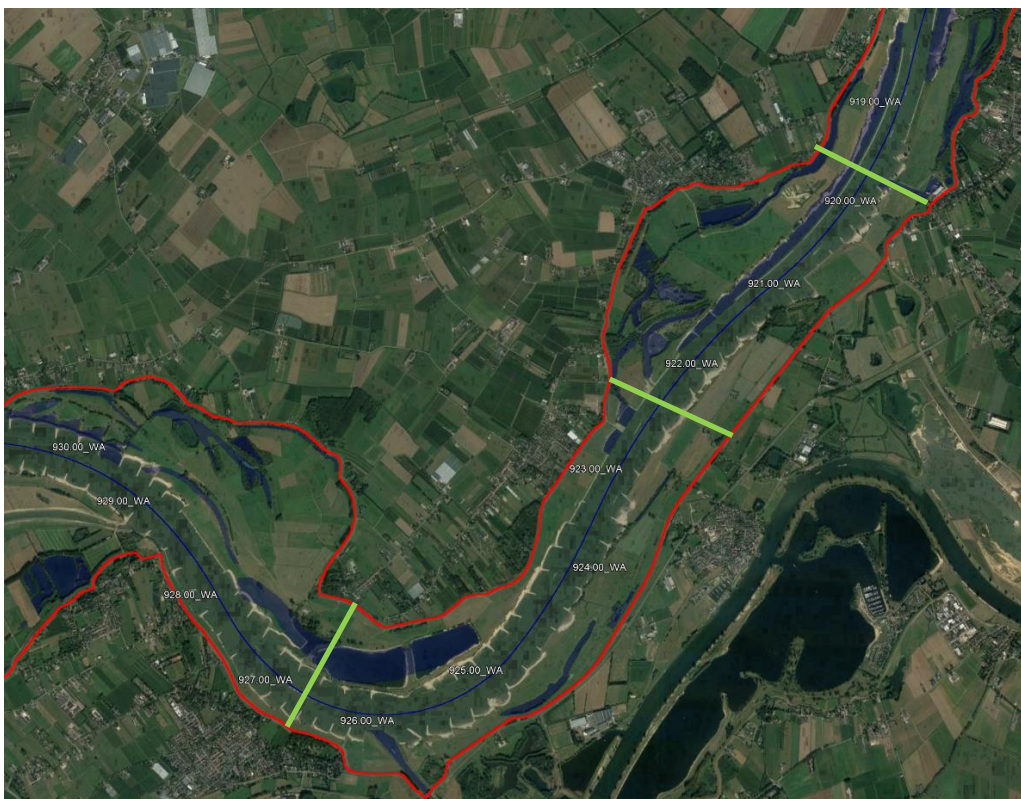
Figuur 4.1 verdeling van vaste meetpunten in het Landelijk meetnet water.

Links de meetpunten van waterstanden en rechts waterafvoer.

4.3.2 Hoogwatermeetprogramma

Monitoring van de doorstroming van uiterwaarden staat geprogrammeerd in het hoogwatermeetprogramma voor de Rijntakken (RWS, 2016). Het hoogwatermeetprogramma treedt in werking voor, tijdens en na een hoogwatergolf, die wordt gedefinieerd bij waterstanden bij Lobith vanaf 14 m +NAP (gemiddelde herhalingstijd 1 jaar).

Het betreft verschillende metingen, waaronder een meting van stroomsnelheden en specifieke afvoeren middels varende ADCP metingen op elke rivierkilometer van een 30 km lang traject in de Midden-Waal, waaronder twee raaien van banddijk tot banddijk (raai-km 919.80 en 922.67, reserve: 926.60).



Figuur 4.2 Locaties meetraaien op de Waal in het Hoogwatermeetprogramma.

4.3.3 Andere bronnen voor golf- stroominformatie

Andere bronnen waaruit golfparameters op rivieren kunnen worden afgeleid zijn:

Tijdens hoogwater

- Observaties (waterschappen) (bv 1995 of eerder) tijdens harde wind
 - visueel vanaf hoge locaties: de dijk (met duimstok of bij een peilschaal), bedieningsposten, bruggen, kades, verkeersposten), vanaf het water en uit de lucht.
- Digitale waterstandsopnamen
 - uit de lucht (drones, helikopter, vliegtuig): zoals laseraltimetrie (bv hoogwater 1998 en mogelijk recenter), luchtfoto's v.w.b. golfpatronen
 - vanaf satellieten (altimetrie- en overstromingsbeelden)
 - vanaf een hoge positie: radarbeelden (verkeersposten).

Na hoogwater

- Veekrandwaarnemingen of opnamen van schade door windgolven na hoogwater;
- Daarnaast is indirecte verificatie mogelijk met waarnemingen in gebieden met vergelijkbaar golf-stroom gedrag op ondiep water; bijvoorbeeld stroomgeulen in Waddenzee, en in geulen van Eems en de Scheldes.

