



Informatie Kwaliteitsmodel

RAPPORTAGE FASE 3 ROBAMCI

Status:	Definitief	
Datum:	10-07-2018	
Auteurs:	J. G. Rinsema	(BZ Ingenieurs & Managers)
	N. Pals	(BZ Ingenieurs & Managers)
	W. S. Zomer	(BZ Ingenieurs & Managers)
Review:	H. Korving	(Deltares)
	W. J. Klerk	(Deltares)



BZ Ingenieurs & Managers

ROBAMCI

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
1 Inleiding	2
1.1 Aanleiding	2
1.2 Achtergrond	2
1.3 Doelstelling	4
1.4 Leeswijzer	5
2 Data Kwaliteitsmodel	6
2.1 Processchema	6
2.2 Stap 1: Vaststellen relevante variabele	7
2.3 Stap 2: Beschikbaarheid gegevens	7
2.4 Stap 3: visualiseer en kwantificeer data	8
2.5 Stap 4: Kwaliteitsoordeel	12
2.6 Stap 5: Expert judgement	17
2.7 Stap 6: kwantificeer onzekerheid	18
3 Informatie Kwaliteitsmodel	19
3.1 Probabilistische Toolkit	19
3.2 Alternatieve strategieën	21
3.3 Kosten-baten analyse	23
4 Cases	26
4.1 Case I: Waterschap Noorderzijlvest	26
4.2 Case II: Regionale kering Hoogheemraadschap Rijnland	27
4.3 Case III: Baggeren Waterschap Hollandse Delta	29
5 Discussie	30
6 Conclusie en vervolg	31
6.1 Conclusie	31
6.2 Vervolg	32
7 Bibliografie	34
Bijlage I: Framework Dijk informatie	0
Bijlage II: Faalmechanismen met fysische modellen en parameterlijst	2
Bijlage III: DDSC data Noorderzijlvest	4
Bijlage IV: Regionale case Rijnland	15

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het ROBAMCI-programma ('Risk and Opportunity Based Asset Management for Critical Infrastructures') richt zich op het ontwikkelen van de tools en technieken, en heeft als doelstelling om methoden, tools en best practices te genereren die de implementatie van kwantitatief onderbouwd asset management mogelijk maken.

Het kwantitatief onderbouwen van asset management wordt vaak gebaseerd op informatie afkomstig uit data. Voor een goed onderbouwde beslissing is dus kwalitatief goede data van belang. Het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM) is ontwikkeld om te kunnen beoordelen of de data kwalitatief goed genoeg is om een onderbouwde beslissing op te baseren.

De achtergrond van het IKM is ontworpen in fase 1 van ROBAMCI en nader beschreven in Klerk et al. (2015). In fase 2 is het IKM verder geconcretiseerd in een stappenplan en tevens is het conceptuele model toegepast op de case baggeren (van Stokkum, Pals, & Zomer, 2017). Helaas was het IKM voor deze specifieke case nog niet van veel toegevoegde waarde. Dit rapport is het resultaat van fase 3, waarin het IKM verder is ontwikkeld aan de hand van ervaringen uit cases.

1.2 Achtergrond

1.2.1 Begrippenlijst

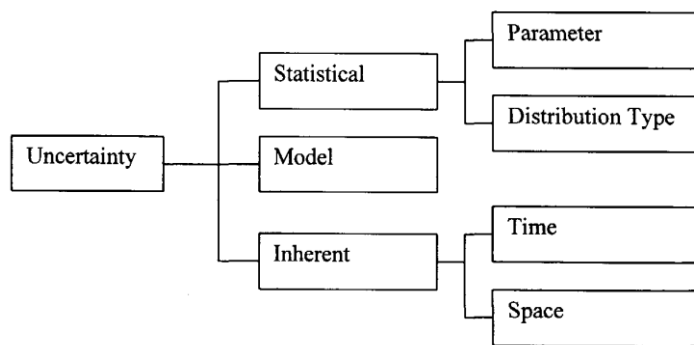
Om verwarring in de terminologie te voorkomen geven we nu eerst de door ons gehanteerde definities van een aantal belangrijke begrippen (van Stokkum, Pals, & Zomer, 2017):

- Gegevens: algemene benaming voor data en informatie
- Data: ruwe getallen, meetresultaten, cijferreeksen, etc.
- Informatie: data waaraan door bewerking betekenis is toegekend
- Waarneming: Het bepalen van de waarde van een variabele middels een meting (in de breedste zin) of expertschatting.
- Onzekerheid: de precieze waarde van een variabele is niet bekend. Er is een range van waarden die voorkomen

1.2.2 Onzekerheid

Het IKM wordt toegepast om inzicht te krijgen in de onzekerheid die bestaat in de prestatie van de asset. De prestatie van de asset wordt voor bijvoorbeeld het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts (waterveiligheid) uitgedrukt in een veiligheidsfactor welke weer een maat is voor de faalkans van de kering.

In het veld worden gegevens ingewonnen om het systeem te kunnen beschrijven. In het veld ingewonnen data bevat onzekerheid. In de literatuur is veel te vinden over onzekerheid zoals bijvoorbeeld voor waterkeringen specifiek beschreven in Chbab & van Noortwijk (2002). Van Gelder (2000) geeft een accurate beschrijving voor de realiteit in civiele (en geotechnische) projecten. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen statistische, model en inherente onzekerheid.



Figuur 1 Classificatie onzekerheid Van Gelder (Van Gelder, 2000)

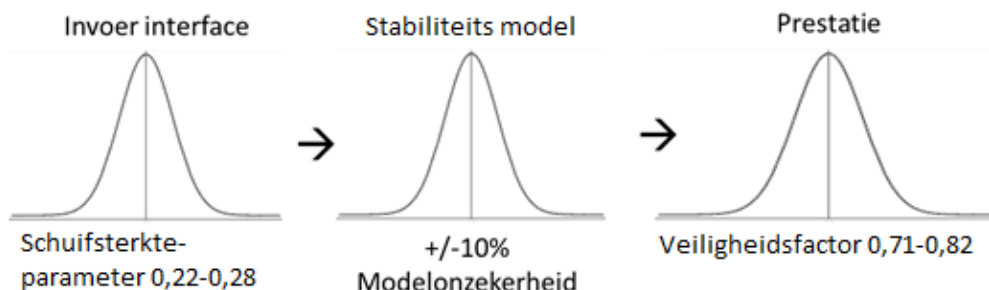
Onder statistische onzekerheid wordt de vertaling van de data naar een parameter, inclusief distributie type. Deze onzekerheid wordt in het proces van de ROBAMCI tooling meegenomen in de Probabilistische Toolbox (zie paragraaf 3.1.).

De modelonzekerheid bevat veel aspecten die niet zijn uitgewerkt door Van Gelder (2000). Onderdeel van deze onzekerheid is de aannames die expliciet en impliciet door het model zijn gemaakt. Modelonzekerheid kan nog verder worden onderverdeeld in modelstructuur onzekerheid en modelparameter onzekerheid (Willems, 2000; Korving, 2004). Bij het kalibreren van een model worden parameters aangepast om de om de uitkomst te fitten op de referentiedata. Door de kalibratie kan het voorkomen dat de parameters geen fysische betekenis meer hebben, maar alleen een waarde hebben zodat de resultaten goed passen.

Voor zowel modelstructuur als modelparameter onzekerheid is het goed om te realiseren dat ze aanwezig zijn in het gebruik van de PTK in combinatie met een fysisch model. Het is echter lastig, zo niet onmogelijk, om de geïntroduceerde modelonzekerheid te kwantificeren.

Als laatste is de inherente onzekerheid benoemd in Figuur 1. Dit is de onzekerheid die centraal staat in het datakwaliteitsmodel. De onzekerheid kan variëren in tijd en locatie. Zo is seizoensvariatie van bijvoorbeeld stijghoogte een variatie die in de tijd inherent aanwezig is. De variatie van sterkteparameters over een dijkstrekking is een voorbeeld van variatie die inherent in de ruimte aanwezig is.

De prestatie van de asset wordt gebaseerd op ingewonnen data waar al deze onzekerheid in verweven zit. De statistische-, model- en inherente onzekerheid geeft dus een onzekerheid in de prestatie van de asset. Figuur 2 geeft de doorwerking van deze onzekerheid richting de prestatie grafisch weer.



