

Rosalie Fidder & Martine Rottink

# Beter Leren Keren

*Verkenning van concrete kansen voor projectoverstijgend meten en monitoren in geplande HWBP-projecten*





# Beter Leren Keren

Verkenning van concrete kansen voor projectoverstijgend meten en monitoren in geplande HWBP-projecten

Door

Rosalie Fidder & Martine Rottink

Versie: Definitief  
Datum: 2 juli 2020

## Contact

ENW secretariaat: [enwsecretariaat@rws.nl](mailto:enwsecretariaat@rws.nl)

Bron afbeelding voorblad: [https://www.hhnk.nl/waddenzeedijk/prins-hendrikzanddijk\\_41688/](https://www.hhnk.nl/waddenzeedijk/prins-hendrikzanddijk_41688/)



WAGENINGEN  
UNIVERSITY & RESEARCH

## Inhoudsopgave

<b>1. Aanleiding</b> .....	<b>1</b>
1.1. Totstandkoming .....	1
1.2. Afbakening.....	1
1.3. Context ENW 'Beter Leren Keren' .....	2
1.4. Leeswijzer .....	2
<b>2. Algemene observaties</b> .....	<b>3</b>
2.1. Verschillende doelen.....	3
2.1. Lokale en generieke kennis .....	3
2.2. Meten en monitoren tijdens de lifecycle van een waterkering .....	4
2.2.1. Versterking: projectvoorbereiding en realisatie .....	5
2.2.2. Beheer en onderhoud: continu inzicht.....	5
2.2.3. Focus van dit onderzoek .....	7
2.3. Voorbeelden van meten en monitoren in projecten.....	8
2.3.1. Verplichte monitoring voor de uitvoering van HWBP-projecten .....	8
2.3.2. IJsseldijk Zwolle – Olst: Proeven 'gras op zand' .....	9
2.3.3. Vechtdijken: Proeven 'gras op zand' .....	9
2.3.4. Houtribdijk (Enkhuizen – Lelystad).....	10
2.3.5. Prins Hendrikzanddijk (Texel): Meten en monitoren aan een zandige versterking .....	11
2.3.6. Eemshaven – Delfzijl (noordoost Groningen) .....	12
2.3.7. Zandmotor*.....	12
<b>3. Kansen voor projectoverstijgende kennisontwikkeling in HWBP-projecten</b> .....	<b>13</b>
3.1.1. Glazen waterkering .....	14
3.1.2. Hydraulische belastingen Westerschelde & Effect havendam.....	14
3.1.3. Erosiebestendigheid samengestelde dijk met kleikern .....	15
3.1.4. Validatie SWAN-model bovenrivierengebied .....	15
3.1.5. Opbarsten en opdrijven .....	16
3.1.6. Resultaat zandige versterkingen combineren .....	17
<b>4. Praktische aanbevelingen</b> .....	<b>18</b>
4.1. Meet- en monitoringscampagnes.....	18
4.1.1. Voorbereiding van de campagne .....	18
4.1.2. Uitvoering van de campagne en gebruik data .....	19
4.2. Rondom versterkingsprojecten.....	19
4.2.1. Monitoringsinfrastructuur inrichten tijdens ontwerp en versterking .....	19
4.2.2. Samenwerking aannemers .....	20
4.2.3. Benutten versterking voor inzicht .....	20
4.2.4. Zorg voor een incentive bij opdrachtgevers en projectleiders .....	20
4.3. Het belang van langjarige (veld)metingen .....	21
4.4. Benutten bestaande keringen voor veldproeven .....	21
4.5. Registratie en documentatie in het veld .....	22
<b>5. Afsluiting: Call for Action</b> .....	<b>23</b>
<b>Bijlage 1: Overzicht van activiteiten</b> .....	<b>25</b>
<b>Bijlage 2: Kennisvragen uit werksessies &amp; interviews</b> .....	<b>26</b>
A. Geotechniek .....	27
B. Hydraulische randvoorwaarden.....	28
C. Bekledingen .....	30
D. Duinen .....	31
E. Niet-Waterkerende Objecten (NWO's) .....	32



# 1. Aanleiding

In oktober 2017 publiceerde het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) het strategisch advies 'Beter Leren Keren door veldmetingen en monitoring'. Dit advies stelt dat meten en monitoren een meer structurele plaats moet krijgen in de keten van waterveiligheid. Hierbij is een projectoverstijgende aanpak van belang om een slimme koppeling te maken tussen verschillende initiatieven. Door vroegtijdig zulke kansen te identificeren, wordt winst behaald: monitoring kan tussen de projecten worden afgestemd, en de benodigde kennis voor volgende projecten wordt opgehaald. Zo kunnen we sectorbreed 'beter leren keren'.

## 1.1. Totstandkoming

Het rapport dat voor u ligt is het resultaat van een vijf maanden durend onderzoek uitgevoerd door Rosalie Fidder en Martine Rottink. Zij zijn beiden in najaar 2019 afgestudeerd<sup>1</sup>. Vanaf november 2019 hebben zij dit onderzoek uitgevoerd namens TU Delft en Wageningen University, in opdracht van het Projectbureau Meerjarige Veldmeting Eems-Dollard. Het onderzoek werd begeleid door de ENW-Werkgroepen Kust, Techniek en Rivieren, waarbij de dagelijkse communicatie en afstemming verliep via ENW-Kust (Rinse Wilmink, Jantsje van Loon-Steensma en Stefan Aarninkhof). Het onderzoek kan worden beschouwd als concretiseringslag op het strategisch advies uit 2017, en is gericht aan de ontwikkelaars, ontwerpers, bouwers, beheerders en onderzoekers die werken aan de toekomstbestendigheid van de Nederlandse waterveiligheid.

## 1.2. Afbakening

Het doel van 'Beter Leren Keren' is om meten en monitoren een meer structurele plaats te geven in de keten van waterveiligheid. Dit rapport draagt hieraan bij door kansen in HWBP-projecten te identificeren waarin door meten en monitoren extra kennis ontwikkeld kan worden. De opgedane kennis is projectoverstijgend - en is dus nuttige input voor volgende projecten<sup>2</sup>. Het doel van dit onderzoek is niet om tot een volledige lijst van alle kansen te komen, maar om aan de hand van een aantal uitgelichte kansen de lezer te inspireren zelf ook naar kansen op zoek te gaan. Door vroegtijdig zulke kansen te identificeren, krijgt meten en monitoren een meer structurele plaats in de keten van waterveiligheid.

Projectoverstijgend kansen identificeren is relevant omdat de meeste uitvoeringsprojecten zich in hun monitoring vrijwel uitsluitend richten op de vragen en onzekerheden van het eigen project. Door vanuit een breder, projectoverstijgend perspectief de scope van deze monitoring in te richten, kan zonder hoge meerkosten gericht kennis vergaard worden voor het volgende project. Met deze reden is gekozen voor een focus op HWBP-projecten. De duur van de meeste versterkingsprojecten is te kortlopend om langjarig meten en monitoren op te zetten. Dit soort langjarige meet- en monitoringscampagnes vallen dan ook buiten de scope van dit onderzoek. Ook buiten de scope van het onderzoek valt het ontwerpen, valideren en toepassen van innovatieve meettechnieken.

---

<sup>1</sup> Rosalie: Wageningen University & Research, Klimaatwetenschappen; Martine: Technische Universiteit Delft: Waterbouwkunde & Wetenschapscommunicatie.

<sup>2</sup> Dit sluit aan op pijler 3 uit het ENW-advies (2017): projectoverstijgend meten en monitoren.

### 1.3. Context ENW 'Beter Leren Keren'

Er lopen diverse initiatieven op het gebied van (meer structureel) meten en monitoren in de waterveiligheidssector. Bijvoorbeeld:

- De Kennis en Innovatie-Agenda (KIA; opvolger van de Projectoverstijgende Verkenningen of POV) van het HWBP. De KIA (2019) richt zich op diverse thema's. Met name in thema 2, 'Strategie en aanpak projecten', kan meten en monitoren een rol vervullen in de lifecycle cost-benadering (LCC). Dit onderwerp komt aan bod in het volgende hoofdstuk.
- De ingangstoets. Het HWBP werkt met partners aan de ontwikkeling van een 'ingangstoets'. Deze toets moet leiden tot een meer stabiele scope van de HWBP-programmering. Er kunnen vrij grote verschillen zitten tussen het detailniveau waarmee de beoordeling van een kering is uitgevoerd voor de aanmelding bij het HWBP. Hoe grover de beoordeling, hoe groter de kans dat tijdens de HWBP-verkenning aanvullende metingen en monitoring nodig blijken om onzekerheden rondom de veiligheidsopgave te verkleinen. Dit leidt tot vertraging van het project, en neemt extra kosten mee. De ingangstoets moet dit corrigeren door bij de aanmelding meer gegevens te vragen.
- De verschillende expert pools van het Kennis en Kunde Platform (KKP). Dit is een platform opgericht door de waterschappen en STOWA, waarin waterkeringbeheerders en ingenieursbureaus samenwerken aan de beoordeling van keringen. Binnen de pools wordt kennis uitgewisseld. Vanuit diverse pools zijn werksessies georganiseerd voor dit onderzoek (zie Bijlage 1).
- Het Kennis voor Keringen-project. Dit is een Rijkswaterstaat-project dat door samenwerking met diverse partners waterveiligheidskennis ontwikkelt. Hierbij wordt intensief met het BOI<sup>3</sup> samengewerkt, om ontsluiting van de kennis in de instrumentaria te bevorderen.

Middels interviews en de werksessies is afstemming met deze andere initiatieven gewaarborgd.

### 1.4. Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 bespreekt de algemene observaties over een structurele plaats voor meten en monitoring in de keten van waterveiligheid. De observaties zijn gebaseerd op verschillende interviews en werksessies. In Hoofdstuk 3 worden enkele kansen voor meten en monitoren in geplande HWBP-projecten geïntroduceerd. In deze projecten kan kennis worden ontwikkeld die niet alleen voor de individuele projecten, maar projectoverstijgend nuttig is. In Hoofdstuk 4 worden praktische aanbevelingen gedaan met betrekking tot meten en monitoren in de waterveiligheidsketen. Hoofdstuk 5 sluit het rapport af, met een 'call for action'. Tot slot bevat de bijlage een overzicht van de activiteiten die voor dit onderzoek ondernomen zijn (p. 25), en de kennisvragen die door veldmetingen en monitoren op korte termijn (gedeeltelijk) kunnen worden beantwoord (p. 26). Vanuit beheer is behoefte aan inzicht op deze onderwerpen.

Wij wensen u veel leesplezier, en hopen dat dit rapport u inspireert om zelf ook kansen te verkennen om 'beter te leren keren'!

---

<sup>3</sup> Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium, <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/nieuwsbrieven/nieuw-sbrief-landelijke-beoordeling/nieuwsbrief-boi-oktober-2019/programma-boi-2023/>

## 2. Algemene observaties

Voor dit onderzoek zijn diverse interviews en werksessies georganiseerd (zie Bijlage 1, p. 25). Op basis van deze activiteiten zijn een aantal algemene observaties gemaakt over de plaats die meten en monitoren heeft in de keten van waterveiligheid. Deze observaties worden in dit hoofdstuk besproken.

### 2.1. Verschillende doelen

Metten en monitoren kent diverse doelen binnen de keten van waterveiligheid. Afhankelijk van het doel moet meten en monitoren op een andere manier worden geborgd in deze keten. Een beheerder kan bijvoorbeeld het doel hebben om meer inzicht te verkrijgen in het gedrag van de kering te verkrijgen. Door meetapparatuur na de versterking in de waterkering te laten zitten, kan dit worden geborgd. Een andere beheerder wil misschien graag de onzekerheid rondom extreme golfcondities verkleinen, en pleit daarom voor een langdurige meetsite op in de Waddenzee. Beide zijn voorbeelden van meten en monitoren, maar het doel is anders.

### 2.1. Lokale en generieke kennis

In het eerste geval heeft meten en monitoren tot doel om lokaal meer inzicht te krijgen in de waterkering. Het gaat hierbij dus om het verkrijgen van lokale kennis. Meten en monitoren kan er ook op gericht zijn om, in aanvulling op lokale kennis, bij te dragen aan meer generieke kennis. Daarbij gaat het om kennis die niet alleen voor een specifieke locatie of waterkering nuttig is, maar die ook op andere locaties en in andere projecten gebruikt kan worden. Zo heeft het meten van golfcondities op de Waddenzee een meer generiek karakter, omdat deze data voor meerdere dijktrajecten nuttig is. Bij dit onderscheid tussen lokale en generieke kennis is het belangrijk om te benadrukken dat de twee typen elkaar niet uitsluiten. Meten en monitoren leidt in principe altijd tot lokale kennis. In aanvulling daarop kan ook generieke kennis worden ontwikkeld. Dit wordt gevisualiseerd in Figuur 1. Bij meet- en monitoringcampagnes die dus meer aan de rechterkant van Figuur 1 staan, wordt dus zowel lokale als generieke kennis opgedaan.