4.4 Overzicht mogelijke aanvullende metingen

In Tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de naar inschatting meest relevante inwinningstechnieken. In de bijlage is een meer volledig overzicht gegeven van beschikbare meettechnieken waarmee deze parameters bepaald kunnen worden in rivieren en uiterwaarden. Een aantal methoden wordt hier uitgelicht.

Varende boei C drone (MARIN)

De 'C-DRONE' is een op afstand bestuurbaar bootje, dat fungeert als een vrij zwevende golfboei. Het bevat een bewegingssensor in combinatie met koerskompas en GPS. Het is ontwikkeld voor metingen op zee. Door de drone 20 minuten te laten drijven kan het als golfboei (niet directioneel) en stroomsnelheidsmeter (op basis van GPS) fungeren. In een rivier zou de drifter op positie gehouden moeten worden om lokale golfmetingen mogelijk te maken. Dat kan in uiterwaarden d.m.v. de interne motor. Maar in het zomerbed zal het bootje gesleept moeten worden vanwege de heersende stroomsnelheden.

Het is geen commercieel product en er bestaat er nog maar één. Nadere informatie over specificaties (meetbereik en golfrespons) moet nog verkregen worden van het Marin. De lengte van het bootje bepaald de "footprint". Die is groter dan de gewenste 10 cm en hele korte golven kunnen dus niet gemeten worden.



The Marin C-Drone in development stage

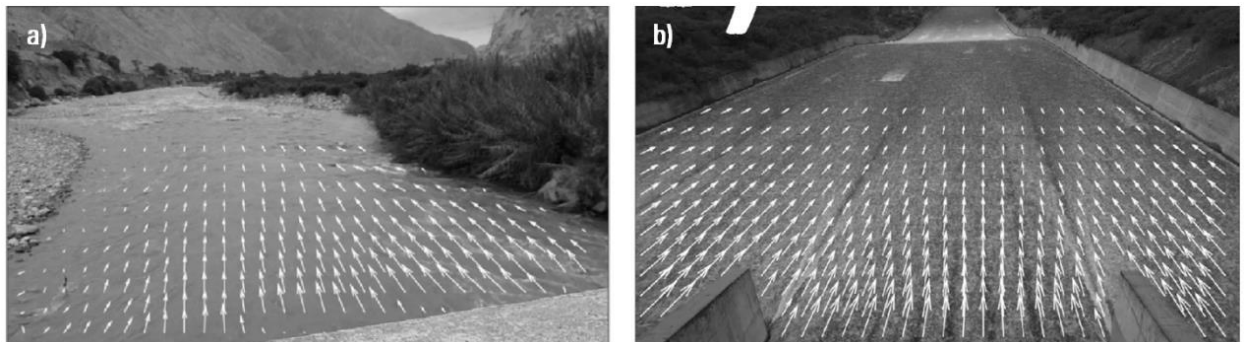


C-Drone during testing

Figuur 4.3 Foto's van de CDrone: bron Marin (

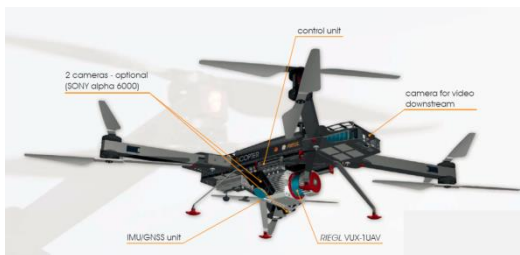
Video-opnamen, Infra rood en/of multispectraal opnamen met een snapshot optie (foto's). in twee varianten: mobiel en vast vanaf een bestaande constructie. Uitgevoerd met twee camera's met een groot deel overlap om stereometrie mogelijk te maken. Dit kan een continue dataset leveren. De techniek levert een kwalitatief beeld voor golven en (na verwerking) een kwantitatief beeld voor stroming. Onduidelijk is hoe goed dit laatste is als wind- en stroomrichting ongelijk zijn.

Aandachtspunt: Voor de verwerking is software beschikbaar, maar die is niet standaard. Dat vergt voorbereiding en verificatie. Mogelijk kan dit in samenwerking met de werkgroep Surfboard van USGS. Bij slecht zicht ('s nachts, regen) is geen goede opname mogelijk.



Figuur 4.4 Images illustrating the application of Large Scale Particle Image Velocimetry. a) Mean displacement fields of the water surface of the Picso River, Pisco, Peru. b) Mean displacement fields of the flow over the dam spillway of Arroyo Corto River, Córdoba, Argentina.

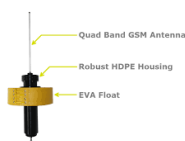
Laser scanning met drone voor het bepalen van de vorm van het oppervlak. Inzet van een drone met scanner levert raaien (single-beam) van het waterstandsoppervlak. Vliegen is niet mogelijk in gebieden met een droneverbod en/of boven windkracht 5. Ervaring wordt opgedaan binnen Quick Reaction Force kust.



Figuur 4.5 Drones met laserscanner van WUR (links) en Shore monitoring (rechts)

Kleine goedkope golfrichtings golfboei, wave droid

Een dergelijk instrument is niet in bezit van RWS, maar relatief goedkoop in aanschaf.