Figuur 2 Voorbeeld van invloed van onzekerheid in prestatie (afkomstig uit de baggercase fase 2)

Binnen de levenscyclus worden beslissingen ten aanzien van de asset gebaseerd op de resultaten van de data, inclusief de benoemde onzekerheid. De kwaliteit van de beslissing is daarmee mede afhankelijk van de onzekerheid in de data. Het data kwaliteitsmodel (DKM) en het informatie

kwaliteitsmodel zijn ontwikkeld om de invloed van de kwaliteit van de data inzichtelijk te maken voor de uiteindelijke beslissing voor de asset (bijv. versterken of niet).

1.2.3 Data vs. informatie

In het huidige rapport wordt onderscheid gemaakt tussen datakwaliteit en informatiekwaliteit. Hierbij ligt informatiekwaliteit in het verlengde van datakwaliteit. Uit goede kwaliteit data kan namelijk goede informatie worden verkregen. Het tegenovergestelde geldt ook. Het datakwaliteitsmodel is ontwikkeld om de onzekerheid van de data inzichtelijk te maken. Het informatie kwaliteitsmodel is ontwikkeld om de invloed van de datakwaliteit op de beschikbare informatie en uiteindelijke beslissing inzichtelijk te maken.

1.3 Doelstelling

ROBAMCI is opgedeeld in meerdere fasen. De huidige rapportage is het resultaat van fase 3. In fase 1 is de functie van het IKM afgebakend. Vervolgens is in fase 2 een eerste aanzet gegeven voor het IKM. Voor fase 3 van de ontwikkeling van het IKM is de volgende doelstelling geformuleerd:

‘Een goed onderbouwde werkwijze waarbij het begrip informatiekwaliteit en de consequenties voor besluitvorming zoveel mogelijk worden geobjectiveerd en gekwantificeerd.’

Voor de huidige rapportage zijn onderzoeksvragen gesteld ten aanzien van de ontwikkeling van het IKM als de besluitvorming. Ten aanzien van het IKM zijn de volgende doelen gesteld:

C.1. Het IKM is tenminste een generalisatie van de case waterkeringen uit ROBAMCI fase 1. Waar nodig wordt het voor andere (typen) casussen aangevuld.

C.2. De gegeneraliseerde aanpak wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen. Hiervoor zijn de casussen ‘Risk based inspection, Oesterdam’ en ‘Regionaal systeem, Rijnland’ gekozen.

C.3. Met het IKM moeten tenminste de volgende vragen beantwoord kunnen worden:

- Helpt monitoring bij de besluitvorming?
- Wat zijn de belangrijkste stochasten?
- Is er voldoende data beschikbaar?
- Welke gegevens moeten aanvullend verzameld worden?
- Welke kwaliteit van data is vereist?
- Met welke kwaliteit kan er gemeten worden?
- Hoe moet worden omgegaan met onvolledige datasets?

C.4. Het IKM helpt asset managers bij de beoordeling van de kwaliteit van de beschikbare data.

C.5. De procesaanpak draagt bij aan de bewustwording van asset managers over de invloed van informatiebeschikbaarheid en -kwaliteit op de besluitvorming.

C.6. Het proof of concept van het IKM wordt zo goed mogelijk aangesloten op de bruikbaarheid in samenhang met de overige tools die zijn ontwikkeld binnen ROBAMCI. Dit moet zichtbaar worden gemaakt in een voorbeeld.

C.7. De rol van het IKM binnen de ontwikkelde tools van ROBAMCI is duidelijk/eenduidig gedefinieerd.

Kosten-batenanalyse in IKM

D.1. De kosten-batenanalyse is een geïnstrumenteerd onderdeel van het IKM. D.w.z. dat aan de bepaling van kosten en baten en afwegingen daarover kwantitatieve invulling gegeven wordt.

D.2. De kosten-batenanalyse in het IKM helpt asset managers bij keuzes omtrent het verzamelen van aanvullende data.

D.3. De kosten-batenanalyse wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen (bij voorkeur dezelfde als bij Proof of concept IKM).

Proof of concept combineren expert kennis en data

E.1. Het proof of concept laat zien wat de meerwaarde is van combineren van expertmeningen en data voor besluitvorming over asset management.

E.2. Het proof of concept wordt uitgewerkt voor 1 casus.

E.3. Het proof of concept sluit goed aan bij de andere onderdelen van het IKM.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het DKM inclusief bijbehorend processchema doorlopen. In hoofdstuk 3 wordt de samenhang met andere ROBAMCI Tools benoemd en tevens wordt aangegeven welke vervolgstappen mogelijk zijn. Binnen ROBAMCI wordt het IKM reeds in een aantal casussen toegepast. In hoofdstuk 4 worden de ervaringen met het IKM vanuit deze casussen samengevat. Als laatste worden in hoofdstuk 5 de discussiepunten benoemd en de conclusie en aanbeveling voor een vervolg in hoofdstuk 6.

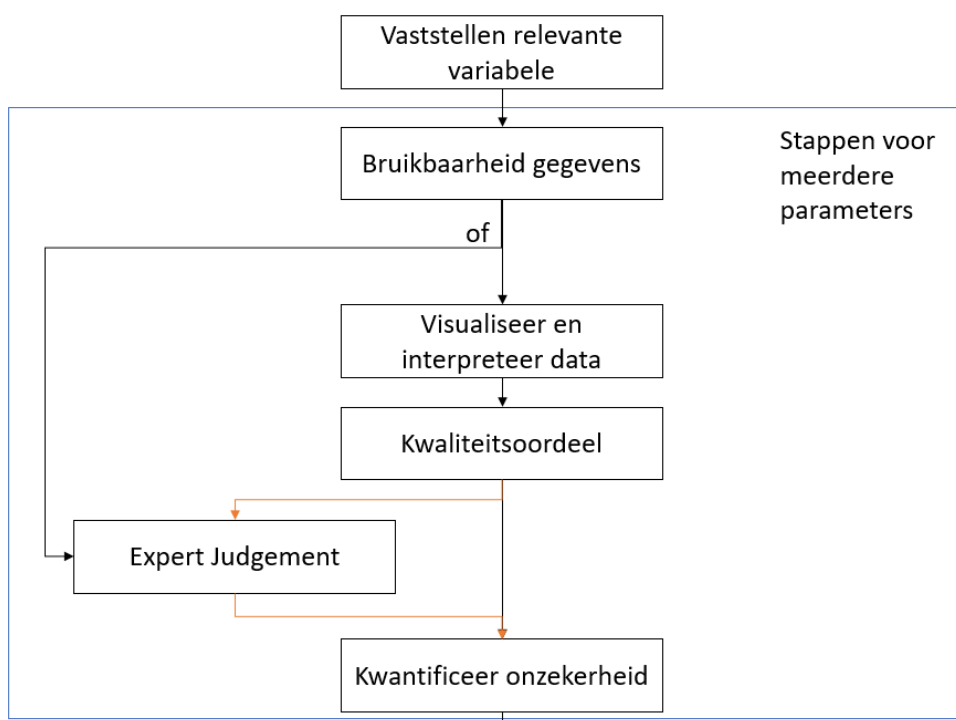
2 Data Kwaliteitsmodel

In dit hoofdstuk wordt het Data Kwaliteitsmodel (DKM) doorlopen. In de eerste paragraaf wordt het processchema uitgelegd. In de aanvullende paragrafen worden de verschillende stappen in meer detail behandeld.

2.1 Processchema

Binnen het DKM wordt de data op een systematische manier beoordeeld en van een kwaliteitsoordeel voorzien. Het DKM is in 6 stappen opgedeeld waarin tot een kwaliteitsoordeel wordt gekomen.

Indien de prestatie van de asset wordt bepaald door meerdere parameters, zoals reeds aangegeven in paragraaf 2.3., wordt stap 2 t/m 6 voor elke parameter doorlopen. De parameters gezamenlijk vormen de input van de Probabilistic Toolkit (PTK, zie hoofdstuk 3). Het stappen van het DKM zijn geschematiseerd in Figuur 3.



Figuur 3 Processtappen DKM

Stap 1 is het vaststellen van de relevante variabele. De relevante variabelen zijn afhankelijk van de vraag die voor ligt. Per proces dat wordt beschreven, zoals bijvoorbeeld de sterkte van een waterkering, kunnen meerdere parameters worden gekozen waar met behulp van het DKM een kwaliteitsoordeel over wordt gegeven.