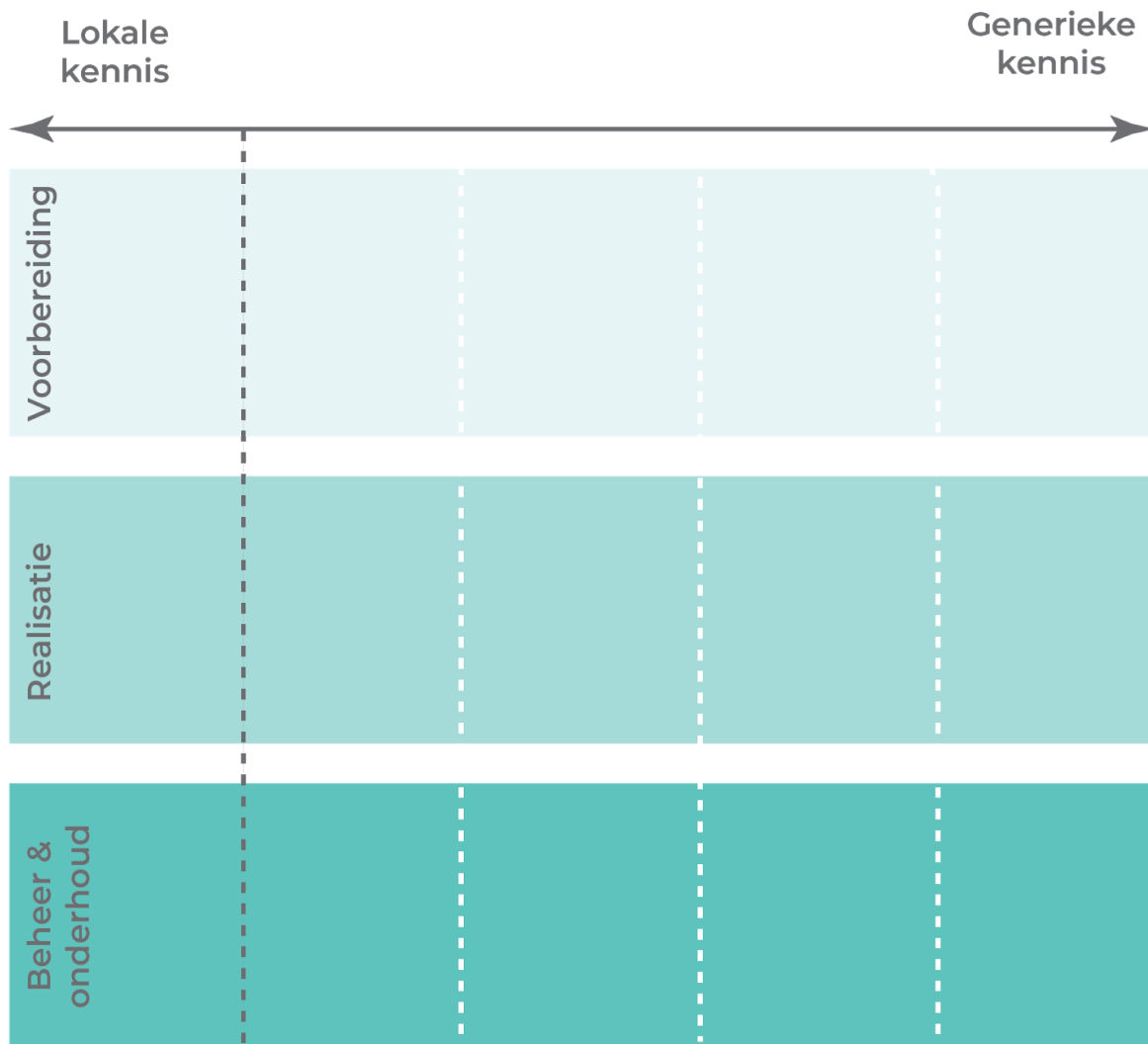
*Figuur 1 Meten en monitoren kan zowel lokale als generieke kennis ontwikkelen. De stippellijn duidt aan dat kennis volledig lokaal kan zijn, of lokaal en generiek. Generieke kennis heeft altijd een lokale component.*

Alle meet- en monitoringcampagnes voor waterveiligheid kunnen in dit figuur worden geplaatst. Daarbij gaat het zowel om meten en monitoring gekoppeld aan een specifieke waterkering of een project, als meetcampagnes die meer op zichzelf staan, zoals langjarige metingen van golfcondities in de Waddenzee. Wanneer meten en monitoren gekoppeld is aan een specifieke waterkering of een project, is het zinvol om meten en monitoren tijdens de verschillende lifecycle-fasen van elkaar te onderscheiden. Dit zal in de volgende paragraaf verder worden toegelicht.



## 2.2. Meten en monitoren tijdens de lifecycle van een waterkering

Naast de focus op lokale kennis of juist meer generieke kennis, kan meten en monitoren tijdens verschillende fasen in de lifecycle van een waterkering plaatsvinden. In Figuur 2 wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende fasen: de voorbereiding, de realisatie en het beheer en onderhoud (inclusief beoordeling)<sup>4</sup>. In elk van deze fasen kan meten en monitoren met een ander doel worden ingezet.



Figuur 2 Meten en monitoren heeft een plaats in iedere levenscyclusfase van een project.

<sup>4</sup> Binnen de waterveiligheidssector wordt de beoordeling vaak als los onderdeel van de lifecycle beschouwd. De beoordeling wordt binnen een organisatie veelal door een andere afdeling dan het beheer uitgevoerd. Omdat metingen en monitoring voor de beoordeling vaak (gedeeltelijk) tijdens de beheerfase worden uitgevoerd, is ervoor gekozen om in dit rapport beoordeling als onderdeel van beheer en onderhoud te beschouwen.

### 2.2.1. Versterking: projectvoorbereiding en realisatie

De projectvoorbereiding en -realisatie worden samen ook wel 'de versterkingsfase' genoemd. In dit rapport wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen de twee fasen, aangezien het doel van meten en monitoren tijdens deze twee fasen verschillend kan zijn. Tijdens de voorbereiding worden over het algemeen aanvullende metingen gedaan, met het doel om te komen tot een scherpere scope van het versterkingsproject<sup>5</sup>.

Onder de realisatie wordt de uitvoering van de versterking verstaan. Meten en monitoren tijdens deze fase wordt over het algemeen uitgevoerd door de aannemer en is er vaak op gericht om de realisatie zo efficiënt mogelijk te laten verlopen. Bijvoorbeeld door het meten van zettingsgedrag van de kering na een ophoging, zodat de volgende ophogingen efficiënter kunnen worden ingepland.

### 2.2.2. Beheer en onderhoud: continu inzicht

Een belangrijk doel van meten en monitoren tijdens het beheer en onderhoud is om meer continu inzicht te verkrijgen in de waterkering. Continu inzicht heeft verschillende voordelen. Ten eerste kan hierdoor met grotere zekerheid worden vastgesteld welk element wanneer aan onderhoud of vervanging toe is. Ten tweede is het mogelijk om extra meten en monitoren in te zetten om de versterking tijdelijk uit te stellen. Zo'n aanpak is bijvoorbeeld toegepast door Waterschap Rivierenland<sup>6</sup>. Natuurlijk kan het ook zijn dat tijdens meten en monitoren juist blijkt dat de urgentie voor een versterking groter is dan gedacht. In dat geval kan de waterkering juist eerder versterkt worden dan gepland. Ten derde zorgt continu inzicht ervoor dat de meet- en monitoringsinstallatie ook gereed is om tijdens extreme gebeurtenissen te meten. Meten en monitoren voor extreme gebeurtenissen heeft een korte aanlooptijd - zo'n 14 dagen van tevoren kan voorspeld worden dat een bijzondere gebeurtenis dreigt plaats te vinden. Als de waterkering dan al met bepaalde installaties is uitgerust, scheelt dit organisatorische uitdagingen waardoor kansen blijven liggen voor meten en monitoren van extremen<sup>7</sup>. Tot slot biedt continu inzicht de mogelijkheid om na de versterking de aannames vanuit beoordeling en ontwerp te valideren. Zo kan meer generieke (systeem)kennis worden opgedaan, en wordt lokaal meer kennis ontwikkeld voor toekomstige versterkingen.

De doelen van meten en monitoren tijdens de verschillende fasen sluiten elkaar niet uit, ze vullen elkaar juist aan. Zo kunnen metingen tijdens de voorbereiding en realisatie ook heel nuttig zijn voor de beheersorganisatie, en zo bijdragen aan een beter inzicht in de waterkering. De verschillende fasen in de lifecycle van een waterkering zijn in Figuur 2 toegevoegd aan de horizontale as zoals in Figuur 1 beschreven.

Tekstbox 1 omschrijft een voorbeeld van een kering uitgerust voor continu inzicht.

---

<sup>5</sup> Met de invoering van de ingangstoets is het de bedoeling dat deze metingen en monitoring vaker al tijdens de beheerfase worden uitgevoerd (zie 1.3).

<sup>6</sup> Zie: [https://www.pov-piping.nl/couch/uploads/file/factsheet-beslisboom-piping\\_los.pdf](https://www.pov-piping.nl/couch/uploads/file/factsheet-beslisboom-piping_los.pdf).

<sup>7</sup> Dit sluit aan bij pijler 4 uit het ENW-advies (2017): meten en monitoren van extreme gebeurtenissen.

### Tekstbox 1: Livedijk voor continu inzicht (Noorderzijlvest)



*Luchtfoto Groningen, dijk langs het wad nabij Lauwersoog, Zuidwalbos. In dit gebied ligt de grootste 'live' zeedijk: de Livedijk XL. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat*

Hoe kan een waterkering waarbij beheer continu inzicht heeft er in praktijk uitzien? Een goed voorbeeld hiervan is het concept 'Livedijk'. Waterschap Noorderzijlvest heeft in verschillende waterkeringen sensoren geplaatst, en noemt deze keringen 'livedijken'. De sensoren meten onder meer trillingen, water, temperatuur en verzakking. De ingewonnen gegevens worden verzameld in een landelijke database (het Dijk Data Service Centrum). Zo kunnen de gegevens met informatie over de kering vergeleken worden, aan modellen gekoppeld worden, en gedeeld en vergeleken worden met andere waterschappen. De informatie wordt gebruikt voor efficiënter onderhoud.

Voor meer informatie zie de website van Noorderzijlvest: <https://www.noorderzijlvest.nl/ons-werk/projecten/innovatieve/livedijk-xl/>

### 2.2.3. Focus van dit onderzoek

Dit onderzoek focust zich met name op de horizontale as in dit schema. Het doel was om te projectoverstijgende kansen te identificeren voor generieke kennisontwikkeling door meten en monitoren in HWBP-projecten. De nadruk ligt dus niet op een specifieke periode in de lifecycle van waterkeringen. Door de focus op HWBP-projecten liggen metingen en monitoring tijdens de voorbereiding- en realisatiefase van projecten wel vaak meer voor de hand<sup>8</sup>.

Hoewel dit niet de focus van dit onderzoek was, willen we benadrukken dat waterkeringsbeheerders urgentie ervaren om de plaats van meten en monitoren in de verschillende lifecycle-fasen (structureel) uit te werken. Deze vraag richt zich meer op de verticale as in Figuur 2. Dit type meten en monitoren is over het algemeen meer gericht op lokale kennis. Bijvoorbeeld de vraag welke aanvullende metingen tijdens de beheerfase nodig zijn om de onzekerheden in de beoordeling te verkleinen. Tekstbox 2 beschrijft een voorbeeld hiervan uit Waterschap Rivierenland.