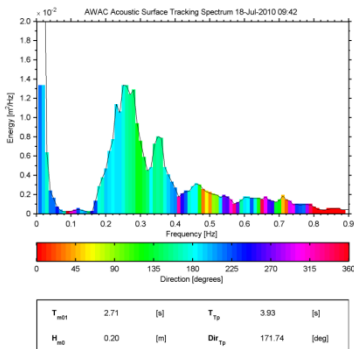
Vanwege de diameter (50 cm) en de beperkte kwaliteit van de sensoren (waarschijnlijk vergelijkbaar met de C-Drone) kunnen korte golven hiermee niet gemeten worden en is de resolutie van de golfperiode beperkt. Bereik $T=1-20\text{sec}$. Onzekerheid $T=0,5\text{ sec}$. Onzekerheid $H_s=7\text{cm}$.

Golfrichtingsboei van Datawell (waverider 4) met ingebouwde stromingsmeter.

De boei kan worden geplaatst als er hoog water aan komt. Een dergelijk instrument is niet in bezit van RWS, en de geleverde stroming informatie is nog niet getoetst door RWS. Vanwege de diameter (70 cm) kunnen korte golven hiermee niet gemeten worden. Meetbereik 1 - 30 seconden, onzekerheid golfhoogte - 0.5 % van de gemeten golfhoogte. Er lijkt echter wel ontwikkeling mogelijk naar boeien met kleinere diameter.



Golf ADCP van Nortek met ingebouwde druk sensor en Acoustic tracking. De sensor kan in een eenvoudig frame of deels ingegraven in de uiterwaard worden geplaatst als er een hoogwater aan komt. Met de sensor is goede ervaring opgedaan op een droog vallende plaat in de Westerschelde. Beperking is dat golfrichting van korte golven niet kan worden bepaald, er minimaal 0,5 meter water nodig is, en dat bij diepte $>2\text{ m}$ de footprint groter wordt dan 10 cm.



Figuur 4.6 Golfspectrum uit een meting met een AWAC golf ADCP op de schorren bij Bath. De laagfrequente component is tgv scheepvaart.

Inzet meerdere goedkope inverted echosounders/stroomsnelheidsmeters

Deze worden verdeeld over het uiterwaard geplaatst voor ruimtelijke dekking en meten zowel golven als waterstand kunnen meten (wat niet lukt met druksensoren). Het idee is om hiervoor de apparatuur in te zetten die goedkoper is dan de bovengenoemde GolfADCP. Deze meters worden normaal ingezet voor het meten in pijpen en kleine wateren (zoals bij de waterschappen). De vraag is of deze apparatuur snel genoeg kan meten om er ook golven uit te halen. Dit zal moeten worden nagevraagd. Meetbereik waterstanden en stroming: (0,05-5m, ± 5 m/s Onzekerheid waterstand 0,1%, onzekerheid stroming 1%.



Figuur 4.7 Sontek IQ pipe ADCP

Tabel 4.1 Opties bepaling stroming en golfvelden

	Ruimtelijk (momentopname of continu)	Puntmetingen
I) windgolven (hoogte, lengte, periode, oriëntatie)	bepaling instantaan waterstandsoppervlak met : <ul style="list-style-type: none"> • laseraltimetrie (Lidar) • radarbeelden • stereofotografie • video • varende boei (C drone) in raaien 	tijdreeks waterstand of druk, boeien, stappenbaak, druksensor, puntradar, capstaven, verticale ADCP met acoustic surface tracking
II) stroming (grootte en richting van snelheid, diepte, waterstand en specifiek debiet)	<i>direct</i> met varende ADCP-meting in raaien of een groot aantal drijvers <i>indirect</i> met varende boei (C drone) in raaien <i>indirecte opname</i> door interpretatie van het waterstandsoppervlak <ul style="list-style-type: none"> • verloop wateroppervlak (Bernoulli) met laser scanning <i>momentopname</i> • oppervlaktestroming uit video (infrarood, multispectraal) met correlatie technieken (momentaan of continue) • oppervlakte stroming uit reflectie van radar aan golven (<i>momentaan of continu</i>) 	Directe meting van stroming ADCP EM puntmeter ADV puntmeter indirect door bepaling waterstand of energiehoogte: zie bovengenoemde waterstandmeters
III) wind (grootte en richting snelheid, gemiddeld en standaardafwijking)	N.v.t.	Akoestische meting op 10 m hoogte
IV) basisinfo	bodemgeometrie uit laser altimetrie ruwheidsparameters uit vegetatie opnamen	-

4.5 Eerste indruk beschikbare meettechnieken

Puntmetingen voor golven.

Voor puntmetingen van golven voldoet de stappenbaak aan nauwkeurigheidseisen en gewenst meetbereik. Het vergt echter wel een stevige constructie om aan te monteren en er wordt verstoring verwacht door drijvend materiaal. De ADCP met Acoustic surface tracking heeft zich bewezen onder de condities die vergelijkbaar zijn aan de gestelde eisen. Het is tevens een systeem dat met minimale infrastructuur in een uiterwaard geplaatst kan worden, maar het aantal veldvergelijkingen onder de gewenste condities is beperkt. Ook verankerde boeien zijn bruikbaar gebleken in ondiep water, maar hebben een beperkt meetbereik.