In **stap 2** wordt per variabele beoordeeld of er bruikbare data aanwezig is. Als er geen data aanwezig is wordt met behulp van expert judgement een inschatting gegeven van de parameterwaarde en bijbehorende bandbreedte. Als er wel voldoende data aanwezig is wordt verder gegaan met stap 3.

In **stap 3** wordt de data gevisualiseerd en een interpretatie gegeven van het proces dat wordt beschreven door de (parameter)data. De data wordt gevisualiseerd met behulp van een aantal simpele methoden.

In **stap 4** wordt vervolgens een kwaliteitsoordeel van 1 tot 5 sterren gegeven op basis van 5 beschreven criteria. Deze criteria zijn beschikbaarheid van de data (volledige tijdreeks aanwezig in, of samen te

stellen uit beschikbare data), uitschieters, validatiemogelijkheid, ruimtelijke verdeling van meetpunten en de kwaliteit van de meetmethode. De onderbouwing van het kwaliteitsoordeel wordt gedaan met behulp van de visualisatie.

Stap 5 wordt doorlopen indien er geen bruikbare data beschikbaar is, of indien de data van onvoldoende kwaliteit is. Bij een kwaliteitsoordeel van 1, 2 of 3 sterren wordt expert judgment gebruikt om de conclusie op basis van de data te onderbouwen. De onderbouwing van het kwaliteitsoordeel is gegeven in Tabel 2 (paragraaf 2.6).

In **stap 6** wordt de input onzekerheid van de beschouwde parameter gekwantificeerd, wat tevens de input van de PTK betreft. De methode waarmee de onzekerheid wordt beschreven hangt af van het kwaliteitsoordeel, zoals is samengevat in Tabel 3 (paragraaf 2.6). Met behulp van de PTK wordt vervolgens de prestatie van de asset bepaald, inclusief bandbreedte veroorzaakt door de onzekerheid in de data.

In de volgende paragrafen worden de stappen uitgebreider beschreven.

2.2 Stap 1: Vaststellen relevante variabele

Hier gaat het om het inventariseren van de variabelen die naar verwachting de meeste invloed hebben op de prestatie van de asset. Daarbij moet vooraf bedacht worden welke invloed de gemeten variabele heeft en of relevante omstandigheden gemeten zijn. Dit is nodig vooraf een inschatting te kunnen maken of van de data relevante data gemaakt kan worden. Tevens is het raadzaam op voorhand de onderlinge afhankelijkheden van de relevante variabelen te inventariseren.

Voor bijvoorbeeld een beoordeling voor het faalmechanisme piping wordt zowel na de maatgevende korrelgrootte (d70) als de doorlatendheid van de watervoerende zandlaag gekeken (Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016). De doorlatendheid deels afhankelijk van de d70, omdat de korrelgrootte bepalend is voor de doorlatendheid van de zandlaag. Er zijn echter meerdere factoren van invloed op de doorlatendheid zoals de geologie van de zandlaag en de dikte van de watervoerende zandlaag.

Door beide parameters te beschrijven met het IKM wordt de onzekerheid van het relevante fysieke mechanisme (de vertaling van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag) wellicht overschat. Door slechts een van de parameters mee te nemen, ontstaan wellicht onrealistische situaties. Deze onrealistische situatie resulteren vervolgens in een onzekerheid die onterecht is.

Het is situatieafhankelijk wat als beste oplossing is, het beschrijven van een of beide parameters met het IKM.

Voor beide parameters worden stappen 2 t/m 6 doorlopen. Bij het definiëren van de input van de PTK in stap 6 wordt tevens deze onderlinge afhankelijkheid gedefinieerd.

2.3 Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

De relevante variabele wordt beschreven met behulp van data, zoals bijvoorbeeld de gemeten waterspanning in de LiveDijk XL. Als de relevante variabele is vastgesteld, wordt bijbehorende data opgezocht of ingewonnen die deze variabele beschrijft. Deze data moet in het juiste formaat beschikbaar zijn, waardoor de data bruikbaar is voor het vervolg.

De levenscyclus van een waterkering kent meerdere fasen: beheer en onderhoud, beoordelen en versterken/uitvoeren (Koelewijn van der Meer, 2017). Na de uitvoeringsfase komt de asset weer in de beheerfase terecht. Binnen deze fasen wordt er op verschillende manieren data ingewonnen. Zo kunnen er visuele inspectierapporten zijn, stijghoogtemetingen van een (vaste) peilbuis of

vlakdekkende data. Tevens zijn er beheerders die ervaring hebben die niet direct in rapporten staat vastgelegd.

Alle beschikbare data draagt idealiter bij aan de beslissing die uiteindelijk genomen wordt. Daarom is in principe elk datatype geschikt voor het IKM. Mogelijke typen data zijn:

- Gemeten variabele in tijd op een vaste locatie
- Gemeten variabele in tijd op een dynamische locatie
- Kwalitatieve data in tijd (visuele inspectie)
- Beheerderskennis ('expert judgment')

Het IKM is gericht op het beschrijven van de gemeten variabelen. Kwalitatieve data kan gebruikt worden in het IKM indien het met behulp van classificaties kan worden beschreven op een glijdende schaal (bijvoorbeeld 1-5, waarbij 1 heel slecht is en 5 heel goed).

Indien er niet voldoende gegevens beschikbaar zijn of de data niet in een bruikbaar format aanwezig is, wordt stap 3 overgeslagen en wordt aanvullende data verzameld door middel van expert judgement.

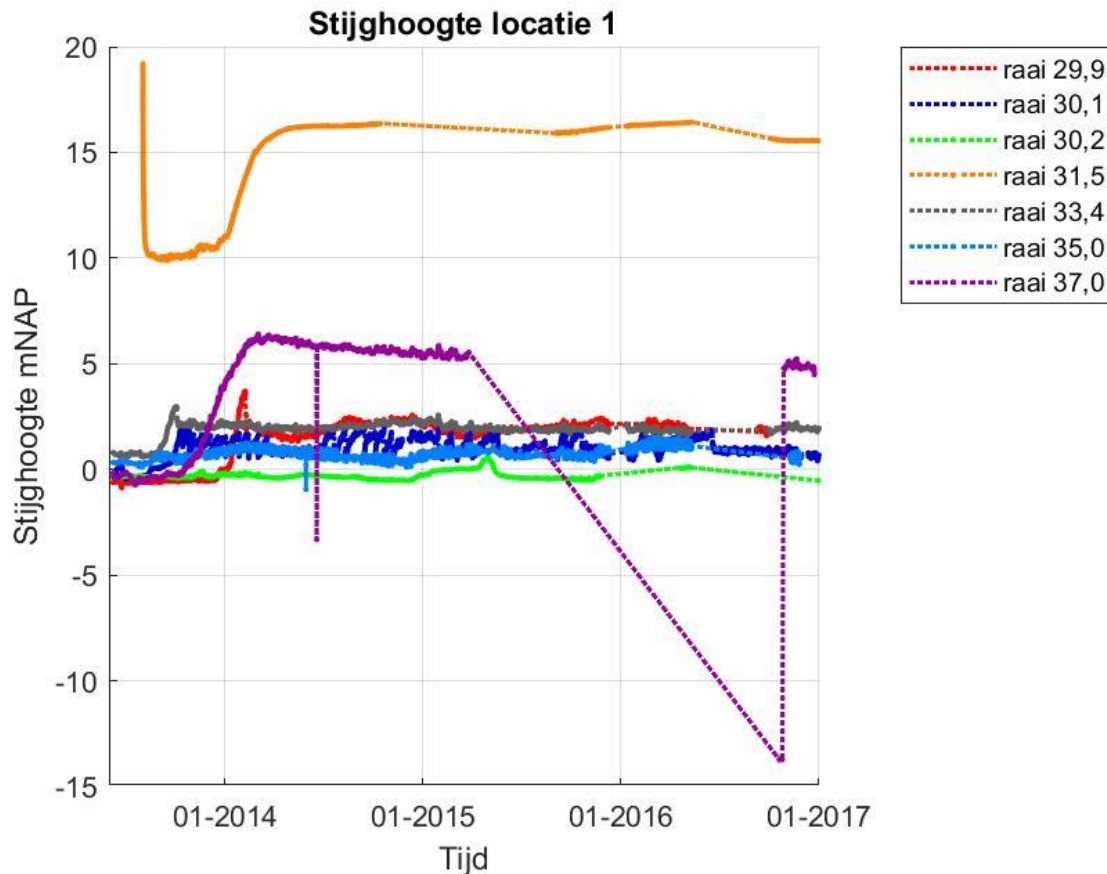
2.4 Stap 3: visualiseer en kwantificeer data

De bruikbare data wordt gevisualiseerd om een indruk te krijgen van de kwaliteit van de data. De visualisatie van de data resulteert in een eerste kwantificering van de kwaliteit van de data. Om tot een goede kwantificering te komen van de data, zijn er drie fasen onderscheiden.