#### Tekstbox 2: Kop van de Betuwe (Rivierenland)



Luchtfoto van Meinerswijk, een gebied nabij Arnhem. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

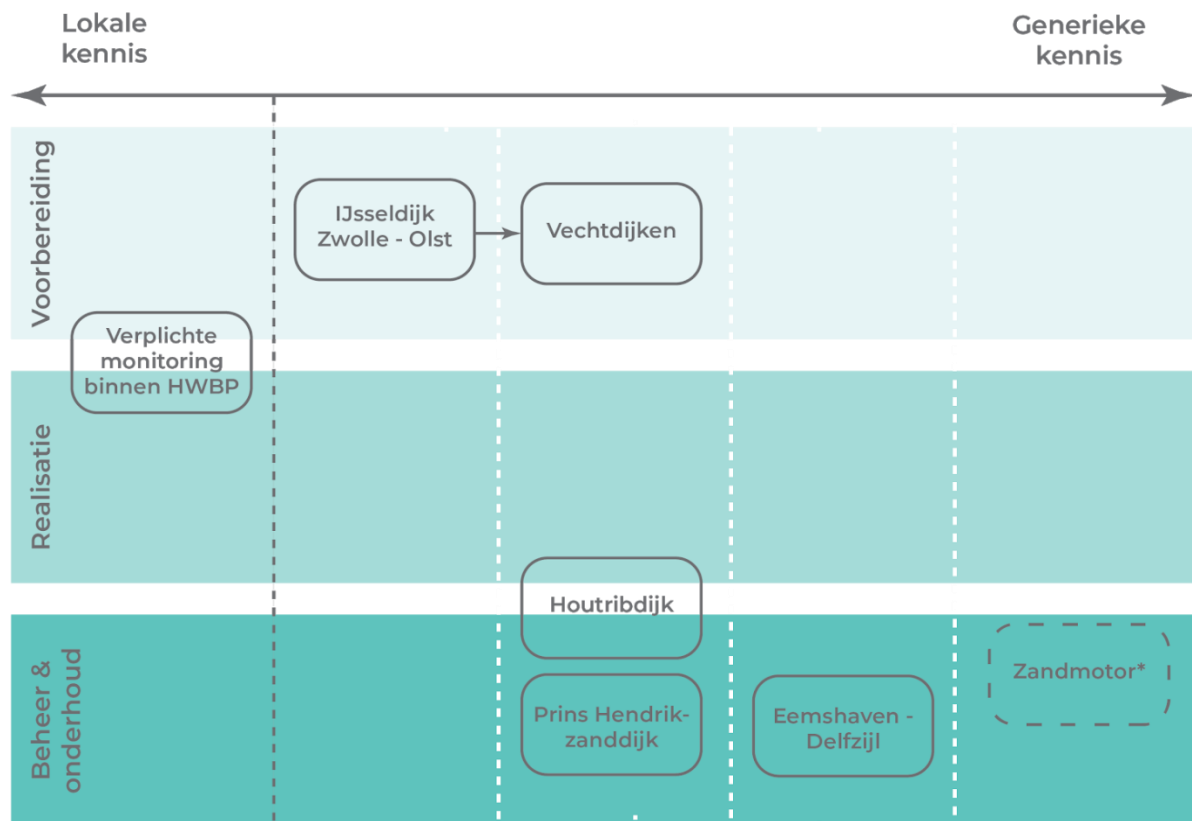
De kop van de Betuwe is de overkoepelende benaming voor twee dijktrajecten, onder beheer van Waterschap Rivierenland. Beide trajecten zijn opgenomen in het HWBP. Na de afkeuring van deze trajecten is in samenwerking met BZ Ingenieurs & Managers onderzocht welke parameters dominant zijn in de beoordeling van de dijktrajecten en of meten en monitoring zou kunnen helpen om de onzekerheid in deze parameters te verkleinen. Op basis van deze gevoeligheidsanalyse is een meetstrategie voor deze dijktrajecten bepaald. Zo kan meten en monitoren bijdragen aan een scherpere beoordeling.

---

<sup>8</sup> Uitzonderingen hierop zijn bijvoorbeeld de HWBP-projecten rondom de Houtribdijk en de Prins Hendrikzanddijk, waar de meet- en monitoringsinspanningen juist grotendeels na de realisatie plaatsvinden. Deze voorbeelden worden toegelicht in de volgende paragraaf

## 2.3. Voorbeelden van meten en monitoren in projecten

We onderscheiden dus grofweg twee manieren waarop meten en monitoren kan leiden tot nieuwe kennis: lokale kennis, en generieke kennis. Dit wordt nader geïllustreerd aan de hand van een aantal voorbeelden, zoals samengevat in Figuur 3. Zoals eerder omschreven, richten de voorbeelden zich op initiatieven opgestart vanuit HWBP-projecten. Ieder project kan origineel aan de linkerkant van het figuur geplaatst worden. Door uitbreiding van de meet- en monitoringscampagne naar meer generieke kennisontwikkeling, verschuift het project naar rechts.



Figuur 3 In projecten worden verschillende typen kennis ontwikkeld, van meer lokale kennis, tot meer generiek toepasbare kennis. Mogelijk valt er kenniswinst te behalen in projecten waarin al gemeten en gemonitord wordt, door kansen voor meer generieke kennisontwikkeling te identificeren. Hierdoor verschuift het project naar de rechterkant van het figuur. \*) De Zandmotor is geen HWBP-project, maar in dit overzicht opgenomen als voorbeeld van een project waarin generieke kennisontwikkeling het uitgangspunt is.

### 2.3.1. Verplichte monitoring voor de uitvoering van HWBP-projecten

In eerste instantie is het natuurlijk zo dat voor de uitvoering van HWBP-projecten al veel gemeten en gemonitord wordt. Hieronder valt bijvoorbeeld het vergaren van gegevens voor een milieueffectenrapportage, of voor een vergunningsaanvraag. Ook tijdens de versterking zullen bepaalde metingen en monitoring door de aannemer worden gedaan voor de oplevering van het project.

Dit type meten en monitoren is sterk gericht op het inwinnen van lokale gegevens en evaluatie van lokale effecten; het stelt niet als doel om ook generieke kennis op te halen.

### 2.3.2. IJsseldijk Zwolle – Olst: Proeven 'gras op zand'

Op dit dijktraject heeft Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) diverse veldproeven uitgevoerd om meer lokale kennis te vergaren. Van een aantal proeven zijn de resultaten ook breder toepasbaar.

Bijvoorbeeld de proeven om te kijken of een bredere kruin leidt tot verlaging van de stroomsnelheid op het binnentalud. Hierdoor zou wellicht een hoger overslagdebiet en daardoor een lagere kruinhoogte geaccepteerd kunnen worden. WDOD heeft eerste proeven uitgevoerd om dit effect te onderzoeken, en te verkennen of bepaalde dijkvakken met hoogtetekort ook daadwerkelijk behoefte hadden aan ophoging. De resultaten van deze proeven worden op dit moment (april 2020) nog geanalyseerd.

De resultaten van deze proeven worden gebruikt binnen het project zelf, maar zijn op een breder schaalniveau nuttig (generieke kennisontwikkeling). Verder zullen de resultaten van deze proeven gebruikt worden in een vervolgproject ('Grasonderzoek Vechtdijken: Verdere ontwikkeling rekenregels voor gras op keringen'). Dit onderzoek wordt toegelicht onder het voorbeeld 'Vechtdijken: Proeven 'gras op zand' (2.3.3).



Luchtfoto van de IJsseldijk bij Zwolle. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

### 2.3.3. Vechtdijken: Proeven 'gras op zand'

Langs de Overijsselse Vecht liggen verschillende dijktrajecten die versterkt moeten worden als onderdeel van het HWBP. Een groot deel van deze trajecten is afgekeurd omdat de grasbekleding (zowel op het binnen- als buitentalud) niet aan de wettelijke eisen voldoet.

De huidige rekenregels voor grasbekledingen zijn echter grotendeels afgeleid op basis van simulatorproeven op grasbekledingen met een kleiondergrond. In het instrumentarium wordt geen werkwijze aangegeven voor gras op zand. Daardoor wordt er voor grasbekledingen zeer conservatief gerekend met een minimale sterkte voor de grasbekleding.

De verwachting is dat extra metingen en onderzoek naar de sterkte van grasbekledingen op zand leiden tot een aanzienlijke reductie van de scope van de HWBP-versterkingsprojecten rond o.a. de Overijsselse Vecht. Daarom zal eind 2020/begin 2021 een onderzoek starten waarbij specifiek gekeken wordt naar het meten van de sterkte van dit type grasbekledingen onder golfklap en golfoverslag.

Het doel van dit onderzoek is tweeledig: in eerste instantie kan het lokaal leiden tot een flinke reductie van de versterkingsopgave langs de Vechtdijken. Daarnaast is het ook de bedoeling dat de resultaten van het onderzoek mee worden genomen in een update van het WBI, zodat in de volgende beoordelingsronden daarvan gebruik kan worden gemaakt. Zo wordt er dus ook generieke kennis opgedaan.



De Vechtdijk bij Dalfsen, Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

#### 2.3.4. Houtribdijk (Enkhuizen – Lelystad)

De Houtribdijk is deels versterkt met breuksteen en deels met brede, zandige oevers. Deze zandige oevers vangen de golfslag en -belasting van het Markermeer en IJsselmeer op, en vervullen hiermee de rol van waterkering. Een zandige versterking in zo'n grote meeromgeving zonder getij is nog niet eerder toegepast. Om de innovatieve aanpak te testen, is een meetcampagne opgezet waarbij de verandering van de zandige versterking in combinatie met de inkomende golven en stroming wordt gemeten.

Het Houtribdijkproject is projectoverstijgend gekoppeld aan het Kennis en Innovatieprogramma Marker Wadden (KIMA) en de geplande monitoring bij de Markermeerdijk (Hoorn). Het onderzoek richt zich op 'zandige randen'<sup>9</sup>.

Bij de Houtribdijk is dus voor een innovatieve versterking binnen het kader van HWBP gekozen. Gekoppeld aan het HWBP-project is een meetcampagne opgezet door Rijkswaterstaat om meer inzicht te krijgen in de werking van deze innovatieve versterkingsmaatregel.

De ontwikkelde kennis is zowel lokaal als generiek, en kan dus breder toegepast worden.

<sup>9</sup> Zie: <https://kennismarkerwadden.nl/onderzoeksthema/bouwen-slib-zand/>



Een zeehond geniet van de zon terwijl het strand voor de pilot Houtribdijk wordt opgespoten. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat

### 2.3.5. Prins Hendrikzanddijk (Texel): Meten en monitoren aan een zandige versterking

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HKNK) heeft een buitendijkse zandige versterking uitgevoerd aan de landinwaartse zijde van Texel, die fungeert als waterkerend lichaam. Dit is een innovatieve manier van versterken: met de zandige versterking op een locatie waar van nature al zand wordt afgezet. De versterking stimuleert dit natuurlijke proces. De versterking is najaar 2019 opgeleverd. Sindsdien wordt extra onderhoud en monitoring uitgevoerd door de aannemer (Jan De Nul) om na te gaan of het natuurlijke proces inderdaad goed standhoudt. Verandering in abiotische parameters werden direct na aanleg gemeten. Deze zijn bepalend voor de verdere biotische ontwikkeling. Beheer en toezicht is geborgd bij Staatsbosbeheer.

Aan het HWBP-project wordt ook een gezamenlijk TUD-UU onderzoeksprogramma gekoppeld: EURECCA (gegrond door NWO, voorjaar 2020). Dit onderzoek wil kwantitatieve kennis ontwikkelen voor het ontwerp en de evaluatie van zandige versterkingen zoals die bij de Prins Hendrikzanddijk. Voor het onderzoek worden grote veldmetingen aan de Prins Hendrikzanddijk opgezet, gecombineerd met modelsimulaties van suppleties (XBeach en Delft3D). Het doel is om te komen tot verbeterd inzicht in de interactie met de getijdegeul nabij de kust, drempelwaarden van het sedimenttransport bij verschillende zandkorrelgroottes en de verwachte onderhoudsbehoefte. Deze nieuwe parameters kunnen gebruikt worden in de beoordeling en het ontwerp van zandige keringen zoals de Prins Hendrikzanddijk.

Bij de Prins Hendrikzanddijk speelt monitoren dus een rol ter ondersteuning van beheer. Zo kan beter begrepen worden hoe vaak en met hoeveel zand gesuppleerd moet worden. Ook wordt generieke kennis ontwikkeld over het gedrag van zandige versterkingen. Deze kennis kan slim gekoppeld worden aan de kennisontwikkeling bij de Houtribdijk en Zandmotor (zie 3.1.6).

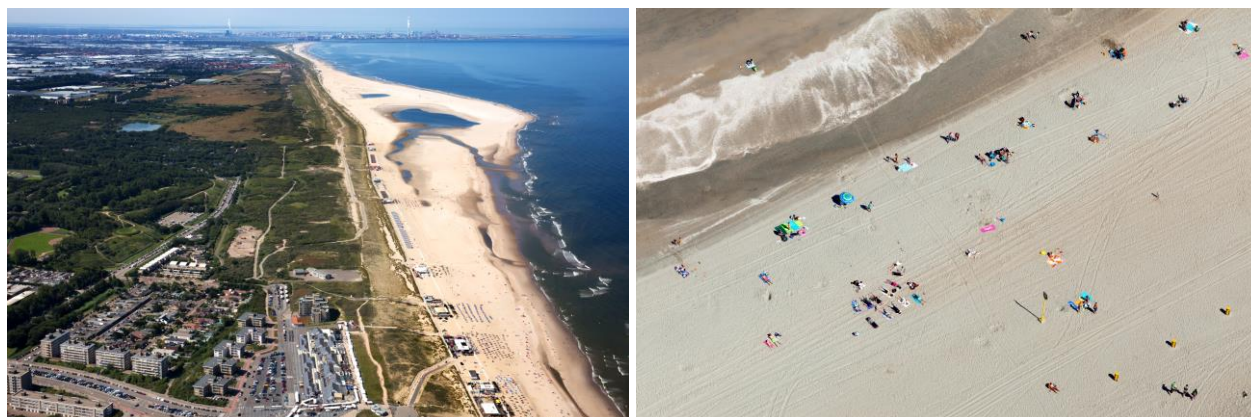


### 2.3.6. Eemshaven – Delfzijl (noordoost Groningen)

Tijdens de ontwerpfase van de HWBP-versterking van de kering tussen Eemshaven en Delfzijl gaf het model onverwacht grote dimensies aan voor het ontwerp<sup>10</sup>. De verwachting is dat de veiligheidsmarges voortkomend uit de onzekerheid rondom het ontwerpproces en met name aannames over maatgevende golven, windsnelheden en waterstanden, leiden tot conservatieve randvoorwaarden in dit gebied.