De andere genoemde technieken vallen af vanwege onvoldoende robuustheid (capstaven), onvoldoende resolutie (boeien, radar en druksensoren), te grote onnauwkeurigheid onder de condities waaronder we willen meten (ultrasoon boven water), of geen meerwaarde ten opzichte van een vaste stappenbaak (radar, ultrasoon, capstaven).

De stapenbaak is niet inzetbaar in de hoofdgeul en ook het plaatsen van frame voor een AST gebaseerde oplossing of verankerde boeien in de hoofdgeul lijkt operationeel niet haalbaar. De varende boei is beperkt zijn in het meetbereik, maar zal vanwege de flexibele inzet interessant zijn om te proberen. Voor een meting in de hoofdgeul zal deze gesleept moeten worden wat de nodige scheepscapaciteit, organisatie en mankracht kost.

Voor deze categorie lijken de vaste stappenbaken, ADCP met Acoustic surface tracking (AST) vooralsnog de beste opties om in te zetten in de uiterwaarden, waarbij alleen de ADCP flexibel is. Een test met een varende boei (C drone) is wenselijk. Voor de hoofdgeul kan mogelijk deze (gesleept) worden ingezet.

Puntmetingen voor stroming

Voor puntmetingen voor stroming in uiterwaarden zijn puntmeters (EMS en ADV) vanwege uitstekende onderdelen niet optimaal vanwege zwevende of drijvende materie. ADCP-achtige technieken hebben hier geen last van en leveren goede resultaten.

Van de benoemde technieken voor het meten van waterstand is gebruik van druksensoren en inverted echosounders het eenvoudigst. Wat niet betekent dat er niet goed nagedacht moet worden over de wijze van monteren en een nauwkeurigheid die afhangt van de prijs.

Voor deze categorie lijkt gebruik van de ADCP, waterstand & vervalmeting in combinatie met een afvoerrelatie de beschikbare alternatieven.

Ruimtelijke metingen van golven

Voor de ruimtelijke metingen van golven is geen product beschikbaar dat zich op de rivieren bewezen heeft. Van technieken die zich bewezen hebben in de kustzone en estuaria (de Xband radar, HF radar en video) heeft alleen video de gewenste resolutie. Dat werkt echter niet bij verminderd zicht (s 'nachts en bij regen of mist). Met infrarood en multispectraal is dat meetbereik nog op te rekken. Toepassing van andere radarfrequenties lijkt vergunningstechnisch en qua ontwikkeling voorlopig niet haalbaar.

Ruimtelijk meten door gebruik van een verplaatsende golfmeter is mogelijk in de vorm van de C-Drone, met de eerder genoemde beperking van meetbereik en inzetbaarheid in uiterwaard en hoofdgeul.

Voor deze categorie lijken video opnamen en stereometrie en gebruik van een varende boei C-Drone vooralsnog de enige alternatieven.

Ruimtelijke metingen van stroming

Voor de ruimtelijke metingen is met de UHF radar een techniek beschikbaar. Deze heeft zich beperkt bewezen op rivieren, maar het is niet duidelijk of het ook zal werken onder de beoogde omstandigheden. Op dit moment loopt er een traject bij RWS om deze techniek te gaan inzetten, maar de voorlopige status is dat er geen zendvergunning voor dit type apparaten afgegeven zal worden. Een alternatief met de gewenste resolutie is video opname van het waterstandsoppervlak, inclusief analyse van verplaatsende structuren. Een derde alternatief is de analyse van verplaatsingen van drifters. De zelf-varende boei (C-Drone) kan fungeren als drifter die bestuurbaar is.

Bovenstaande scan is een indruk op basis van de beschikbare kennis bij RWS en Deltares. Andere kennisinstituten en leveranciers van apparatuur zullen wellicht kunnen aanvullen op het bovenstaande. Het resultaat van de scan is dus een minimum pakket als uitgangspunt voor het voorbereiden van pilots.

5 Voorstel voor pilots

5.1 Definitie van pilots

Zoals al eerder benoemd is de informatiebehoefte kent de volgende niveaus:

- 1 kwalitatieve bepaling van de ruimtelijke verdeling van golfhoogten.
- 2 kwantitatieve bepaling van ruimtelijke verdeling van golf- en stromingsparameters voor kalibratie en verificatie van relevante fysische processen.

Een derde niveau wat te onderscheiden is,

- 3 de kwantitatieve bepaling van voorspelde hydraulische belastingniveau 's ter plaatse van een kering.

Bovendien is geconstateerd dat inwinningstechnieken getest en geëvalueerd moeten worden.

Hierna worden een aantal pilots gedefinieerd voor de invulling van de informatiebehoefte.

Dit voorstel gaat er van uit dat de eerste metingen ook sterk gericht zijn op het testen en evalueren van inwinningstechnieken zonder daarbij het doel van de metingen uit het oog te verliezen. Deze pilots worden waar mogelijk direct op de rivieren en anders in een estuarium waar omstandigheden optreden die redelijk vergelijkbaar zijn met de rivieren.