2.4.1 Stap 3A: filter uitschieters

De eerste stap is het filteren van datapunten die ongeloofwaardig zijn. Deze datapunten vertekenen de prestatie van het systeem en kunnen leiden tot verkeerde interpretatie of conclusie. Het filteren van ongeloofwaardige datapunten wordt voornamelijk gedaan op basis van ervaring samen met grafieken van de ruwe data.

Door de ruwe data te plotten wordt direct een eerste indruk van de data verkregen. Opvallende patronen, onrealistische waarden, onrealistische patronen en tijdstippen zonder data zijn direct te zien in de grafiek. Een voorbeeld van een grafiek van de ruwe data is te zien in Figuur 4.



Figuur 4 Ruwe stijghoogte data DDSC

Het filteren van de dataset gebeurt niet alleen op basis van opvallende patronen. De data wordt tevens geïnterpreteerd (met behulp van aanvullende informatie) om onrealistische waarden te kunnen filteren. Op basis van de ruwe stijghoogtedata van het DDSC is al te zien dat de informatie van raai 31,5 twijfelachtig is. Een stijghoogte hoger dan NAP 10 meter bij een primaire kering met een kruin van ongeveer NAP 9 meter is onwaarschijnlijk.

Bij grote hoeveelheden datasets is het lastiger om opvallende patronen te ontdekken op basis van grafieken van de hele datareeks. Desondanks wordt verwacht dat grote afwijkingen te zien zijn op basis van visualisatie. Om grote hoeveelheden data inzichtelijk te maken kan de dataset handzamer gemaakt worden door de dataset in meerdere series op te knippen.

2.4.2 Stap 3B: Visualisatie data

Naast de visualisatie zijn er een aantal aanvullende voorbeeldtechnieken waarmee de data nader geanalyseerd kan worden. De bedoeling van de methoden is om gevoel te krijgen voor de data waarbij tevens een beeld van de kwaliteit van de data wordt verkregen. Gedraagt het systeem zich zoals ik verwacht? Zijn er waarnemingen op belangrijke momenten?

Onderstaande voorbeelden zijn geen afgebakende methoden, maar manieren om op een snelle en simpele manier een goede indruk te krijgen van de kwaliteit en waarde van de data. Het is belangrijk om altijd na te denken of de toegepaste methode geschikt is voor de data die wordt beoordeeld.

Piekdata

Voor een dataset met een hoge tijdsdichtheid (bijvoorbeeld een elk kwartier een meetwaarde) is een bruikbare methode om de piek in de dataset op te zoeken. Door meer op de data in te zoomen worden

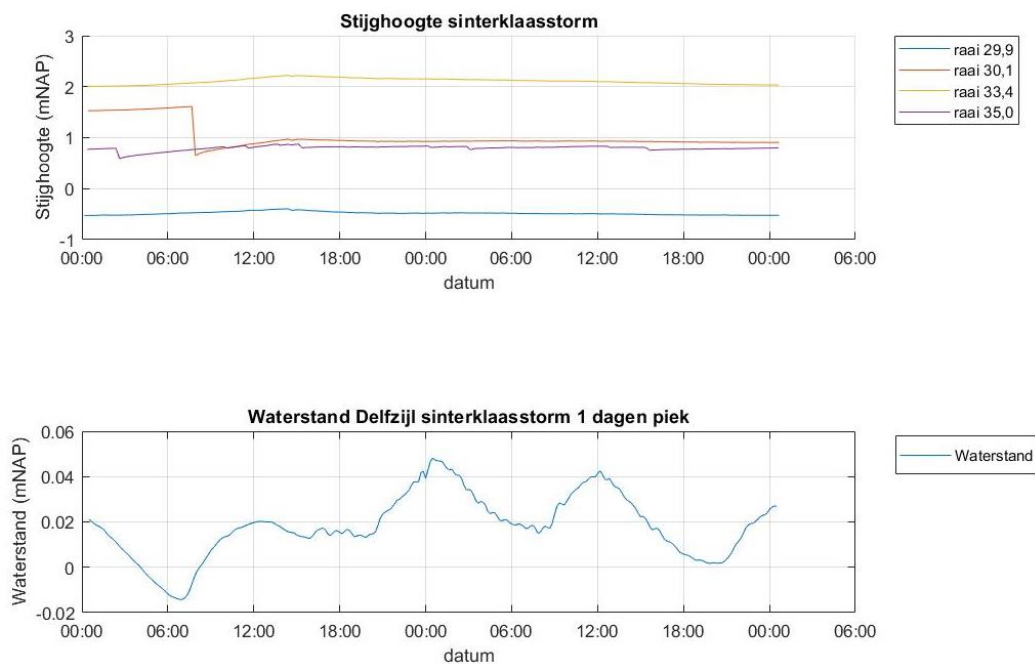
ook de variaties in de dataset beter zichtbaar, en kunnen tevens relaties die leiden tot deze piek worden beoordeeld.

Tevens kan bij dergelijk inzoomen de data gerelateerd worden aan (verwachte) omgevingsfactoren om het systeem beter te begrijpen. Zo kan bijvoorbeeld worden getest of de waterspanningsmeter werkelijk gerelateerd is aan de waterstand of aan de neerslag.

In Figuur 5 is als voorbeeld de stijghoogtedata gedurende de sinterklaasstorm te zien, gemeten door de LiveDijk bij de Ommelanderveedijk. Hierin is te zien dat raai 35,0 reageert op de buitenwaterstand. De overige raaien reageren niet op de buitenwaterstand.

Er kan dus geconcludeerd worden dat voor raai 35 geen respons is. Dit is een reden om verder uit te zoeken of dat komt door de installatiehoogte van de waterspanningsmeter of omdat er simpelweg geen respons is. Indien de tweede conclusie van toepassing is moet worden bedacht hoe om te gaan met deze informatie. De data kan uit de dataset gefilterd worden. Hiermee wordt echter geen recht gedaan aan het feit dat er locaties zijn waar de freatische lijn blijkbaar niet op de buitenwaterstand reageert.

Een andere oplossing zou het werken met meerdere schematisatie kunnen zijn, eentje waar de freatische lijn wel op de buitenwaterstand reageert en eentje waar de freatische lijn niet op de buitenwaterstand reageert. Vervolgens wordt voor beide situaties met de PTK gerekend. Vervolgens moet goed nagegaan worden waarom de ene peilbuis wel en de andere niet reageren.



Figuur 5 Stijghoogte gedurende Sinterklaasstorm in het DDSC (5 december 2013)

Seizoentrend

Naast de relatie met externe factoren, zoals de waterstand, kan er tevens een seizoenrelatie in de dataset aanwezig zijn. Afhankelijk van het vraagstuk kan het tevens interessant zijn om deze te onderzoeken.

Om te beoordelen of seizoenvariatie aanwezig is in de dataset, is het mogelijk om de dataset in tijd op te knippen in een dataset per seizoen. Vervolgens kunnen de verschillende jaren over elkaar getekend

worden. Als de grafiek een jaarlijkse trend laat zien, is het aannemelijk dat er een seizoentrend aanwezig is.

Naast het plotten van de data in grafieken zijn ook meer geavanceerde technieken mogelijk zoals Regressie methoden of een Fourier analyse. Afhankelijk van het vraagstuk en de ingenieur die de analyse wil uitvoeren zijn dergelijke methoden mogelijk. Deze zijn niet verder uitgewerkt in het huidige rapport.