Daarom is besloten om de dijk te versterken voor een periode van 25 jaar, in plaats van de gebruikelijke 50 jaar. Hierbij worden de komende 12 jaar veldmetingen uitgevoerd om de werkelijk optredende waterstanden en golven tijdens stormachtige omstandigheden in kaart te brengen. Tegelijkertijd wordt op twee locaties via in de kering ingebouwde bakken de mate van golfoverslag gemeten. Door de resultaten van deze veldmetingen te gebruiken in de modellen, kan worden bepaald of verdere versterking nodig is.

In dit voorbeeld is de scope van het HWBP-project aangepast, om ruimte te maken voor nader onderzoek. Daarbij is het doel dat de resultaten van dit onderzoek niet alleen nuttig zijn voor dit versterkingsproject Eemshaven – Delfzijl, maar ook voor andere projecten in het Eems-Dollardgebied. Verder resulteert het ook op een generiek niveau in kennisontwikkeling rondom golfloop en -overslag.



Luchtfoto's van de Zandmotor. Bron: <https://www.flickr.com/photos/zandmotor/>

### 2.3.7. Zandmotor\*

De Zandmotor is een uniek pilotproject. De Zandmotor is in 2011 aangelegd voor de kust van Ter Heijde. Binnen dit pilotproject wordt onderzocht of een dergelijk natuurlijk zandsysteem kan fungeren als duurzamer alternatief voor zandsuppleties. In samenwerking met diverse kennisinstellingen, worden metingen uitgevoerd om te onderzoeken hoe de Zandmotor zich ontwikkelt.

*\*) De Zandmotor is uiteraard geen HWBP-project, maar wordt hier als voorbeeld gebruikt om te illustreren hoe generieke kennisontwikkeling plaats kan vinden. In het geval van de Zandmotor zijn generieke kennisvragen de aanjager geweest van het meet- en monitoringsproject. Het project is opgezet met als doel meer (generieke) kennis te vergaren.*

<sup>10</sup> Namelijk een oplopende verhoging met als maximum 4 meter bij Delfzijl.

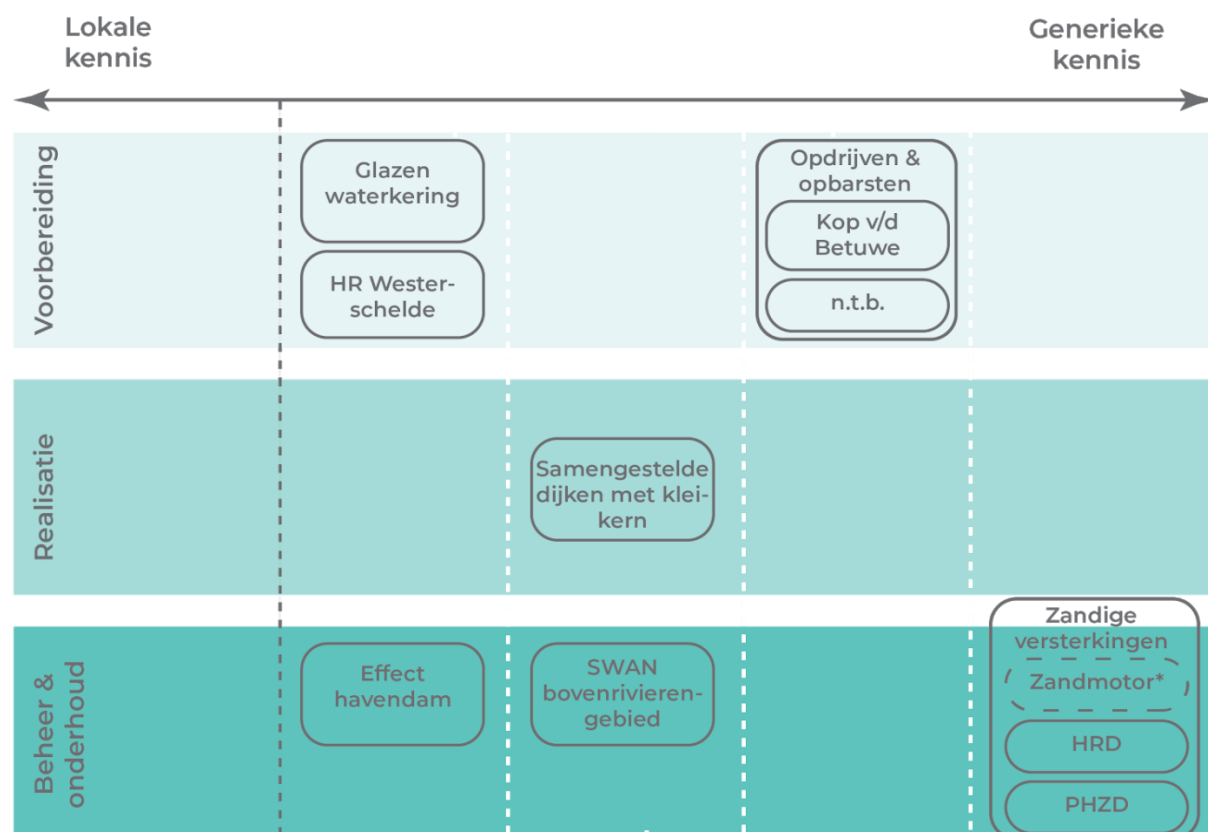
### 3. Kansen voor projectoverstijgende kennisontwikkeling in HWBP-projecten

In het kader van de concretiseringsstap op het ENW-advies 'Beter Leren Keren' zijn verschillende interviews en werksessies georganiseerd (voor een overzicht, zie Bijlage 1, p. 25). Deze sessies, waaraan verschillende partijen uit de waterveiligheidsketen deelnamen, hadden het volgende doel:

**Het identificeren van HWBP-projecten waarin door meten en monitoren generieke kennis kan worden ontwikkeld**

Door aan de voorkant na te gaan of deze lokale kennisontwikkeling misschien gekoppeld kan worden aan meer algemene kennisvragen of andere meetprojecten, kan ook meer generieke kennis worden opgedaan. Zo kan ontstaan kansen voor 'Beter leren keren'.

De opgehaalde kansen zijn samengevat in Figuur 4. Deze illustreren mogelijkheden om vanuit lokale monitoring in HWBP-projecten ook bij te dragen generieke kennisontwikkeling. Uiteraard is dit geen uitputtende lijst – het is bedoeld ter inspiratie. Naast deze concrete voorbeelden, zijn er ook andere voorstellen opgehaald van kennisvragen die door meten en monitoren kunnen worden opgelost. Deze zijn samengevat in Bijlage 2 (p. 26).



Figuur 4 Overzicht van de geïdentificeerde kansen Aan de linkerzijde staan projecten waarin meer lokale kennis wordt opgehaald, aan de rechterzijde de projecten die meer nadruk leggen op generieke kennisontwikkeling. De kennisontwikkeling rond opbarsten en opdrijven wordt ontwikkeld door op twee locaties te meten met een verschillende dikte in het klei-veenpakket. Bijvoorbeeld de Kop van de Betuwe, en een nog nader in te vullen ander project in west-Nederland. \*) De Zandmotor is geen HWBP-project, maar omdat er een kans is voor projectoverstijgende kennisontwikkeling, wel opgenomen in dit overzicht.

### 3.1.1. Glazen waterkering

Glazen waterkeringen worden in Nederland relatief weinig gebruikt (bekende voorbeelden zijn Ketelhaven, Breskens-kom en Bruinisse). Waterschap Limburg gaat voor een HWBP-project onderzoeken of een glazen waterkering kan worden toegepast langs het dorp Neer. De dijk langs dit dorp zou met 70 centimeter verhoogd moeten worden, waardoor de bewoners het uitzicht op de Maas verliezen. Om dit te voorkomen, wordt onderzocht of een glazen waterkering een veilig alternatief is. Daarom zijn er verschillende proeven gedaan om de sterkte van deze keringen te testen, namelijk een afstudeeronderzoek en vervolgens een proef in de Deltagoot van Deltares. De Deltagoot-proef testte de sterkte van een glazen kering zoals die ontworpen is om bij Neer te plaatsen. Deze heeft een hoogte van 70 centimeter.

Het nut van verdere proeven (bijvoorbeeld met andere glasafmetingen) wordt onderzocht. Dan zou de glazen kering ook op andere locaties in Waterschap Limburg toegepast kunnen worden. Ook zouden deze proeven, en een goede documentatie daarvan, nuttig kunnen zijn op andere plekken in Nederland.



Luchtfoto Hansweert, bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt

### 3.1.2. Hydraulische belastingen Westerschelde & Effect havendam

Het dijktraject langs het dorp Hansweert in Zeeland is onderdeel van het HWBP en moet opgehoogd worden. Vooral langs het dorp Hansweert is er heel weinig ruimte voor een dijkversterking doordat de bebouwing vlak achter de waterkering ligt. Een mogelijke (gedeeltelijke) oplossing is een voorliggende havendam gebruiken, die de achterliggende dijk afschermt en zo de belastingen op de waterkering doet afnemen.

In het kader van meten en monitoren zou het in dit gebied nuttig zijn om de golfbelastingen in dit gebied beter in kaart te brengen. Omdat het dijktraject in een bocht van de Westerschelde ligt, zijn de golfbelastingen hier niet zeker. Dat zou niet alleen voor dit project, maar ook voor eventuele toekomstige HWBP-projecten in dit gebied nuttige kennis zijn. Dit zou op een vergelijkbare manier kunnen worden uitgevoerd als de Meerjarige Veldmetingen (MJVM), ten behoeve van het dijkverbeteringsproject Eemshaven – Delfzijl. Daarnaast zou het nuttig zijn om, in het geval dat de havendam inderdaad opgehoogd wordt, het effect daarvan op de hydraulische belastingen op de achterliggende waterkering te meten.

### 3.1.3. Erosiebestendigheid samengestelde dijk met kleikern

Op veel locaties in Nederland liggen samengestelde dijken: een dijk die uit verschillende materialen is opgebouwd. Het is lastig om de erosiebestendigheid van een samengestelde dijk goed te bepalen. Vanuit Deltares is een erosiemodel beschikbaar, maar dit model is nog in ontwikkeling. Metingen aan de sterkte-eigenschappen van dit soort dijken zouden gebruikt kunnen worden om dit model te kalibreren.

Op traject Eemshaven – Delfzijl ligt een stuk dijk waar zulke metingen kunnen worden uitgevoerd. De dijk bestaat origineel uit klei, maar is inmiddels enige malen opgehoogd met diverse andere materialen. Een deel van de oude zeedijk moet worden afgegraven. Deze afgraving biedt een kans om de sterkte-eigenschappen van het dijksmateriaal te meten. Deze metingen kunnen vervolgens gebruikt worden om het erosiemodel te kalibreren. Uiteraard kunnen dit soort metingen ook worden uitgevoerd op andere locaties waar afgravingen plaatsvinden voor het plaatsen van (grote) kunstwerken.

Op hetzelfde traject is over een afstand van ruim 2 kilometer een geheel nieuwe achterliggende kering aangebracht achter de oude zeedijk. Deze achterliggende kering is opgebouwd uit gebiedseigen grond (ontgraven tussen beide dijken). Beide dijken samen vormen het demonstratieproject 'Dubbele Dijk'. Ook dit traject leent zich voor metingen die lokale kennis opleveren over de ondergrond (namelijk de lokale erosiebestendigheid), maar die ook generiek gebruikt kunnen worden voor de kalibratie van het Deltares-erosiemodel.

### 3.1.4. Validatie SWAN-model bovenrivierengebied

Het SWAN-model wordt gebruikt om de golfbelastingen te bepalen die gebruikt worden als input voor de beoordeling. Dit model is echter niet gevalideerd voor het bovenrivierengebied, waar de interactie tussen de stroming en de golven ervoor zou kunnen zorgen dat de betrouwbaarheid van de berekende golfbelastingen minder is. In deze context zou het nuttig zijn om metingen te doen in het bovenrivierengebied, zodat die data gebruikt kunnen worden om het model te valideren voor deze gebieden.

Voor de HWBP-projecten Grebbedijk, het dijktraject Tiel-Waardenburg en het dijktraject Zwolle-Olst zijn reeds SWAN-modellen opgezet. Metingen zouden dus bijvoorbeeld aan deze projecten gekoppeld kunnen worden. Daarbij zou zowel waardevolle informatie kunnen worden opgehaald voor deze dijktrajecten, als voor de validatie van het SWAN-model. Hierbij moet goed nagegaan worden wat precies gemeten moet worden (welke parameters en met welke nauwkeurigheid), de condities waaronder gemeten kan worden (welke storm-hoogwater-combinatie is haalbaar binnen een bepaalde periode) en hoe er dan praktisch gemeten moet gaan worden. Hierbij moet er o.a. nagedacht worden over in hoeverre er gewerkt moet worden met een permanente meetopstelling, of met een 'Quick Reaction Force' die de opstellingen voorafgaand aan hoogwater plaatst.