Op basis van die resultaten wordt een vervolgpilot ingericht op een rivier voor de situaties waar de echte interesse ligt. Verder worden bij de invulling van de pilots de informatiebehoeften zoveel mogelijk bijeen genomen.

Ondanks dat de noodzaak en de mogelijke oplossingen voor de informatie op het derde niveau in deze korte studie onderbelicht zijn gebleven is ook hiervoor een eerste voorstel gedaan.

5.2 Pilot 1 is als “eerste scan golven” gericht op een kwalitatieve bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogten.

Doel hiervan is een kwalitatieve indruk te krijgen van ruimtelijke variaties in golflengten en golfhoogte in werkelijkheid, en uit vergelijking met modelresultaten (Bretschneider, SWAN) vast te stellen of gebruik van SWAN i.p.v. Bretschneider gerechtvaardigd is voor het voorspellen van hydraulische belastingniveaus op keringen.

Dit kan voor golflengten ingevuld worden met een luchtfoto/video opname reeks van een rivierstuk bij hoogwater met niet-uniforme golfhoogte. Voor golfhoogten zal een uitvoering met dubbele camera's nodig zijn om stereometrie te kunnen toepassen (zie bv bijlage met rivierstukken).

Deze monitoring zou vanaf de dijk, brug of door middel van vluchten kunnen worden uitgevoerd. Als het met vluchten gebeurt, verdient het aanbeveling om van de riviertakken dekkende opnamen te maken, met een resolutie waarop golven herkenbaar zijn.

De processing van deze data is nog een uitdaging en daarom zal een kleine dataset genomen vanaf een brug. Het voorstel is dan ook om direct na het vergaren van een eerste data set een “hackathon” te organiseren, waarin experts en studenten samen aan de slag gaan voor een eerste verwerkingspoging op basis van open source software. Bij voorkeur wordt hier dan ook stroming gehaald uit hetzelfde materiaal.

5.3 Pilot 2: Modelverificatie en testen van data-inwintechnieken op een alternatieve testlocatie

Het doel van de pilot is verificatie van SWAN en het testen van data-inwinnings technieken, zodanig dat toepassing van model en technieken op rivieren gerechtvaardigd is. Om niet te hoeven wachten op een event op de rivieren met hoog water in combinatie met veel wind om de meettechnieken, meetuitvoering en de analyses te toetsen wordt voorgesteld zo snel mogelijk een test uit te voeren op een testlocatie.

Het belangrijkste te verifiëren proces is de invloed van stroming op korte/jonge golven. De pilot omvat dan ook het meten van golven en stroming (en ruimtelijke patronen daarin) in stroomgeulen en een daaraan grenzende plaat in Eems, Wadden, Westerschelde of Oosterschelde met gradiënten in stroming en diepte. Gezocht moet worden naar condities die representatief zijn voor het relevante fysische proces van golf-stroom interactie, met een redelijke kans van voorkomen.

Voor bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogte en in stroming wordt in deze pilot gedacht aan gebruik alle van de volgende meettechnieken:

Voor de geulen:

- Video met Large Scale Particle Image Velocimetrie voor stroming;
- Stereometrie voor bepaling van golflengten en golfhoogten;
- laser altimetrie van het oppervlak middels inzet van drones;
- Inzet van reguliere ADCP metingen vanaf een schip, tevens inzetbaar voor het slepen van de C-Drone.

Voor de platen worden deze techniek ook ingezet, maar aangevuld met:

- Punten in raaien met de C-Drone (op eigen kracht);
- de Golf ADCP met surface tracking;
- de wave droid;
- datawell boei met stroommeter.

Werkelijke uitvoering zal afhangen van de kosten die hiermee gepaard gaan.

5.4 Pilot 3: inrichten van een locatie op de rivier waar de vraagstelling speelt

Het doel van de pilot is verificatie van SWAN op rivieren met technieken die de proof of concept meting goed zijn doorgekomen. Het tweede doel is de verificatie van berekende stromingspatronen. Mocht een hoogwater situatie zich op korte termijn voordoen dan worden minimaal de meest belovende meettechnieken ingezet. De opties voor locaties zijn weergegeven in bijlage C.

5.4.1 Event

Voor een pilot op de sterk stromende locaties; bij voldoende hoge rivierafvoer (voorspeld vanaf 8000 m³/s bij Lobith) en sterke wind (vanaf windsnelheden voor De Bilt van minimaal 10 m/s in de weer/klimaatpluimvoorspelling klimaatpluimvoorspelling).

5.4.2 Metingen

De inzet van metingen is afhankelijk van resultaten van de vorige tests, maar op basis van huidige kennis en snelle beschikbaarheid zouden de Golf ADCP en video direct inzetbaar zijn.

De video levert direct een kwalitatief beeld en is later om te zetten naar een kwantitatief beeld. Montage voor een vaste of tijdelijke camera kan mogelijk bij de IJssel bij Fortmond op een uitkijk toren van staatsbosbeheer (toestemming nodig).