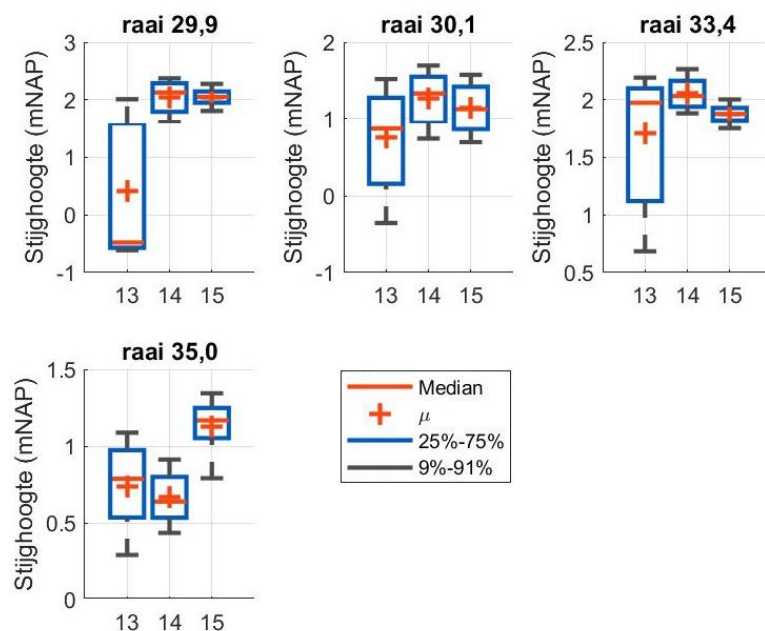
Boxplot

Het verloop van de data in tijd kan worden gevisualiseerd met behulp van een boxplot. Om het verloop van de data in tijd te visualiseren is het nodig om de dataset op te knippen in stukjes dataset per periode (bijvoorbeeld seizoen, jaar etc.).

In de boxplot is overzichtelijk het gemiddelde, de mediaan, 9% en 91% waarde en uitschieters (outliers) weergegeven. Grote variaties in tijd zonder goede verklaring geven reden tot twijfel.

In Figuur 6 is de stijghoogte data van 4 raai samengevat in een boxplot per raai. Hierin is op de xas het beginjaar van de meetreeks te zien. In de data van het DDSC is uiteindelijk 3 volledige seizoenen gemeten, namelijk 2013/2014, 2014/2015 en 2015/2016.

Op basis van de boxplot is te concluderen dat er bijvoorbeeld voor het jaar 2013/2014 een grote variatie aanwezig is, maar met de meeste waarden rond NAP -0,5 meter omdat de mediaan rond deze waarde ligt. Door de grote variatie ligt het gemiddelde echter een stuk hoger. Zelfde analyses zijn ook te maken voor resterende datasets.



Figuur 6 Boxplot van stijghoogtedata gedurende 3 seizoenen DDSC data, met het startjaar op de x-as (seizoen '13/'14 voor 13)

Auto- en crosscorrelatie

Om de kwaliteit van de data goed te begrijpen is het goed om het systeem te begrijpen. Een eenvoudige methode is het plotten van de piekdata. Een alternatieve methode is het zoeken van de cross- en of autocorrelatie.

Met behulp van correlatie kan beoordeeld worden of een dataset een relatie heeft met zichzelf of een andere dataset. Door te testen of een of meerdere variabelen een relatie heeft wordt meer inzicht verkregen in het systeem. Met behulp van correlatie wordt alleen de richting van de verandering van de beide datasets beoordeeld, dus niet de absolute relatie.

Met behulp van autocorrelatie wordt de voorspelbaarheid van de dataset getest door de correlatie te bepalen van de dataset met dezelfde dataset tijdstap x verschoven (bijvoorbeeld 5 dagen verschoven). Als er over een bepaalde tijdstap nog steeds een hoge correlatie is, wil dit zeggen dat het een systeem betreft dat over het algemeen traag reageert zoals bijvoorbeeld het grondwater. Dit is tevens een geschikte manier om een seizoentrend in een dataset te vinden zonder de volledige dataset te plotten.

Met behulp van cross correlatie kan de relatie met een andere dataset worden beoordeeld, bijvoorbeeld tussen de freatische lijn en de buitenwaterstand.

2.4.3 Stap 3C: Interpretatie

Op basis van de visualisatie en interpretatie van de data is het ook belangrijk om de data in de omgeving te zien. Beschrijft de data in voldoende mate de beschouwde parameter? Is er in voldoende mate gemeten voor de gewenste parameter? Is er veel ruimtelijke spreiding te zien in de resultaten?

Bij de interpretatie is het aan te bevelen dat er op basis van de vier criteria van het kwaliteitsoordeel een interpretatie wordt gegeven (zie Tabel 2).

2.5 Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de visualisatie van de data uit stap 3, wordt een kwaliteitsoordeel aan de data gegeven. Zoals eerder benoemd is de kwaliteit van de data bepalend in de kwaliteit van het uiteindelijke oordeel. In deze stap wordt een kwaliteitsoordeel gevormd om te bepalen of de data betrouwbaar genoeg wordt geacht om te gebruiken bij het vervolg.

Het kwaliteitsoordeel is in belangrijke mate gebaseerd op de criteria die worden genoemd voor data beschikbaarheid en informatie beschikbaarheid in het Framework Dijk-informatie (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017). Daarom wordt als achtergrond eerst het framework samen gevat.

2.5.1 Framework Dijkeninformatie

Er zijn vele criteria te vinden die worden aangedragen als onderdeel van data kwaliteit. Door Wang & Wang zijn 20 criteria gevonden die te maken hebben met datakwaliteit. Vervolgens is dit door Wang & Strong gebruikt om 4 hoofdthema's voor datakwaliteit te definiëren, dit zijn intrinsieke datakwaliteit, contextuele datakwaliteit, representativiteit van de data en de beschikbaarheid van de data.

Wojciechowska, Klerk, van der Hammen en Pot geven een aanzet tot de kwantificering van informatiekwaliteit voor waterveiligheid (2017). Hierin wordt expliciet het onderscheid gemaakt tussen data en informatie, waarin data door middel van interpretatie moet worden omgezet in informatie. Vervolgens bepaalt ook het informatiegebruik de waarde van de informatie.

In het framework Dijk-informatie wordt informatiekwaliteit getoetst aan twee criteria:

- Beschikbaarheid
- Betrouwbaarheid

Om de huidige status van de informatie over de dijk inzichtelijk te maken, is er een sterrensysteem ontwikkeld. Hierin wordt de data een kwaliteitsoordeel gegeven tussen de 1 en 5 sterren, zie Tabel 1. Eenzelfde systeem is ontwikkeld voor de informatie beschikbaarheid. Beide oordelen geven daarmee informatie over de dijk-informatie die aanwezig is, met het mogelijke handelingsperspectief.

Tabel 1 Score informatiekwaliteit (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017, p. 26)

Score	Prestatie informatiekwaliteit	Praktijkvoorbeelden
★ Onvoldoende data beschikbaar <i>Onzekere veiligheid</i>	De kwaliteit en bruikbaarheid van de data is onvoldoende aangetoond.	▪ Na toetsresultaat grote consequentieanalyse voor versterking. ▪ Ommelanderzeedijk vijf jaar geleden. ▪ Nagenoeg geen veldwerk uitgevoerd. ▪ Tegenstrijdige en/of niet gevalideerde data.
★→★★ valideren van beschikbare gegevens en beoordelen betrouwbaarheid van de data		
★★ Gevalideerde data beschikbaar <i>Onzekere veiligheid</i>	Beschikbare data is voldoende beschreven en betrouwbaar.	▪ Laag detailniveau veldwerk. ▪ Meerdere bronnen beschikbaar die elkaar bevestigen. ▪ Consistente set van gegevens.
★★→★★★ van data naar veiligheidsinformatie: uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse		
★★★ Basiskwaliteit inzicht in de kritieke elementen van de dijk	Voldoende gevalideerde data beschikbaar voor inzicht in dijksterkte. Het inzicht betekent: (1) relevante faalmechanismen in beeld, (2) onzekerheden geïdentificeerd en (3) kritieke parameters bekend.	▪ Voldoende detailniveau veldonderzoek om een gevoeligheidsanalyse uit te kunnen voeren. ▪ Expliciete afweging over benodigd onderzoek. ▪ Aantoonbaar gebruik maken van alleen betrouwbare dijkinformatie, bij inconsistenties wordt direct actie ondernomen om de basiskwaliteit op orde te krijgen.
★★★→★★★★ geïdentificeerde onzekerheden kwantificeren en onzekerheden voldoende klein maken		
★★★★ Voldoende inzicht om onderbouwde besluiten te nemen <i>Aantoonbaar gecontroleerde onzekerheid</i>	Alle noodzakelijke informatie voor beslisproblemen is beschikbaar. Alle geïdentificeerde onzekerheden zijn expliciet in beeld.	▪ Veldwerk en meetcampagnes volgens professionele inzichten, blinde vlekken voorkomen. ▪ Toepassen gebiedsdekkende (3D) surveys en/of analyse. ▪ Detailniveau bereikt tijdens het opstellen van een Uitvoerings Ontwerp in een versterkingsopgave. ▪ Onzekerheden hebben geen invloed op het veiligheidsoordeel bij beoordeling en/of het dijkontwerp.
★★★★★→★★★★★ kosten-baten afweging maken: waarde van meer informatie vs kosten van inwinnen		
★★★★★ Optimaal inzicht in het gedrag van de dijk	Meer informatie beschikbaar, waardoor betere besluiten genomen kunnen worden. Aantoonbaar het economisch meest voordelig inzicht in de dijksterkte.	▪ Na afweging specialistisch (grond- en lab) onderzoek uitgevoerd. ▪ Stress-tests uitgevoerd op representatieve deelsectie op niveau van de Ommelanderzeedijk (Livedijk XL), Dijken Op Veen, mits economisch verantwoord door kosten-baten afweging.