De opgehaalde metingen zouden in eerste instantie lokaal gebruikt kunnen worden om de hydraulische randvoorwaarden langs een bepaald traject beter in zicht te krijgen. Echter, zeker als er op meerdere locaties dit soort metingen worden gedaan, zou dat kunnen helpen bij de validatie van het SWAN-model voor het bovenrivierengebied en op die manier aan meer generieke kennisontwikkeling.



Hoogwater in Tiel in 2011. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat, Ruimte voor de Rivier / Kees Tjaden

### 3.1.5. Opbarsten en opdrijven

Het onderwerp opbarsten of opdrijven van de klei- en veenlaag achter het dijklichaam levert de nodige kennisvragen op. Modellen voor de berekening hiervan zijn beschikbaar, maar er is een gebrek aan meetgegevens. Om de modellen te valideren, zouden meer meetgegevens dus een uitkomst bieden. Vaak worden waterspanningen gemeten binnen een project. Door ook de vervormingen van het gedeelte net achter het dijklichaam te meten, kan meer kennis worden vergaard over het principe van opdrijven of opbarsten.

De uitdaging is dat opdrijven en opbarsten alleen onder extreme omstandigheden voorkomt. Er zijn dus metingen over een langere tijdsperiode nodig. Om dit te waarborgen binnen een HWBP-project, moeten de metingen dus vroegtijdig beginnen.

Bij klei- en veenlagen dunner dan vier meter treedt opbarsten op, en bij lagen dikker dan vier meter opdrijven. De meest waardevolle informatie kan dus worden opgehaald door te meten op meerdere locaties, waarvan een in het oosten (waar de laag dunner is) en een in het westen (met een dikkere klei-veenlaag). Bijvoorbeeld:

- De Kop van de Betuwe: de twee projecten die de Kop van de Betuwe vormen, staan op de planning voor verkenning in 2021. Ook is er rondom de trajecten al aandacht voor monitoring, en zou daarop aangesloten kunnen worden met deze (generieke) kennisvraag.
- De Hedwige Prosperpolder; dit bekende project in zuidwest Zeeland biedt mogelijk kansen om te meten rondom opbarsten of opdrijven.
- Kleinere dijken, zoals boezemkades; dit zijn natuurlijk geen HWBP-projecten, maar zouden mogelijk wel goed inzetbaar kunnen zijn om meer meetgegevens op te halen rondom opbarsten en opdrijven.
- Meetzomerkades (zie 4.4); ook dit zijn geen HWBP-projecten, maar zouden net als de kleinere dijken meer meetgegevens kunnen ophalen.

De opgehaalde meetgegevens zijn in eerste instantie lokaal. Door de meetgegevens uit meerdere locaties te koppelen, kan juist generieke kennis worden opgedaan over het proces opbarsten en opdrijven.

### 3.1.6. Resultaat zandige versterkingen combineren

Op verschillende locaties in Nederland zijn zandige versterkingen toegepast. Voorbeelden zijn de Zandmotor, de Houtribdijk en de Prins Hendrikzanddijk op Texel. Hoewel op elk van deze locaties een zandige versterking is toegepast, zijn de omstandigheden verschillend. Zo bevindt de Houtribdijk zich in een groot meer, waar geen sprake is van getij maar voornamelijk windopzet en windgolven, terwijl de Zandmotor aan de kust ligt met getij en beduidend hogere golven. De Prins Hendrikzanddijk ligt hier qua omstandigheden tussenin; hier is wel sprake van getij, maar de golven zijn minder hoog dan langs de Hollandse kust.

Op deze verschillende locaties vinden metingen plaats aan de zandige versterkingen. Zo is er een meetcampagne opgezet rond de Houtribdijk en zullen er in de context van het EURECCA-project<sup>11</sup> ook meetcampagnes worden opgezet rond de Prins Hendrikzanddijk. De aanbeveling is om de kennis die op deze verschillende locaties wordt opgedaan te koppelen. Zo kan de informatie overkoepelend gebruikt worden om generieke onderzoeksvragen omtrent zandige versterkingen te helpen oplossen.

---

<sup>11</sup> Zie: <https://www.nck-web.org/boa-2020/376-the-eurecca-project-how-will-waves-and-tides-spread-the-sand-mixture-of-the-prins-hendrikzanddijk>

## 4. Praktische aanbevelingen

Tijdens de interviews en werksessies met experts zijn diverse aanbevelingen opgehaald voor meten en monitoren. Deze aanbevelingen worden in dit hoofdstuk besproken; een overzicht is te vinden in Tabel 1. Ook zijn er kennisvragen opgehaald waarvoor meten en monitoren inzicht kan verlenen. De kennisvragen staan beschreven in Bijlage 2 (p. 26).

Tabel 1 Overzicht van de aanbevelingen

Onderwerp	Pagina
4.1. Meet- en monitoringscampagnes	18
4.2. Rndom versterkingsprojecten	19
4.3. Het belang van langjarige (veld)metingen	21
4.4. Benutten bestaande keringen voor veldproeven	21
4.5. Registratie en documentatie in het veld	22

### 4.1. Meet- en monitoringscampagnes

Uiteenlopend advies is opgehaald rondom meet- en monitoringscampagnes: zowel omtrent de voorbereiding als afronding. Deze worden nader toegelicht.

#### 4.1.1. Voorbereiding van de campagne

##### Planning

Het meetplan of -protocol dient ruim van tevoren opgesteld te worden: bij voorkeur voor of tijdens de beoordelingsfase. De periode tussen beoordeling en uitvoering van een HWBP-project is vaak relatief kort. Door pas na de beoordeling de meetwensen te inventariseren, wordt de effectieve periode dat tussen de beoordeling en versterking gemeten kan worden nog korter.

##### Aansluiting met andere programma's

Het is verstandig om na te gaan bij welke lopende programma's het geplande programma kan aansluiten. Programma's is hierin breed gezien - van databases tot kennisprogramma's tot andere projecten. Strakke aansluiting zorgt voor tijdswinst (en dus een langere meetperiode), omdat lessen uit het vorige project in het geplande project kunnen worden benut. Zo loopt men bijvoorbeeld niet steeds tegen dezelfde opstartproblemen aan.

##### Aandachtspunten protocol

Belangrijk voor een goed meetplan is de formulering van een heldere vraagstelling met bijbehorende scope (wat wordt er wel en wat wordt er juist niet gemeten). In het protocol moet ook aandacht besteed worden aan de ontsluiting van de opgehaalde gegevens (zie 4.1.2).

Meten in relatie tot pilots verdient bijzondere aandacht, aangezien een pilot kan falen. Ook dit levert waardevolle lessen op, als gedocumenteerd wordt waarom iets gefaald heeft. Pilots hebben dus baat bij goed gedefinieerde criteria voor evaluatie en documentatie.

##### Flexibiliteit

Het is verstandig om flexibiliteit in het meetplan mee te nemen. Bijvoorbeeld door te beginnen met een basismetset, en deze aan de hand van opgedane ervaringen uit te bouwen in de volgende jaren. Zo kan worden nagegaan of de gebruikte meetinstrumenten ook de gewenste resultaten opleveren (validiteit).

### Kwaliteitsborging bij veldmeetcampagnes

Kwaliteitsborging is een cruciaal onderdeel van veldmeetcampagnes. Deze campagnes zijn veelal complex, en diverse factoren kunnen leiden tot onbetrouwbare resultaten<sup>12</sup>. Consistentiechecks en spoedige benutting van de meetdata zijn cruciaal om tijdig meetproblemen te signaleren, om zo te waarborgen dat de metingen betrouwbare gegevens ophalen. Als vuistregel kan gesteld worden dat kwaliteitsborging, analyse en het benutten en ontsluiten van metingen veelal de grootste financiële kostenpost zijn bij veldmeetcampagnes (niet het realiseren van een meetopstelling zelf). Mocht dit niet het geval zijn in een project, is het dus aan te bevelen om na te gaan of kwaliteit goed geborgd is en hoe.

#### 4.1.2. Uitvoering van de campagne en gebruik data

##### Ontsluiting bestaande data

Veel informatie over de waterkeringen is bij de beheerder aanwezig, maar versnipperd binnen de organisatie. Hierdoor wordt de data niet optimaal benut. Over het algemeen is er binnen een waterschap een speciale afdeling verantwoordelijk voor monitoring. Monitoring van de waterkeringen valt buiten deze afdeling. Er valt winst te behalen als de beschikbare informatie omtrent waterveiligheid in één systeem wordt samengebracht. De monitoringsafdeling van het waterschap kan hierin wellicht adviseren.

##### Openbaar publiceren data

Het openbaar delen van data is waardevol voor het vergroten van algemene kennis. Soms wordt onderschat dat dit extra tijd en inspanningen vergt.

Een tijdrovende maar belangrijke klus is het opschonen van de ruwe data. Een les vanuit het Houtribdijk-project is dat hier rekening mee gehouden wordt terwijl de meetcampagne loopt. Concreet wordt er een datarapport bijgehouden, dat later openbaar gepubliceerd wordt. Het rapport bevat technische details van de metingen en dient ter ondersteuning van de openbare data. Dit versoepelt het publicatieproces. Een belangrijke kanttekening wat betreft het opschonen van ruwe data naar opgewerkte data is mogelijke tijdsvertraging van publicatie. Hoe later de publicatie plaatsvindt, hoe meer het nut en de relevantie van de data gereduceerd wordt. Hierin moet dus een balans gezocht worden.

Een inspirerend voorbeeld voor het online publiceren van data is het Amelander Zeegat<sup>13</sup>. Hier is extra energie gestoken in goed, eenduidig en herleidbaar datamanagement. Dit werpt zijn vruchten af, aangezien onderzoeksinstellingen de data benutten voor extra onderzoek. Zo levert de openbare data sectorbrede kennisontwikkeling op.

## 4.2. Rondom versterkingsprojecten

Rondom de uitvoering van versterkingsprojecten zijn diverse aanbevelingen genoemd.

### 4.2.1. Monitoringsinfrastructuur inrichten tijdens ontwerp en versterking

Een versterking biedt de kans om direct de monitoringsinfrastructuur van de kering te updaten. Hiermee wordt continu inzicht in de kering na de versterking verbeterd. Dit levert veel op. Direct na de kering kan een 'nulmeting' gemaakt worden van het gedrag op dat moment. Na de versterking treedt in meerdere of mindere mate degradatie van het aangelegde systeem aan. Door continu en langjarig te blijven meten en monitoren, kan deze verandering van het systeem in kaart gebracht worden. Deze informatie is interessante generieke kennis voor andere waterkeringen als 'benchmark'. Ook kunnen de aannames de aannames vanuit het ontwerp op deze manier gevalideerd worden.

---

<sup>12</sup> Zie: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:2cfa0887-5162-410b-af40-1e12507d6d67>

<sup>13</sup> Zie: <https://waterinfo-extra.rws.nl/projecten/@217390/kustgenese-2-0/>



#### 4.2.2. Samenwerking aannemers

Er zijn twee praktische stappen die gezet kunnen worden in de samenwerking met aannemers. Ten eerste kan worden afgestemd wat er gebeurt met de data, die tijdens de versterking door de aannemer wordt gemeten. Als hier goede, contractuele afspraken over kunnen worden gemaakt, kan deze data mogelijk heel nuttig zijn voor de beheersorganisatie.

Ten tweede kunnen afspraken gemaakt worden over gebruikte meetapparatuur. Tijdens de versterking plaatst de aannemer vaak meetapparatuur in de waterkering. Voor de oplevering van het project wordt de apparatuur weer verwijderd. Het zou efficiënt zijn als de aannemer de apparatuur laat zitten in de kering, en overdraagt aan de beheersorganisatie.

#### 4.2.3. Benutten versterking voor inzicht

Er is vaak weinig bekend over de precieze opbouw van dijklichamen, terwijl dit wel een kennisbehoefte is vanuit de beoordeling. Tijdens de versterking kan deze kennis op verschillende manieren worden opgedaan.

##### Benut afgravingen

Breng tijdens afgravingen van dijken goed in kaart hoe de opbouw van een dijk eruitziet. Deze kans wordt zelden benut. Een protocol voor de 3D-GeoScan<sup>14</sup> (POV-DGG; Dijkversterkingen met Gebiedseigen Grond) kan aanknopingspunten bieden).

##### Benut de aanleg van damwanden en -ankers

Damwanden worden op verschillende locaties aangebracht om de dijk te versterken. De benodigde krachten voor het plaatsen van deze objecten, kunnen potentieel veel informatie opleveren over de lokale grondopbouw. Grondankers worden vaak met een redelijk grote dichtheid geplaatst, en zouden dus tot veel gedetailleerde kennis over de opbouw kunnen leiden.