Daarom definiëren we voor de pilot al de volgende no regret acties zodat een hoogwater niet gemist wordt:

- Montage videocamera's;
- Plaatsing Golf-ADCP in een frame (quick reaction);
- Foto's en films maken als er hoog water is (quick reaction);

5.5 Pilot 4: is als "output-verificatie golven" gericht op een kwantitatieve verificatie van hydraulische belastingniveaus bij de kering

Doel hiervan is verificatie van berekende golfhoogten voor de gemeten events.

Dit betekent plaatsing van enkele stappenbakens bij keringen waar golfoploop relevant is. Dit zal op dezelfde locatie kunnen plaatsvinden als pilot 3.

5.6 Inzet markt en universiteiten

Een deel van de benoemde activiteiten is interessant om te beleggen bij studenten. Met name de activiteiten vanuit TUDelft/Deltares voor een quick reaction force (met mankracht en apparatuur) sluit aan bij de gewenste informatie tijdens hoogwater. De inzet van de marktapparatuur in een nieuwe omgeving, zoals de drones en ADCP en boei, kan direct besproken worden met de genoemde leveranciers.

5.7 Planning en fasering

Allereerst zullen de pilots verder uitgewerkt moeten worden volgens onderstaand stramien. De verwachte kosten zijn daarbij van groot belang. Fase 1 is nu deels uitgevoerd.

Fase 1 Nadere definitie van de pilots waarin wordt gespecificeerd in zoverre nog niet behandeld in de vorige paragrafen

- welke data moet worden ingewonnen (informatiebehoefte)
- welke locatie en moment geschikt is voor het uitvoeren van de pilot
- maken van monitoringsplan voor minimumpakket (inclusief kwaliteitsborging)
- welke partijen voor eventuele deelname aan de pilot kunnen worden benaderd? (zie eerste voorzet in volgende paragraaf)
- hoe werkwijze en ingewonnen data daarvan moeten worden gerapporteerd
- hoe werkwijze en ingewonnen data daarvan zullen worden beoordeeld
- Eerste kostenraming per pilot

Fase 2 voorbereiding

- uitvoering minimumpakket wordt voorbereid
- partijen worden uitgenodigd voor eerste kostenraming bij deelname aan de pilot
- voorstellen worden beoordeeld en gehonoreerd

Fase 3 uitvoering waarin

- uitvoering monitoring minimumpakket en aanvullende monitoring
- rapportage van werkwijze en data

Fase 4 beoordelingsfase waarin

- resultaten minimumpakket worden geïnterpreteerd
- toegepaste methodieken en ingewonnen data worden vergeleken en beoordeeld
- advies wordt uitgebracht over toekomstige monitoring van golven en stroming op rivieren

Fase 5 analyse fase waarin

- ingewonnen data wordt vergeleken met simulaties van WAQUA, Bretschneider, SWAN

6 Conclusies en aanbevelingen

Doel van een pilot “monitoring golven en stroming op rivieren” is het meten van golven en stroming op rivieren, zodanig dat verificatie van modellen voor stroming en hydraulische golfbelasting mogelijk is. Dit ten behoeve van het nauwkeuriger bepalen van de hydraulische belastingen voor de primaire waterkeringen. Een lagere berekende hydraulische belasting kan er toe leiden dat een kering niet wordt afgekeurd, of dat er een minder zware kering hoeft worden aangelegd. De kostenbesparing die dit met zich meebrengt kan in de tientallen miljoenen euro’s lopen.

Het ontbreken van voldoende metingen van stroming in uiterwaarden komt enerzijds omdat het meten onder hoge afvoeren operationeel uitdagend en met schepen al snel onmogelijk is en anderzijds door de lage frequentie waarmee uiterwaarden worden doorstroomd. Het niet aanwezig zijn van de benodigde metingen voor verificatie voor golven komt bovendien omdat dit voor rivieren niet eerder geprioriteerd is. Het ontbreekt daardoor aan kennis en ervaring die nodig is om een meetcampagne op te zetten. Daarom wordt er voor gekozen om een pilot op te zetten waar meerdere technieken aan bod komen. Een belangrijk aspect daarbij is de sterke ruimtelijke variatie in stroming en in golven en het snel kunnen inzetten van enkele technieken als een hoogwater voorspeld wordt.

Uit de beschikbare technieken zijn er vijf aangemerkt met hoge potentie en verschillende bereiken in tijd, ruimte en resolutie:

- 1 Video- of Infraroodopnamen voor het (semi) continue ruimtelijk bepalen van stroming en golven uit intensiteit en correlatie.
- 2 Golf ADCP met acoustic surface tracking voor het meten van golven en stroming in een punt.
- 3 Golfboei, al dan niet met ingebouwde stromingsmeter voor het meten van golven en stroming in een punt.
- 4 Laserscanning vanuit een drone voor de bepaling van de vorm van het wateroppervlak.
- 5 Varende drone als golfmeter.