In het framework is als uitgangspunt aangenomen dat datakwaliteit niet te algemeen te bepalen is. Het gaat erom hoe de data wordt gebruikt zodat de data op een juiste manier vertaalt kan worden naar informatie. De informatie is vervolgens de basis waarop gehandeld wordt en beslissingen worden genomen.

2.5.2 Criteria datakwaliteit

Het IKM probeert inzichtelijk te maken dat de datakwaliteit van invloed is op de beslissing, en dus op de informatie die uit de data gehaald kan worden. Het is dus belangrijk om ook een oordeel te kunnen geven over de datakwaliteit.

Het IKM geeft daarom een toevoeging op de criteria van informatiekwaliteit, namelijk criteria voor datakwaliteit. De criteria voor datakwaliteit zijn:

- 1. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data**
Data is beschikbaar indien binnen een datareeks voldoende aaneengesloten datapunten zijn, zoals bijvoorbeeld de stijghoogte gedurende een jaar. Voor bijvoorbeeld de case baggeren is de data beschikbaar indien er in elke watergang ten minste een meting is gedaan.
- 2. Uitschieters**
Door meetfouten of andere oorzaken kunnen uitschieters/ extreme waarden in de dataset voorkomen. Als deze waarden verklaarbaar zijn is de dataset beter betrouwbaar, omdat is na te gaan welke metingen een uitschieter zijn en welke niet.
- 3. Validatie mogelijkheid**
Om de kwaliteit van de data goed in te kunnen schatten is het noodzakelijk de data te valideren. Het is afhankelijk van de omgeving en het type data wanneer de validatie mogelijkheden voldoende zijn.
- 4. Ruimtelijke verdeling van meetpunten**
Indien over een traject een uitspraak moet worden gedaan, zoals bijvoorbeeld de freatische lijn in de Ommelanderveedijk, moet er voldoende ruimtelijke verdeling van de meetpunten zijn om met voldoende betrouwbaarheid een conclusie te kunnen trekken.
- 5. Betrouwbaarheid meetmethode**
De exacte waarden van de parameter kunnen vaak met verschillende methoden worden bepaald. De meetmethode introduceert een extra onzekerheid, omdat er een meet(on)nauwkeurigheid kan ontstaan.
Voor zover bekend moet dit criterium worden meegenomen. Deze is echter niet altijd te achterhalen. Indien deze niet is te achterhalen moeten de waarden worden gevalideerd op basis van expert judgement.

In Tabel 2 wordt het kwaliteitsoordeel onderbouwd met behulp van de criteria. Tevens is er een voorbeeld per criteria gegeven die leidt tot het oordeel.

Tabel 2 Kwaliteitsoordeel data

Oordeel	Criteria vanuit datakwaliteit in IKM	Voorbeelden	Vervolg
1 ster	1. Beperkte aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeksen voor validatie 4. Geen tot beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. onbetrouwbare meetmethode	1. De DDSC data van de Ommelander zeedijk bevat lange periodes zonder data 2. Uitschieters in stijghoogtes tot + 10 meter boven NAP 3. Twee peilbuis metingen in 1 jaar voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 4. Een boring om de 2 Km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk	Data niet bruikbaar
2 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Grote onverklaarbare uitschieters 3. Geen datareeks voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Twijfelachtige meetmethode	1. De DDSC data van de Ommelander zeedijk bevat raaien met data geschikt voor tijdreeks 2. Uitschieters in stijghoogtes tot + 10 meter boven NAP 3. Twee peilbuis metingen in 1 jaar voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 4. Een boring om de 1 km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk	Combinatie met expert meningen nodig
3 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Minimale datareeks aanwezig voor validatie 4. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Meetmethode is voldoende voor beschreven parameter	1. De DDSC data van de Ommelander zeedijk bevat raaien met data geschikt voor tijdreeks 2. Bacteriegroei in waterspannings-meters veroorzaakt uitschieters 3. DDSC data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 2 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 4. Een boring op 500 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk	Data geeft bruikbare beschrijving van het systeem

4 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Verklaarbare uitschieters 3. Voldoende datareeksen voor validatie 4. Voldoende ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	1. De DDSC data van de Ommelander zeedijk bevat raaien met data geschikt voor tijdreeks 2. Bacteriegroei in waterspannings-meters veroorzaakt uitschieters 3. DDSC data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 3 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 4. Een boring op 150 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk	Data geeft goede beschrijving van het systeem
5 sterren	1. Voldoende aaneengesloten datapunten 2. Uitschieters afwezig 3. Uitgebreide datareeksen voor validatie 4. Goede ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 5. Erg betrouwbare meetmethode	1. De DDSC data van de Ommelander zeedijk bevat raaien met data geschikt voor tijdreeks 2. Golfhoogte metingen RWS, waterstanden grote rivieren 3. DDSC data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 5 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 4. Een boring op 50 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk	Data geeft volledig inzicht in het systeem

Indien de data gevalideerd moet worden met behulp van expert judgement, is het mogelijk dat de kwaliteitsscore veranderd na validatie. Dit kan zijn omdat expert judgment overeenkomt met de resultaten uit de data, maar ook als de data niet overeenkomt met expert judgement.

De kolom met 'Vervolg' in Tabel 2 is een subjectieve inschatting van waarde die de data heeft voor informatie en kennis, gegeven dat er relevante omstandigheden gemeten zijn. Het is per systeem verschillend of bijvoorbeeld 1 informatiepunt (boring/sondering) per kilometer voldoende is of dat er 20 informatiepunten per kilometer nodig zijn.

Data vs. Informatie

Zoals beschreven in de piramide van Ackhoff is data nodig om informatie te maken, de informatie leidt tot kennis en als laatste leidt de kennis tot de wijsheid die nodig is om een beslissing te nemen. Het is belangrijk te beseffen dat de datacriteria die in kolom 2 worden genoemd, nodig zijn om van de data informatie te maken.

Bij elke tussenstap wordt er wel een interpretatie gemaakt van het vorige. Om tot inzicht (kennis) te komen over een fysisch systeem moet de data vertaald worden naar informatie. Vervolgens moet de informatie (over bijvoorbeeld meerdere gebeurtenissen) vertaald worden naar kennis. Voor het informatie kwaliteitsmodel is aangenomen dat in stap 1 over deze vertaalslag wordt nagedacht. Het

kan dus voorkomen dat de nadere analyse de data niet gebruikt kan worden voor het gestelde doel, en wordt over gegaan op expert meningen.

SLS en ULS

Bij de PTK en het fysische model wordt vaak gerekend met een nooit opgetreden waterstand of situatie. Dit wordt de Ultimate Limit State (ULS) genoemd. De dagelijkse omstandigheden, zoals bijvoorbeeld dagelijkse stijghoogtemetingen, komen hier niet bij in de buurt. Dergelijke metingen worden Serviceability Limit State (SLS) genoemd. De vertaling van ULS naar SLS is niet linear en daarmee lastig te maken (Klerk, Kanning, & van der Meer, 2016). Tevens zijn de metingen die dichterbij de ULS liggen meer waardevol zijn voor de vertaling van de SLS naar de ULS.