Mogelijk biedt een ander ontwerp van de serie damankers ook voldoende veiligheid (bijvoorbeeld het gebruiken van kleinere of minder ankers). Om hier meer inzicht in te krijgen, moeten de krachten op de ankers over een langere tijdperiode gemeten worden; bijvoorbeeld door bij het plaatsen van de damankers spanningsmeters te bevestigen. De uitkomsten hiervan kunnen benut worden voor het optimaliseren van de plaatsing van damankers op andere locaties.

##### Benut ophogingen

Tijdens veel versterkingsprojecten worden ophogingen van de dijk uitgevoerd. Deze ophogingen worden meestal niet in één keer uitgevoerd, maar in een aantal slagen aangebracht. De snelheid waarmee zettingen in de ondergrond volgen op de ophoging, vertellen mogelijk veel over de sterkte en opbouw van de ondergrond. Daarmee kan dit nuttige informatie opleveren voor dijkbeheerders.

#### 4.2.4. Zorg voor een incentive bij opdrachtgevers en projectleiders

In de filosofie van Beter Leren Keren biedt elk project kansen om te leren voor het volgende project. Het vergt visie en leiderschap om deze kansen ook daadwerkelijk te benutten, en daarmee betere oplossingen op termijn mogelijk te maken. Een andere manier van denken is nodig: Niet alleen vanuit de doelen van een individueel project ('op tijd' en 'binnen budget'), maar juist ook vanuit een projectoverstijgend perspectief: Wat kunnen we leren voor het volgende project, en wat is daarvoor nodig? Binnen de projecten zit enorm veel innovatiekracht, die zou niet onbenut moeten blijven. HWBP projectleiders en andere

---

14

<https://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/innovatie/kennis++innovatie/Projectoverstijgende+Verkenningen+POV/pov+dgg/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=1408790>

slutspelers op het terrein van de waterveiligheid spelen een cruciale rol om deze gedragsverandering mogelijk te maken. Overheden en andere opdrachtgevers kunnen incentives stellen om dit aan te moedigen.

### 4.3. Het belang van langjarige (veld)metingen

Langjarig meten en monitoren is een belangrijk onderwerp binnen waterveiligheid, dat buiten de scope viel van dit onderzoek. Dit betekent niet dat dit rapport het belang van langjarige metingen niet onderschrijft – in tegendeel zelfs. Validatie van gegevens door veldmetingen blijft noodzakelijk ter aanvulling op de vele modellen die in de waterveiligheid gebruikt worden. Veelgenoemde voorbeelden van gewaardeerde langjarige monitoring zijn de JARKUS-raaien, het referentievlak NAP, en het Landelijk Meetnet Water.

Een specifiek voorbeeld van een kennisvraag die door langjarig meten en monitoren kan worden opgelost, is validatie van de Ruimte voor de Rivier-maatregelen (zie Bijlage 2, Validatie Ruimte voor de Rivier-programma, p. 29)



Luchtfoto van de Hedwige-Prosperpolder, een voorbeeld waarbij de afgraving van een bestaande kering benut wordt voor diverse proeven. Bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt

### 4.4. Benutten bestaande keringen voor veldproeven

Het voordeel van proeven met bestaande waterkeringen, is dat deze een ‘geschiedenis’ in het veld hebben (in tegenstelling tot kunstmatig aangelegde dijken voor proeven). Dit kan leiden tot meer realistische resultaten. Hiervoor liggen verschillende kansen.

#### Afgravingen en verwijderen oude dijken

Bestaande dijken die (deels) afgegraven of weggehaald moeten worden, zouden benut kunnen worden voor veldproeven, zoals ook bij de Hedwige Prosperpolder wordt gedaan. In 3.1.3 is omschreven hoe zo’n mogelijkheid bij de ‘Dubbele Dijk’ in Noorderzijvest gepland is. Een ander voorbeeld is de gebiedsontwikkeling bij Ooijen-Wanssum, waarbij de ‘Oude

Maasarm' wordt gereactiveerd. Door het reactiveren van de Oude Maasarm, wordt meer ruimte voor de Maas gecreëerd. Voor het project wordt een aantal oude stukken dijk afgegraven, weggehaald of uitgediept. Dit levert kansen voor meten en monitoren op.

Aan te raden is om als een afgraving nodig is, na te gaan of er extra kansen voor meten en monitoren gecreëerd kunnen worden.

#### Meetzomerkades

Zomerkades zouden als 'meetzomerkade' kunnen worden ingericht op een aantal plekken in Nederland. Zo kunnen verschillende kennisvragen beantwoord worden door gerichte metingen en monitoring. Zomerkades ervaren vaker hoogwater en overstromingen dan de winterdijken, en kunnen dus inzicht bieden in deze grenstoestanden. Ook zouden proeven over de invloed van bepaalde overslag op bekleding kunnen worden uitgevoerd.

Tot slot geven de zomerkades inzicht in veroudering van het gebied. Dit is relevante informatie voor het toekomstbestendig inrichten van de waterkering. Een voorbeeld waarin een zomerkade is ingericht voor metingen, is de Willemspolder in Rivierenland<sup>15</sup>.

#### Buitendijkse polders (noord Fryslân)

Deze buitendijkse polders inunderen bij een waterstand van rond de 3 meter NAP. Afhankelijk van de waterstand, vindt er golfoverslag en -oplopen plaats. Aangezien deze golven veel hoger zijn dan op de rivieren, zou dit interessante informatie kunnen opleveren.

### 4.5. Registratie en documentatie in het veld

Diverse kansen zijn genoemd wat betreft het registreren en documenteren van bijzondere gebeurtenissen in het veld.

#### Droogtescheuren

Het meer systematisch registreren van de (ontwikkeling van) droogtescheuren in keringen. Dit probleem treedt met name op bij boezemkades, maar ook bij sommige primaire keringen. Deze informatie biedt een betere inschatting van de ernst van dit probleem.

#### Wellen na hoogwater

Met name bij piping-gevoelige keringen is het van belang om goed te registreren van waar wellen wel (en **niet**) zijn ontstaan na hoogwater. Dit is bijvoorbeeld belangrijke informatie voor de beoordeling.

#### Veekranden inmeten

Het inmeten van veekranden kan makkelijk worden opgeschaald door bijvoorbeeld een drone in te zetten. Dit is een vrij 'no-regret' aanpak, aangezien het niet veel extra inspanning vergt maar wel interessante informatie kan opleveren over de opgetreden waterstanden en/of golfhoogtes.

---

<sup>15</sup> Zie: <http://www.dijkmonitoring.nl/projecten/totaal lijst/livedijk-willemspolder/>

## 5. Afsluiting: Call for Action

### Why

Wereldwijd staat Nederland bekend om onze kennis en kunde op het gebied van waterveiligheid. Om deze kennis en kunde op peil te houden en de onzekere toekomst het hoofd te kunnen bieden, moeten we deze voortdurend blijven verbeteren. Uitdagingen zoals klimaatverandering en zeespiegelstijging vragen om innovatieve oplossingen – zowel op het gebied van techniek als governance. Om de Nederlandse waterveiligheidssector toekomstbestendig te maken, zijn nog zeker stappen noodzakelijk.

Metten en monitoren speelt een essentiële rol in deze voortdurende verbetering. Bijvoorbeeld door het ontwikkelen van nieuwe generieke kennis, het toetsen van innovaties, of door het beheer van de kering te optimaliseren middels 'continu inzicht'. Er wordt al veel gemeten, gemonitord en geïnnoveerd. Toch is er verbetering mogelijk door metten en monitoren meer structureel een plaats te geven in de keten van waterveiligheid.

### How

Optimale communicatie speelt een cruciale rol wat betreft de plaats van metten en monitoren. Bij het begrip 'metten en monitoren' heeft iedere actor in de waterveiligheidssector een eigen interpretatie. Dit rapport heeft de nadruk gelegd op kennisontwikkeling door metten en monitoren, maar een ander denkt misschien eerder aan het ontwerpen van een monitoringsinfrastructuur voor continu inzicht in een aan te leggen waterkering. Metten en monitoren vervult dus vele rollen in het optimaliseren van het waterveiligheidsproces, zoals ook omschreven in dit rapport. Deze zijn allen van belang, en sluiten elkaar niet uit.

Het veelvoud aan rollen leidt gemakkelijk tot miscommunicatie. Het is dus essentieel om goed scherp te maken welke doelen men met metten en monitoren wil behalen. Het framework uit Hoofdstuk 2 kan hierin ondersteunen.

Het inzetten van metten en monitoren voor voortdurende kennisontwikkeling vergt enige mate van lef: actoren die de grenzen durven op te zoeken. Dergelijke acties moeten gestimuleerd en beloond worden. Iedere actor in de waterveiligheidssector heeft hierin een leidende taak te vervullen – bijvoorbeeld een projectleider die tijd en middelen inplant om meet- en monitoringsmogelijkheden te verkennen en uit te voeren, een onderzoeker die aansluiting probeert te zoeken met lopende projecten voor kennisontwikkeling, of een beheerder die meettechnieken slim toepast voor continu inzicht in de waterkering.

Tot slot moeten we durven leren van andere sectoren over het meer structureel inbedden van metten en monitoren in de waterveiligheidsketen. Hierbij betreft het niet alleen metten en monitoren zelf, maar ook onderwerpen als dataontsluiting. Lessen zouden bijvoorbeeld kunnen worden uitgewisseld met de waterzuiveringssector, ProRail, en het CLIC.

### What

Dit rapport heeft ter illustratie een aantal kansen gepresenteerd die zich op de korte termijn voordoen: meet- en monitoringsmogelijkheden om kennis te ontwikkelen vanuit geplande HWBP-projecten. Deze kennisontwikkeling is essentieel om de waterveiligheidssector toekomstbestendig te maken. Uiteraard zijn er in werkelijkheid veel meer mogelijkheden. Om deze mogelijkheden te kunnen benutten, is het van belang dat alle actoren uit de waterveiligheidssector hierin een proactieve houding aannemen. Door systematisch en structureel zulke kansen te screenen, kunnen ze tijdig geïdentificeerd en waar mogelijk gekoppeld worden aan andere programma's. De Kennis en Innovatie-Agenda (KIA) van het HWBP en het Kennis voor Keringen-platform van Rijkswaterstaat timmeren hard aan de weg om deze screening organisatorisch te waarborgen. Er loopt dus al een veelbelovend initiatief.

Het laten aansluiten van nieuwe initiatieven op al afgeronde of geplande programma's is van belang om op een meer efficiënte wijze (generieke) kennis te ontwikkelen. 'Programma's' definiëren wij in de breedste zin van het woord – van HWBP-projecten tot langjarige meetsites, tot databases en kennisagenda's. Er wordt binnen en buiten Nederland al veel gemeten en gemonitord op het gebied van waterveiligheid. Er is dus een grote kans dat ergens al een vergelijkbaar initiatief bestaat, of dat er een database met gegevens is waar het nieuwe project op kan aanhaken. Ook zorgt een goede aansluiting ervoor dat lessen uit het verleden beter toegepast worden in het heden. Dit bevordert kennisoverdracht en kan op den duur veel tijd (en middelen) besparen.

Tot slot zijn er nog vele (procesmatige en governance-) vraagstukken omtrent het uitwerken en professionaliseren van de plaats van meten en monitoren voor continu inzicht in de waterkering. Sectorbreed is er grote behoefte en urgentie om deze vraagstukken te beantwoorden. Continu inzicht verbetert de toekomstbestendigheid van de Nederlandse waterveiligheidssector. Vervolgonderzoek kan in deze behoefte voorzien door het ontwikkelen van advies.