De technieken zijn direct verkrijgbaar en inzetbaar in Nederland, hetzij via huur van de instrumenten dan wel inhuur van een commercieel surveyteam of via een universiteit of kennisinstituut.

Om tot voldoende nauwkeurige kwantitatieve metingen te komen, is een redelijk uitgebreid programma van testen en ontwikkelen van de meettechnieken en verwerkingssoftware nodig. Voorgesteld wordt om op gestaffelde wijze een aantal pilots te definiëren, waarmee in toenemende mate van nauwkeurigheid informatie over golven en stroming in de uiterwaarden wordt verkregen.

Daarvoor zijn 4 pilots gedefinieerd.

- Pilot 1: “eerste scan golven” gericht op een kwalitatieve bepaling van ruimtelijke patronen in golfhoogten.
- Pilot 2: Modelverificatie en testen van data-inwintechnieken op een alternatieve testlocatie.
- Pilot 3: inrichten van een locatie op de rivier waar de vraagstelling speelt.
- Pilot 4: is als “output-verificatie golven” gericht op een kwantitatieve verificatie van hydraulische belastingniveaus bij de kering.

Deltares adviseert daarbij op korte termijn de volgende stappen te ondernemen:

- Het snel uitvoeren van eerste video en stereometrie opnamen van een rivier (pilot 1) en het organiseren van een “hackathon” om ervaring en inzicht op te doen met de verwerking van gegevens tot golfhoogten en stroming.
- Het nader uitwerken van de pilots op basis van offertes en overleg met marktpartijen.
- Voorbereiden locatie voor video monitoring op de IJssel en Waal.

7 Referenties

Argus manual (2003)

Goede, E. de (2012): Validatie van Villemonte overlaatformulering in WAQUA met praktijkmetingen. Deltares rapport 1204153-001-ZWS-0001.

SURFACE IMAGE VELOCITY MEASUREMENT SYSTEM FOR WIDE RIVERS USING SMARTPHONES, KWONKYU YU, BYUNGMAN YOON & SEOKMIN LEE

E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, 28 June – 3 July, 2015, The Hague

Marin (2017) Thijs Hasselaar, Development of current and wave measurement ROV: The MARIN C-DRONE.

RIZA (2007): Measured wind-wave climatology Lake IJssel (NL) – main results for the period 1997-2006, RIZA-rapport 2007.020

RWS (2016): Draaiboek Hoogwatermeetprogramma 2016-2017 (concept)

Smale, A. (2016): Vegetatie als maatregel voor reductie benodigde kruinhoogte voor het traject Tiel Waardenburg. Deltares rapport 1220539-001-ZWS-0004

Surface velocity Workgroup (Surfboard)

<https://my.usgs.gov/confluence/display/SurfBoard/Surf+Board+Home>

A Beschikbare meettechnieken en beoordeling

A.1 Golven in hoofdgeul en uiterwaarden

A.1.1 Beschikbare technieken

Ruimtelijk:

- Navigatie radar ruimtelijk (coherent/incoherent)
- UHF radar (ruimtelijk)
- Stereofotografie (ruimtelijk)

Puntmetingen:

- Radar omlaag kijkend
- Stappenbaak
- Capstaaf
- Ultrasoon omlaag
- Ultrasoon omhoog
- PUV (Druksensor met EM stroming (golfrichting))
- Golf ADCP (golfrichting)
- Golfboeien (golfrichting)

A.2 Stroming in uiterwaarden

A.2.1 Beschikbare technieken

- Varend meten met ADCP op schip of gesleepte drijvers
- Vaste ADCP horizontaal en verticaal in combinatie met waterstand
- Akoestische looptijdmeters
- Akoestische correlatie technieken
- Elektromagnetische debietmeting
- Radars schuin omlaag kijkend (puntmetingen)
- Radars ruimtelijk (navigatieradar incoherent, coherent en UHF)
- Video technieken, PTV, PIV, video van inundatie
- Drijvers met GPS
- Verdunningsmethode
- Overlaten, lokale vernauwingen, drukval over obstakel
- Bellenscherm
- Kracht op obstakel
- Temperatuurmeting (afkoeling van warme kabel)
- Loopsnelheden golven