Samen vs. alleen beoordelen

Het kwaliteitsoordeel wordt toegekend door de ingenieur die de kwaliteit van de data wil schatten. Er is geen objectief criterium die bepaald in welke categorie de dataset valt. Dit is in grote maten een verantwoordelijkheid van de ingenieur. Interactie tussen meerdere ingenieurs zijn leidt uiteindelijk tot een beter resultaat. In analogie met de Amerikaanse nucleaire industrie zijn er vier niveaus te onderscheiden volgens Hanks et al (2009):

1. Een deskundig adviseur die betrokken is bij de data-inwinning bepaalt de kwaliteitsscore, wat vervolgens wordt gereviewd door een deskundige collega;
2. Een team van deskundige adviseurs die betrokken zijn bij de betreffende data-inwinning stellen gezamenlijk een kwaliteitsscore vast;
3. Een deskundig adviseur die betrokken is bij de data-inwinning bepaalt de kwaliteitsscore, wat vervolgens wordt gezamenlijk wordt gereviewd door deskundige collega's;
4. Een team van deskundige adviseurs vult geeft individueel een oordeel, waarna de verschillen gemeenschappelijk worden vergeleken wat leidt tot een gezamenlijk oordeel.

Vervolgstappen

Op basis van het kwaliteitsoordeel wordt bepaald of voor de input van de PTK nog aanvullende expert schattingen gedaan moeten worden, zie Tabel 3.

Tabel 3 Input PTK en gebruik expert meningen op basis van datakwaliteit

	Input PTK	Eventuele vervolgactie
1 ster	Data niet bruikbaar	Expert meningen gebruiken
2 sterren	Allen onder en bovengrens (uniforme verdeling)	Valideren/ samenvoegen met expertmening
3 sterren	Ondergrens, bovengrens en mediaan (Driehoeksverdeling)	Valideren met expert mening
4 sterren	Beschrijvende verdeling (normaal, lognormaal of exponentieel)	n.v.t.
5 sterren	Beschrijvende verdeling (normaal, lognormaal of exponentieel)	n.v.t.

Bij een datakwaliteit van 4 of 5 sterren wordt de beschrijvende verdeling gebruikt als input voor de PTK. Dit kan een normale verdeling zijn, scheve verdeling naar links of rechts maar ook een lognormale of exponentiele verdeling.

2.6 Stap 5: Expert judgement

Expert judgement wordt gebruikt indien er geen, of slechte data beschikbaar is. Expert judgement data kan dus voor twee doelen worden ingezet. Ten eerste kan bestaande data met behulp van expert

judgement worden gevalideerd. Bij afwezigheid van bruikbare data kan expert judgement gebruikt worden als alternatief.

2.6.1 Validatie

Expert judgement kan worden ingezet ter validatie van de bestaande dataset, zoals bijvoorbeeld is gedaan in de case Almere. In dat geval is er slechts een beperkte dataset beschikbaar en wordt er getwijfeld in hoeverre de beschikbare data daadwerkelijk de situatie beschrijft.

2.6.2 Expert judgement data

Indien er geen data beschikbaar is, kan met behulp van expert judgement toch het IKM in combinatie met de PTK worden gebruikt door expert judgment data te verzamelen, zoals in de case baggeren van Hollandse Delta.

2.7 Stap 6: kwantificeer onzekerheid

In stap 4 is een kwaliteitsoordeel gegeven. Indien nodig is in stap 5 aanvullende data met behulp van expert judgement verzameld. Op basis van deze data wordt de onzekerheid van de data gekwantificeerd. De invulling van deze stap is mede afhankelijk van het gewenste vervolg (zie hoofdstuk 3, paragraaf 3.4 en 3.5).

Op basis van het kwaliteitsoordeel wordt de invoer van het PTK bepaalt. Een slechte kwaliteit van de data zorgt mogelijk voor een verkeerde conclusie, omdat bijvoorbeeld de gemiddelde waarde verkeerd wordt ingeschat. Daarom is de output van het IKM voor de PTK afhankelijk van de kwaliteit van data.

2.7.1 Input PTK

Bij een kwaliteitsscore van 1 t/m 3 sterren is expert judgement nodig, omdat de kwaliteit van de data zelf onvoldoende is. Tevens wordt niet het gemiddelde en de standaardafwijking gekozen als input voor het IKM, omdat dit uitgaat van een verdeling rondom de gemiddelde waarde. Afhankelijk van de score wordt er een onder- en bovengrens opgegeven of een onder- en bovengrens met mediaan (zogenoemde driehoeksverdeling). Alle acties op basis van het kwaliteitsoordeel staan genoemd in Tabel 4.

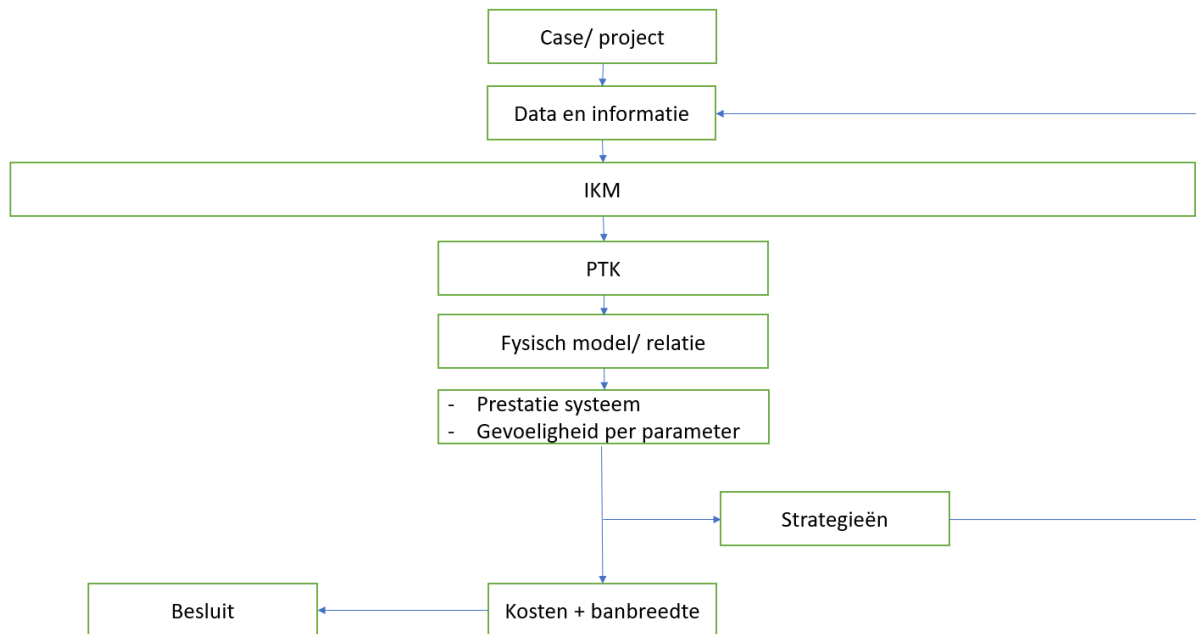
Tabel 4 Input PTK en gebruik expert meningen op basis van datakwaliteit

	Input PTK	Eventuele vervolgactie
1 ster	Data niet bruikbaar	Expert meningen gebruiken
2 sterren	Allen onder en bovengrens (uniforme verdeling)	Valideren/ samenvoegen met expertmening
3 sterren	Ondergrens, bovengrens en mediaan (Driehoeksverdeling)	Valideren met expert mening
4 sterren	Beschrijvende verdeling (normaal, lognormaal of exponentieel)	n.v.t.
5 sterren	Beschrijvende verdeling (normaal, lognormaal of exponentieel)	n.v.t.

Met behulp PTK wordt de prestatie van de asset bepaalt. Dit is beschreven in hoofdstuk 3.