*We dagen alle actoren – ontwikkelaars, ontwerpers, bouwers, beheerders en onderzoekers – in de waterveiligheidsketen van harte uit om vanuit hun rol invulling te geven aan deze behoeften. Zo dragen we allen bij aan een nog meer optimaal waterveiligheidsproces, en de toekomstbestendigheid van Nederland.*

## Bijlage 1: Overzicht van activiteiten

In het kader van dit onderzoek zijn diverse interviews en werksessies georganiseerd, namelijk:

<b>Verkennde interviews</b>	<b>datum</b>
Henk Steetzel (Arcadis)	25-11-2019
Richard Jorissen (RWS)	26-11-2019
Jasper Fiselier (RHDHV)	26-11-2019
Ludolph Wentholt (STOWA)	03-12-2019
Ellen Tromp (Deltares/HWBP)	05-12-2019
Anne Ton (TUD)	05-12-2019
Petra Goessen (HHNK)	10-12-2019
Marco Veendorp (Arcadis)	16-12-2019

<b>Interviews kennisleemtes &amp; monitoring</b>	<b>datum</b>
Martin Schepers (Waterschap Rivierenland)	08-01-2020
Robert Slomp (RWS)	10-01-2020
Ilka Tánčzos (RWS)	15-01-2020
Wouter Zomer (BZIM) & Jasper Bink (BZIM)	27-01-2020
Meindert Van (Deltares)	28-01-2020
Goaitske de Vries (HWBP)	29-01-2020
Alessandra Bizzarri (RWS)	19-02-2020
Marcel Bottema (RWS)	26-02-2020
Evelien Brand (RWS)	27-02-2020
Adrie Provoost (Kustadvies Zeeland)	11-03-2020
Maurits van Dijk (Waterschap Drents Overijsselse Delta)	19-03-2020
Kees de Jong (Waterschap Noorderzijlvest)	23-03-2020

<b>ENW-bijeenkomsten</b>	<b>datum</b>
ENW-kust: presentatie plan van aanpak en brainstorm	12-12-2019
Expertsessie	07-02-2020
ENW-kust: presentatie en discussie voorlopig resultaat	02-03-2020
ENW-rivieren: presentatie en discussie voorlopig resultaat	12-02-2020
Bespreking conceptrapportage via Skype (2 sessies)	27-03-2020

<b>Werksessies kennisvragen per thema</b>	<b>datum</b>
KKP Expert pool NWO's	30-01-2020
KKP Expert pool HR en bekledingen (2 sessies)	10-02-2020, 21-02-2020
KKP Expert pool Duinen	11-02-2020
Adviesteam Dijkontwerp	13-02-2020
KKP Expert pool kunstwerken en langsconstructies (interview William van Ruiten, Waterschap Limburg i.p.v. werksessie)	17-02-2020
KKP Expert pool Geotechniek	21-02-2020
KKP Expert pool Monitoring	10-03-2020

## Bijlage 2: Kennisvragen uit werksessies & interviews

Tijdens de interviews en werksessies zijn vele, sterk uiteenlopende kennisvragen opgehaald. Verschillende partijen hebben verzocht om een overzicht hiervan. Daarom is besloten deze bijlage toe te voegen aan het rapport. Het doel van deze bijlage is om de in dit onderzoek opgehaalde kennisvragen te bundelen voor geïnteresseerden; het is geen uitputtende lijst van alle kennisvragen die er spelen rondom de verschillende onderwerpen.

De vragen lopen behalve qua thema ook qua meet- en monitoringsbehoeften uiteen. Sommige vragen kunnen beter beantwoord worden door langjarige metingen. Hierbij zal de koppeling naar (HWBP-)projecten minder gemakkelijk te maken zijn.

De kennisvragen zijn gebundeld per thema: geotechniek, hydraulische randvoorwaarden, bekledingen, Niet-Waterkerende Objecten (NWO's) en duinen. Een overzicht is te vinden in Tabel 2.

*Tabel 2 Overzicht van de in dit onderzoek opgehaalde kennisvragen per thema.*

Thema	Onderwerp	Pagina
<b>Geotechniek</b>		<b>27</b>
	Grens tussen opdrijven en opbarsten	
	Vervormingen van dijklichamen	
	Sterkte van de onverzadigde zone	
	Rekenen met ongedraineerde grond	
	Tijdsafhankelijkheid freatische lijn	
	Weerstand van het voorland	
<b>Hydraulische randvoorwaarden</b>		<b>28</b>
	Variatie windstatistiek in Nederland	
	Reguliere golfbelastingen	
	Lange golven (deining, infragolven)	
	Lokale golfoploop	
	Validatie Ruimte voor de Rivier-programma	
<b>Bekledingen</b>		<b>30</b>
	Toelaatbaar overslagdebiet	
	Sterkte grasbekleding bij flauw talud	
	Erosiebestendigheid slib	
	Gedrag asfaltbekleding over tijd	
	Overgangen tussen harde en zachte bekleding	
<b>Duinen</b>		<b>31</b>
	Korrel diameter bij zandsuppleties	
	Gedrag na suppletie	
	Levensduur vegetatie	
	Dijk in duin/boulevard	
	Daadwerkelijke belastingen	
	Kwaliteit asfalt	
<b>Niet-Waterkerende Objecten (NWO's)</b>		<b>32</b>
	Stormschade aan bomen	
	Dwarsleidingen	

## A. Geotechniek

In deze sectie zijn de verschillende onderwerpen en kennisvragen op het gebied van geotechniek gebundeld. Deze kennisvragen zijn opgehaald tijdens de verschillende interviews en werksessies; het betreft dus geen uitputtende lijst.

### Grens tussen opdrijven en opbarsten

De grens tussen opdrijven en opbarsten wordt gelegd bij een klei- en veenlaagdikte van 4 meter. Wanneer de laag dunner is dan 4 meter zou opbarsten optreden, en bij een laag dikker dan 4 meter vindt opdrijven plaats. Hier zijn weinig gegevens over beschikbaar. Meer metingen rondom opdrijven en –barsten zouden nuttig zijn, om daarmee bestaande modellen beter te valideren. Ook zou er meer inzicht kunnen ontstaan in de omstandigheden waaronder hetzij opbarsten hetzij opdrijven plaatsvindt.

Hiervoor zijn metingen onder hoogwateromstandigheden nodig. Daarom is het noodzakelijk om over een langere periode te meten. Gekoppeld aan HWBP-projecten is dit mogelijk indien de periode tussen de beoordeling en het begin van een versterkingsproject lang genoeg is (zoals bij de Kop van de Betuwe). Ook heeft het meerwaarde om dit soort metingen op twee plekken te doen: op een plek met een dikke klei- en veenlaag (dikker dan 4 meter, ergens in het westen) en op een plek met een dunne klei- en veenlaag (dunner dan 4 meter, in het oosten van het land).

### Vervormingen van dijklichamen

Rondom het optreden van vervormingen van dijklichamen spelen ook verschillende kennisvragen. Over het algemeen is het nuttig om hieraan meer te meten. Uit een aantal uitgevoerde proeven blijkt dat de vervorming van dijken aanzienlijk kan zijn. Er wordt vooral veel gemeten aan de waterspanningen in dijken, maar eigenlijk is meer informatie nodig over de samenhang tussen veranderingen in waterspanningen en vervormingen van de dijk. Nieuwe satelliet-meettechnieken bieden hiervoor mogelijkheden, maar aan deze technieken zitten nog haken en ogen. Zo zijn deze technieken niet altijd even nauwkeurig en hangt de nauwkeurigheid ook af van de soort ondergrond (waarbij de techniek minder nauwkeurig is voor bijvoorbeeld grasbekledingen). Verder is het tot op heden lastig om op basis van satellietdata een onderscheid te maken tussen horizontale en verticale vervormingen. Bij het meten van vervormingen van de dijk is het ook belangrijk om de lokale regenval te meten; door regen kan er namelijk zwel ontstaan in de dijk.

### Sterkte van de onverzadigde zone

De onverzadigde zone raakt onder extreme omstandigheden verzadigd, en het is belangrijk om goed in te kunnen schatten hoeveel sterkte de kering onder die omstandigheden verliest. Bij Ooijen en Westervoort wordt onderzoek gedaan naar de sterkte van de onverzadigde zone. Meer metingen, op verschillende locaties, zijn nuttig om verder bij te dragen aan de kennis over de sterkte van de onverzadigde zone.

### Rekenen met ongedraineerde grond

Sinds het WBI2017 is het ook mogelijk om te rekenen met ongedraineerde grond, terwijl daarvoor altijd werd gerekend met gedraineerde grond. Bij ongedraineerde grond wordt de sterkte van de ondergrond op een andere manier berekend. Rekenen aan de sterkte van de ondergrond wanneer die tussen gedraineerd en ongedraineerd zit, is een nog openstaande kennisvraag. In zulke gevallen is het lastig om de sterkte van de grond goed te kunnen bepalen, waardoor vaak vrij conservatieve aannames worden gedaan. Meer meten en monitoren rondom deze vraag verbetert de kennis rondom de sterkte van zulke grond.

### Tijdsafhankelijkheid freatische lijn

Er is onduidelijkheid over hoe de tijdsafhankelijkheid van de ligging van de freatische lijn meegenomen moet worden in stabiliteitsberekeningen. In berekeningen wordt vaak uitgegaan



van een stationaire situatie, maar dat hoeft zeker niet altijd het geval te zijn. Dit speelt bij zeedijken, waarbij een storm vaak maar enkele uren aanhoudt. Het kan echter ook spelen bij rivierdijken, waar een hoogwater veel langer aan kan houden. Echter, wanneer het dijklichaam is opgebouwd uit water ondoorlatend materiaal (zoals klei en veen), kan de infiltratiesnelheid van het water nog steeds heel laag zijn vergeleken met de periode van hoogwater.

Het is echter moeilijk om te bepalen hoe en in hoeverre de tijdsafhankelijkheid meegenomen kan worden in berekeningen. Meer metingen zouden hierbij helpen, om te verantwoorden dat en hoe wordt afgeweken van een stationaire situatie.

### Weerstand van het voorland

Een belangrijke vraag die speelt rondom piping is hoeveel weerstand je kunt toekennen aan je voorland. Meer metingen zouden in ieder geval lokaal helpen om antwoord te geven op deze vraag. De vraag is wel in hoeverre dit soort metingen locatie specifiek zijn. In ieder geval zou de meetmethode om te komen tot een weerstand voor je voorland wel gegeneraliseerd kunnen worden. Daarnaast zou je bijvoorbeeld kunnen kijken wat de mogelijkheden zijn om een database aan te leggen en daar in combinatie met AI te kijken of je op grote schaal iets nuttigs kunt doen met deze data.

## B. Hydraulische randvoorwaarden

In deze sectie zijn de verschillende onderwerpen en kennisvragen op het gebied van hydraulische randvoorwaarden gebundeld. Deze kennisvragen zijn opgehaald tijdens de verschillende interviews en werksessies; het betreft dus geen uitputtende lijst.

Voor een uitgebreid overzicht van de belangrijkste kennisvragen voor veldmetingen over dit onderwerp verwijzen wij u naar paragraaf 2.2.11 van 'Informatiebehoefte WBI-BOI veldmetingen vanaf 2018, met focus op Wadden en IJsselmeergebied'<sup>16</sup>.

### Variatie windstatistiek in Nederland

De windstatistieken in BOI zijn gebaseerd op de gemeten wind op KNMI-landstations, in veel gevallen KNMI-Schiphol. De vertaling naar openwaterwind op een specifiek (deel van een) watersysteem is sterk onzeker en niet goed te beschrijven met de huidige modellen. Aandachtspunten zijn de globale NW-ZO-windklimaatgradiënt over Nederland, en met name kleinschalige windvariaties (0.1-10 km) door beschuttingseffecten en land-water-verschillen in zowel ruwheid als temperatuur. Er zijn meer lokale windmetingen nodig om de modelinput te verbeteren. Hierbij is zowel behoefte aan metingen tijdens extreme omstandigheden, als structurele (langjarige) meetcampagnes.

### Reguliere golfbelastingen

Rond de reguliere golfbelastingen spelen verschillende onzekerheden waarbij meten en monitoren een belangrijke rol zou kunnen spelen. In essentie zijn er drie meetdoelen te onderscheiden met betrekking tot golven:

#### 1. Aanscherping van de BOI-modelonzekerheden

Hierbij gaat het om korte-termijn-verbeteringen voor het BOI. Dit is cruciaal omdat er slechts van enkele watersystemen representatieve golfbelastingmetingen beschikbaar zijn om gebiedseigen golfmodelonzekerheden te kunnen bepalen. Van verschillende watersysteemttypen zijn er geen geschikte golfmetingen en gevalideerde modelonzekerheden beschikbaar. Dit geldt onder andere voor rivieren en smalle wateren. Hierbij ontbreekt ook een generieke methode om modelfouten bij gemeten condities op een meetpunt goed te vertalen naar een modelfout bij ontwerpcondities op een BOI-uitvoerpunt.

---

<sup>16</sup> Zie: <http://publicaties.minienm.nl/documenten/informatiebehoefte-wbi-boi-velddmetingen-vanaf-2018-met-focus-op-wadden-en-ijsselmeergebied>

## 2. Onderbouwing van alternatieve modelkeuzes/instellingen

Ook hier zouden golfmetingen bij kunnen dragen aan het faciliteren van korte-termijn-modelverbeteringen voor het BOI en HWBP. Bijvoorbeeld door het uitvoeren van een betere toets op maat, omdat er meer gebiedseigen metingen beschikbaar zijn.

## 3. Ontwikkeling van nieuwe modelfysica

Hierbij betreft het meer het ontwikkelen van proceskennis en academische toepassingen<sup>17</sup>.

### Lange golven (deining, infragolven)

Een belangrijke meetbehoefte voor de Waddendijken en mogelijk ook de estuaria ligt in de mate waarin Noordzeedeining al dan niet de vastelandsdijken bereikt. Meer meten monitoren zou hier kunnen bijdragen aan modelvalidatie, het genereren van statistiek en het ontwikkelen van proceskennis.

Ook nog langere golven (infragolven) lijken een significante rol te spelen bij duinen en zeedijken. Bij de estuaria en Noord-Nederlandse vastelandsdijken kan het belang van deze golven via metingen wellicht juist uitgesloten worden. Bij infragolven is het essentieel ook de golfrichting te meten, en daarmee inkomende en reflecterende golven (en lokale vs. niet-lokale golven) te scheiden.