B Locatiekeuze pilot alternatieve locatie

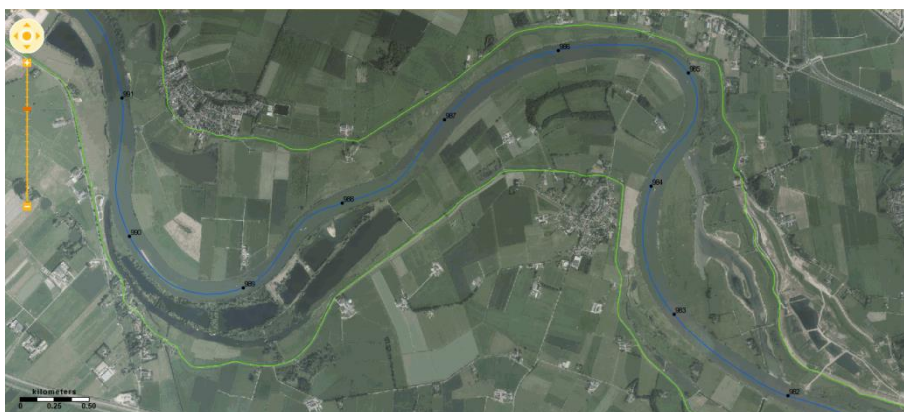
Een alternatieve locatie is geschikt als pilot als waarnemingen daarin nuttig inzicht opleveren in het generieke gedrag van golven en stroming. Hogere golven zijn vooral te verwachten op locaties met een effectieve strijklengte van minstens 1 km. Een locatie is daarom geschikt als pilot als daarin sprake is van een kering, hoofdgeul met uiterwaard met een maximale strijklengte van minstens 1 km in de dominante windrichting met bovendien een factor 2 variatie in strijklengte langs de kering en met zowel stroomvoerende als stroomluwe delen in de uiterwaard. Het interessegebied omvat de gehele strijklengte in de orde van 1 km en de lengte van de kering langs de betrokken uiterwaard.

Een paar opties voor locaties zijn:

- Oosterschelde Zeelandbrug
- Eems in de buurt van de stroommeetpaal

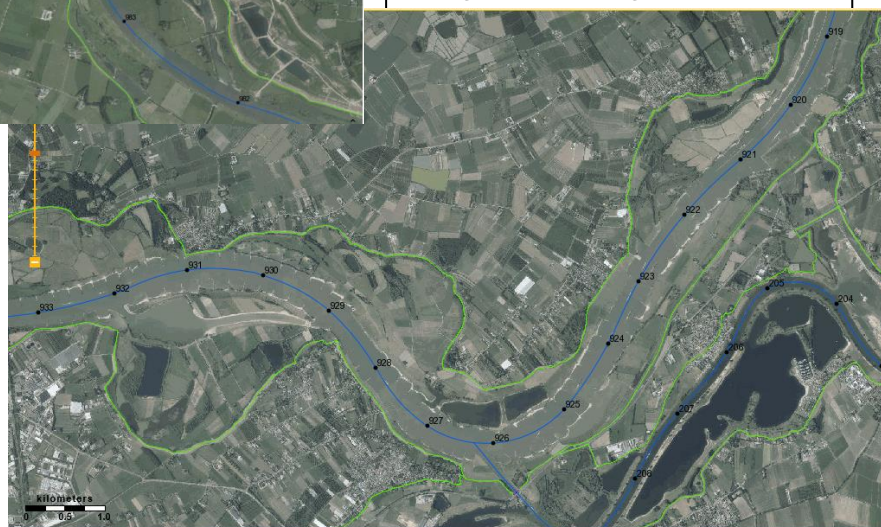
C Locatiekeuze pilot rivieren

Een rivierstuk is geschikt als pilot als waarnemingen daarin nuttig inzicht opleveren in het generieke gedrag van golven en stroming. Hogere golven zijn vooral te verwachten op locaties met een effectieve strijklengte van minstens 1 km. Een rivierstuk is daarom geschikt als pilot als daarin sprake is van een kering, hoofdgeul met uiterwaard met een maximale strijklengte van minstens 1 km in de dominante windrichting met bovendien een factor 2 variatie in strijklengte langs de kering en met zowel stroomvoerende als stroomluwe delen in de uiterwaard. Het interessegebied omvat de gehele strijklengte in de orde van 1 km en de lengte van de kering langs de betrokken uiterwaard. Een paar opties voor locaties zijn:

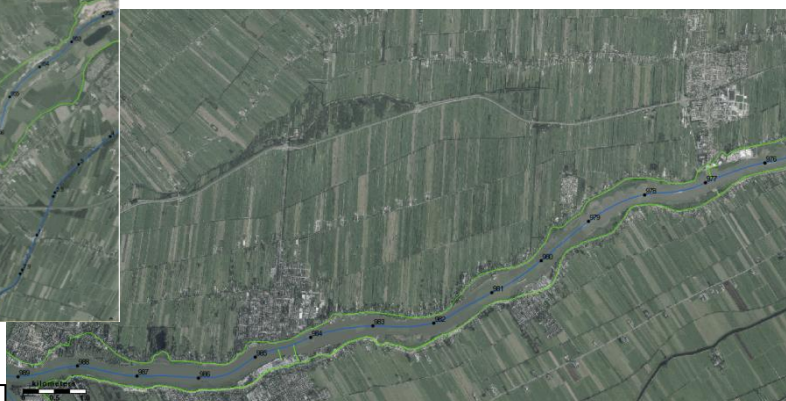


I IJsselbocht bij Zalk en De Zande
km 984-991, beide oevers
ook geschikt bij lage afvoer

II Waalbocht bij St.Andries
mn rechteroever km 920-929
ook geschikt bij lage afvoer



III Lek (Vianen-Lekkerkerk) km 952- km 987
Niet geschikt bij lage rivierafvoer





Figuur 7.1 Overzicht Situatie Fortmont



Figuur 7.2 Uitzicht vanaf de uitkijktoren