### Lokale golfploop

Golfbelastingen zijn ruimtelijk sterk variabel en het is onmogelijk tegelijk metingen uit te voeren voor alle relevante locaties of zelfs maar gebieden. Goed vastgelegde golfploopschattingen via veekrandmetingen vormen een essentiële bron van aanvullende proxy-informatie. In onbemeten gebieden kunnen visuele golfwaarnemingen grote waarde hebben.

In de golfploop- en golfoverslagformules zijn meerdere aanscherpingen mogelijk waar veldmetingen een belangrijke rol kunnen vervullen:

- Oploop/overslag reducerend effect van ondiepe voorlanden, zowel voor vlakke als hellende bodem
- Combinatie van meerdere oploopreducerende factoren (ruwheid, bermen, ondiep voorland, schuine golfinval) met name bij inkomende golven kleiner dan één tot anderhalve meter.
- En voor een aantal specifieke gevallen: oploop/overslag bij zeer schuin invallende golven

Veldmetingen zijn cruciaal omdat het vermoeden bestaat dat golfgootmetingen mogelijk niet representatief zijn voor veldcondities. Dit als gevolg van verschillen tussen kortkammige in-situ-golven en veelal langkammige gootgolven, die ook kunnen doorwerken in zaken als lange golven en golfopzet.

### Validatie Ruimte voor de Rivier-programma

Als onderdeel van het Ruimte voor de Rivier-programma zijn maatregelen genomen om de waterstand in rivieren te verlagen. Over het effect van deze maatregelen bestaat nog de nodige onzekerheid. Meer meten en monitoren zou nuttig zijn om deze effecten beter in kaart te brengen.

---

<sup>17</sup> Voor details, zie: paragraaf 2.2.11 van 'Informatiebehoefte WBI-BOI veldmetingen vanaf 2018, met focus op Wadden en IJsselmeergebied'

Een belangrijk meetdoel blijkt uit de onderzoeken van Twijnstra et al. (2020) en van Berends (2019)<sup>18</sup>. Dit betreft het verkrijgen van kennis over de afvoer door de uiterwaarden. Het zou daarom nuttig zijn om meer afvoermetingen te doen, zowel in de buurt van splitsingspunten als in de buurt van reguliere meetpunten (waar de waterstand wordt gemeten). Als de afvoer op deze punten beter bekend is, kan de afvoerverdeling over de splitsingspunten beter worden ingeschat (Twijnstra et al. 2020). Ook kunnen zo de bestaande modellen nauwkeuriger worden gekalibreerd. In de huidige modellen is equifinaliteit nog een probleem, waarbij het niet zeker is dat de verhouding tussen de waterstanden en de afvoercapaciteit van de hoofdgeul in de modellen kloppen.

Een ander punt is dat de ruimtelijke resolutie van de reguliere waterstandsmetingen erg groot is. Om de effecten van de Ruimte voor de Rivier-maatregelen beter in kaart te brengen, zouden de waterstanden op meer punten gemeten moeten worden (met eenzelfde tijdsresolutie).

Daarnaast kan op enkele essentiële plekken (bijvoorbeeld rondom Nijmegen) de waterstand op twee punten dicht bij elkaar worden gemeten. Door dergelijke metingen kan het verloop van het waterstandsverhang in de tijd bepaald worden, wat een belangrijke onbekende is in de ruwheidsbepaling.

### C. Bekledingen

In deze sectie zijn de verschillende onderwerpen en kennisvragen op het gebied van de bekleding van waterkeringen gebundeld. Deze kennisvragen zijn opgehaald tijdens de verschillende interviews en werksessies; het betreft dus geen uitputtende lijst.

#### Toelaatbaar overslagdebiet

Op dit moment wordt de sterkte van de grasmat op het binnentalud van een dijk uitgedrukt in een kritiek overslagdebiet. Hier zit onzekerheid in omdat niet duidelijk is hoe sterk een binnentalud precies is. Ook hoeft het bezwijken van een grasmat nog niet direct tot een dijkdoorbraak en overstroming te leiden.

De sterkte van grasbekledingen zou gemodelleerd kunnen worden op basis van de recentere en nauwkeurigere cumulatieve overbelastingbenadering. Ook is behoefte aan onderzoek naar erosie in relatie tot overslag aan de binnenzijde van het talud. Mogelijk is de kans op overstroming nog steeds klein, zelfs bij het overslagdebiet waarbij de bekleding bezwijkt.

De volgende thema's en vragen zijn in zulk onderzoek van belang:

- De tijdsafhankelijkheid van de erosie. Hoe snel verloopt de erosie en hoe verhoudt die tijd zich tot de gemiddelde stormduur?
- De taludhelling in relatie tot de erosie. Hoe hangt de erosie af van de helling van het binnentalud?
- De breedte van de kruin, hoe verhoudt deze zich tot de stroomsnelheid op het binnentalud?
- De relatie tussen erosie aan het binnentalud en de klei- en graskwaliteit.

Tot slot zou het interessant zijn om te onderzoeken of bij NWO's hogere overslagdebieten toelaatbaar zijn.

---

<sup>18</sup> Berends, K.D. (2019) Human intervention in rivers: quantifying the uncertainty of hydraulic model predictions. PhD-thesis UTwente

JJ Twijnstra, MRA Gensen, JJ Warmink, F Huthoff, G Horn, S.J.M.H. Hulscher (2020) A systematic error in the water balance of the Dutch river Rhine. NCR Days 2020: Managing changing rivers, 84-85

### Sterkte grasbekleding bij flauw talud

Bij bredere dijken valt het flauwe talud (1:7) buiten de bestaande rekenregels. Daardoor worden er in de huidige berekeningen vaak conservatieve aannames gedaan. Het vermoeden is dat gras in dit soort gevallen meer sterkte heeft dan wordt toegekend. Dat is onder andere gebaseerd op het gegeven dat dit soort keringen in andere landen (bijv. Duitsland) worden toegepast en daar veel sterker lijken te zijn dan wordt bepaald met de Nederlandse rekenmethoden.

### Erosiebestendigheid slib

Dit onderwerp haakt aan bij de POV-DGG (Dijkversterking Gebiedseigen Grond). Er is een teveel aan slib in de Eems-Dollard, en het zou daarom interessant zijn om te kijken of dit materiaal ook gebruikt kan worden voor een dijkversterking. Er is echter onzekerheid over de erosiebestendigheid en slijtvastheid van dit materiaal. Meer metingen zouden hier heel nuttig kunnen zijn. Daarbij speelt wel een belangrijke uitdaging hoe dit precies gemeten of bemonsterd moet worden.

### Gedrag asfaltbekleding over tijd

Er zijn normen beschikbaar om de ouderdom van de asfaltbekleding mee te nemen in de beoordeling. Toch blijkt dat asfaltbekleding zich na een tijd (~25 jaar) anders gedraagt dan verwacht. Het zou nuttig zijn om onderzoek uit te voeren bij oudere dijken met asfaltbekleding, om meer te weten te komen over het gedrag van asfalt over de tijd. Op die manier zou er meer zekerheid kunnen komen rondom de degradatiecurve van asfaltbekleding.

### Overgangen tussen harde en zachte bekleding

De overgang tussen harde en zacht bekleding (bijvoorbeeld tussen een fietspad en de grasbekleding) is vaak de meest kwetsbare plek in de bekleding. Deze plekken zullen als eerste bezwijken, maar dat betekent niet dat de dijk dan faalt. Een belangrijke vraag hierbij is hoeveel reststerkte er aanwezig is, die meegenomen kan worden in de beoordeling en het ontwerp. Het zou nuttig zijn om in overslagproeven te kijken naar een aantal karakteristieke overgangen en te kijken of je op basis van de metingen empirische relaties kunt afleiden.

## D. Duinen

In deze sectie zijn de verschillende onderwerpen en kennisvragen op het gebied van duinen gebundeld. Deze kennisvragen zijn opgehaald tijdens de verschillende interviews en werksessies; het betreft dus geen uitputtende lijst.

### Korrel diameter bij zandsuppleties

Er spelen verschillende kennisvragen rondom de korrel diameter bij zandsuppleties, die (gedeeltelijk) met meten en monitoren kunnen worden beantwoord. Ten eerste speelt de vraag wat de optimale hellingshoek is van een zandsuppleties bij verschillende korrel diameters, en hoe dat eventueel verschilt voor rond en scherp zand.

Berekeningen aan zandsuppleties worden uitgevoerd met het programma Morfan. Met dit programma is het niet mogelijk om met meerdere korrel diameters te rekenen. Daarom wordt er gerekend met één korrel diameter voor het gehele zandpakket. Er bestaat onzekerheid over hoe realistisch dit is. Meer metingen en monitoring zou hierin meer inzicht kunnen verschaffen.

### Gedrag na suppletie

Een andere vraag die speelt is hoe snel een gebied terugkeert naar de staat van voor de suppletie. Het zou nuttig zijn om op een aantal locaties meetcampagnes in te richten om hier meer kennis over te vergaren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan Den Helder, Texel en de Hondsbossche Duinen. Deze kennis is waardevol voor beheer en onderhoud. Hierbij kan verbinding gezocht worden met het Zandmotor-project.

### Levensduur vegetatie

Vegetatie wordt ingezet voor het vergroten van de waterveiligheid. Dit leidt tot de vraag wat de levensduur van deze vegetatie precies is. Bijvoorbeeld bij de Prins Hendrikzanddijk, waar de levensduur zou kunnen tegenvallen, of meevallen. Er is behoefte om tijdens het ontwerp al een scherper beeld hebben van de bandbreedte. Zo kan geanticipeerd worden op een tegenvallende levensduur, bijvoorbeeld door ingrepen met helmgras.

### Dijk in duin/boulevard

Er zijn een aantal plekken in Nederland waarbij een dijk in een duin ligt. Op deze plekken ligt meestal een duin rondom een oudere dijk. Bij de berekeningen van deze dijk-duincombinatie, wordt alleen gekeken naar de sterkte van de duin. Het zou interessant zijn om te kijken wat de functie de dijk is.

Een tweede uitdaging op het gebied van zulke combinaties is het correct modelleren van de afslag en overslag. De uitkomsten van de twee modellen die hiervoor gebruikt worden (XBeach en Durosta) verschillen. Het verklaren van dit verschil is nuttig om tot een meer realistische ontwerp en beoordeling te komen. Hiervoor kan bijvoorbeeld het duinprofiel gemeten worden na een storm.

### Daadwerkelijke belastingen

De lokale belastingen op de duinen moeten vaak apart worden uitgerekend, waarbij een 'vertaling' nodig is van diep naar ondiep water. Daar zitten grote onzekerheden in, waardoor de belastingen op de duinen vaak onzeker zijn. Dit vertaalt zich in een instabiele scope. Meer metingen en monitoring die erop is gericht om reële lokale randvoorwaarden te kunnen bepalen zou daarom nuttig zijn. Vooral het meten van golffrequentie is daarbij heel belangrijk, omdat er een vermoeden bestaat dat lange golven een belangrijke rol spelen bij duinafslag.

### Kwaliteit asfalt

Een belangrijke kennisvraag op het gebied van asfalt is hoe de kwaliteit van asfalt onder een laag zand (dus in de duinen) zich ontwikkelt over de tijd. Deze vraag speelt op een groot aantal plekken langs de kust, zoals bij de Kop van Schouwen, de Kop van Texel, Katwijk, de Veerse dam en de Brouwersdam.

## **E. Niet-Waterkerende Objecten (NWO's)**

Veel kennisvragen omtrent NWO's kunnen niet direct kunnen worden opgelost door meet- en monitoringscampagnes zoals voorgesteld in dit rapport. Dit komt door de grote verscheidenheid aan typen NWO's, wat per geval leidt tot een ander type kennisvraag op locatie. De voornaamste uitdaging van NWO's tijdens de beoordeling zit in het bepalen van de locatie en de staat van het object. Er zijn echter wel een aantal kansen voor meten en monitoren genoemd.

### Stormschade aan bomen

Bijvoorbeeld het beter monitoren van stormschade bij bomen. Er is weinig data beschikbaar over de impact van stormen op bomen. Voor waterveiligheid is het relevant om te weten of een boom afbreekt, of omwaait (en dus een deel dijktraject meetrekt). Dit is onder andere afhankelijk van het type boom en diens gezondheid. Onlinedatabases met de locatie van bomen zijn beschikbaar (bijvoorbeeld gemeenteregisters of de bomenmonitor). De koppeling van deze data met stormdata mist. Zo zou het bijvoorbeeld nuttig zijn om na een storm goed te documenteren welke bomen zijn omgewaaid en wat de stormcondities waren (bijvoorbeeld de windkracht en de stormduur).

### Dwarsleidingen

Een andere kennisvraag betreft het effect van een verschil in belasting bij een dwarsleiding die zowel door het achterland en de kering loopt. Een verschil in belasting kan in de loop van de tijd opgebouwd worden door een verschilzetting langs de leiding, bijvoorbeeld wanneer de zetting rond het dijklichaam groter is dan in het achterland. Dit leidt tot spanningen in de leiding. Meer meten en monitoren hieraan zou nuttig zijn. Hierbij is samenwerking met de leidingbeheerder nodig.