3 Informatie Kwaliteitsmodel

In het data kwaliteitsmodel (DKM) is de kwaliteit van de beschikbare informatie beoordeeld. In het vervolg wordt de invloed van deze kwaliteit op de prestatie van het gehele systeem inzichtelijk gemaakt. De sterkte van de asset wordt bepaald met behulp van een combinatie van de Probabilistic Toolkit (PTK) en een fysisch model/ empirische relatie. Alle onderdelen tezamen (DKM, PTK) vormen het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM), zie Figuur 7.



Figuur 7 IKM binnen ROBAMCI

Paragraaf 3.1. gaat over de PTK en de relatie met het fysische model (/relatie) en prestatie van het systeem. Vervolgens wordt in paragraaf 3.2. het samenstellen van alternatieve strategieën uitgewerkt. Als laatste wordt in paragraaf 3.3 de kosten-batenanalyse verder uitgewerkt.

3.1 Probabilistische Toolkit

De probabilistische toolkit (PTK) is ontwikkeld met als doel verschillende generieke (probabilistische) rekenmethoden eenvoudig toe te passen bij complexe en minder complexe modellen en modelsoftware.

3.1.1 Algemeen

De PTK creëert op basis van een opgegeven gemiddelde waarde, spreiding en type verdeling van een parameter x aantal parametersets. Dit wordt gedaan met behulp van een Monte Carlo analyse. Deze parametersets worden vervolgens met behulp van een fysisch model en/of empirische relatie doorgerekend om de prestatie van de asset te bepalen. Alle berekeningen samen levert de spreiding van de prestatie van de asset op. Het fysische model is dus geen onderdeel van de PTK.

Als de kwaliteit van de data matig tot slecht is kan het invoeren van een gemiddelde waarde met waargenomen verdeling tot een onterechte analyse leiden, omdat de gemiddelde waarde veel invloed heeft en juist deze parameterwaarde verkeerd is ingeschat.

Het type verdeling heeft ook veel invloed. Voor bijvoorbeeld een normale verdeling worden de meeste parametersets samengesteld uit het gebied rond tot de afstand van 1 standaardafwijking (hieruit worden ongeveer 66,7% van de parametersets uit gehaald). Op basis van de data is het echter onzeker

of dit daadwerkelijk het gemiddelde is. Daarmee is het onzeker of de samengestelde parametersets wel representatief zijn voor de parameter. Voor deze gevallen is het beter om alleen een ondergrens- en bovengrenswaarde te geven al dan niet in combinatie met de mediaan, zoals in stap 6 van het DKM is gegeven.

Door alleen de boven- en ondergrens te wordt de parameterset evenredig uit het gehele gebied tussen de ondergrens- en bovengrens waarde samengesteld. Zonder verdere analyse kan echter worden opgemerkt dat een groot verschil tussen de onder- en bovengrens automatisch leidt tot een grote spreiding voor de prestatie van de asset.

Welke vorm de input van de data heeft is afhankelijk van de kwaliteit van de data. De prestatie van de asset is verder beschreven in de volgende paragraaf.

3.1.2 Input

De input voor de PTK is de verdeling die volgt uit het kwaliteitsoordeel, dus bijvoorbeeld het gemiddelde en de standaardafwijking of de onder- en bovengrens. De input per parameter wordt bepaald in stap 6 van het IKM.

Het IKM kan voor meerdere parameters doorlopen worden, die tezamen de input voor het PTK vormen.

3.1.3 Fysisch model

Met behulp van de output van het IKM worden berekeningen gemaakt met een fysisch model of empirische relatie. Het PTK gebruikt de bandbreedte die als input wordt opgegeven om bepaalde parameters te variëren waardoor er een spreiding in de prestatie ontstaat.

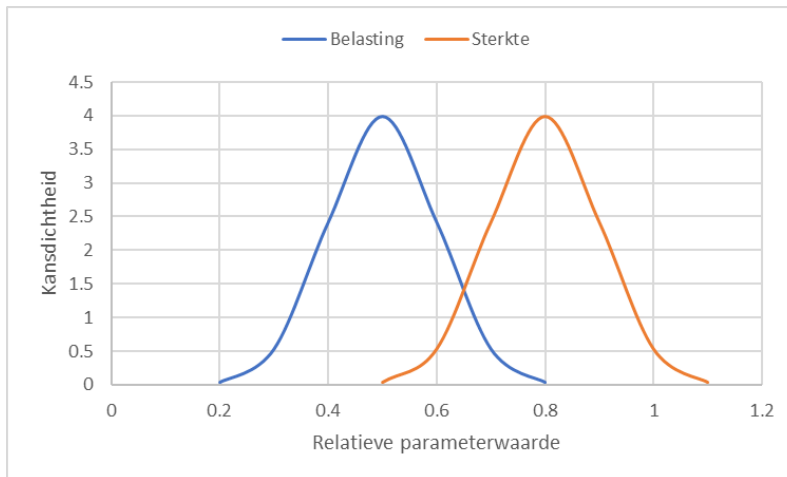
In de waterveiligheid wordt veel gebruik gemaakt van fysische modellen. Als voorbeeld is in bijlage II een overzicht opgenomen waarin mogelijke fysische modellen worden benoemd, inclusief mogelijke (gevoelige) parameters. De genoemde modellen zijn voorbeelden die binnen het IKM goed toepasbaar zijn en aan de PTK gekoppeld kunnen worden.

3.1.4 Prestatie van de asset

De uitkomst van de PTK samen met een fysisch model is gedefinieerd als de prestatie van de asset. Elke, met behulp van de PTK samengestelde, parameterset leidt tot een prestatie van de asset, bepaald met een fysisch model of empirische relatie. Alle simulaties samen geven de sterkte van de asset, inclusief een bandbreedte van de asset. De vorm van de prestatie is afhankelijk van de verdeling van de input variabelen. De figuur lijkt op de oranje lijn in spreiding van de prestatie van de asset uit Figuur 8 voor het geval de input variabelen normaal verdeeld zijn.

Voor de probabilistische benadering is het tevens van belang om de belasting probabilistisch te benaderen, waardoor voor elke mogelijke combinatie wordt bepaald of het tot falen kan leiden. Het totaal bepaalt de faalkans.

Voor bijvoorbeeld macrostabiliteit binnenwaarts (faalmechanisme binnen waterveiligheid) wordt de prestatie van de asset in een deterministische som uitgedrukt in een veiligheidsfactor, gegeven de waterstand. Voor de probabilistische benadering wordt zowel de sterkteparameters als de belasting gevarieerd. Elke keer dat de belasting groter is dan de sterkte in de berekening is een mogelijk falen. Het totale aantal keer dat de belasting groter is dan de sterkte bepaalt de faalkans (gelijk aan het gebied met overlap in Figuur 8). Een breder verdeeld sterkte diagram leidt vaker tot falen en daarmee tot een grotere faalkans.



Figuur 8 Voorbeeld van belasting en sterkte. Het overlappende gebied is de faalkans

De definitie van prestatie is afhankelijk van de vraag. Voor waterveiligheid is deze voornamelijk uitgedrukt in overstromingskans. In bijvoorbeeld de baggercase is de prestatie van de asset uitgedrukt in opstuwing van het waterpeil.

3.1.5 Gevoeligheidsanalyse

De verdeling van de prestatie van de asset is gebaseerd op de verdeling van de invoerparameters. Door slechts 1 parameter per invoerset te variëren met behulp van de PTK wordt tevens de invloed duidelijk van de gevarieerde parameter op de prestatie van de asset.

Op basis van deze gevoeligheidsanalyse kan onderscheiden worden welke parameters veel invloed hebben op de prestatie. Het is dus belangrijk om de invoer van deze parameters goed te beschrijven.

Dit inzicht kan gebruikt worden om, indien wenselijk, aanvullende strategieën te bepalen. De strategieën richten zich op het verkleinen van de spreiding van de berekende sterkte.

3.2 Alternatieve strategieën

Indien de spreiding van de prestatie van de asset groot is, kunnen aanvullende strategieën worden samengesteld om de betrouwbaarheid van de data te vergroten. Er is impliciet aangenomen dat een (te) grote spreiding wordt veroorzaakt door onbetrouwbaarheid van data door statistische of inherente onzekerheid die nog kan worden verkleind. Daarmee wordt de spreiding van de betreffende parameter verkleind, of de gemiddelde waarde aangescherpt. Tevens wordt met aanvullend onderzoek het inzicht in de betreffende parameter vergroot en daarmee het inzicht in de asset.

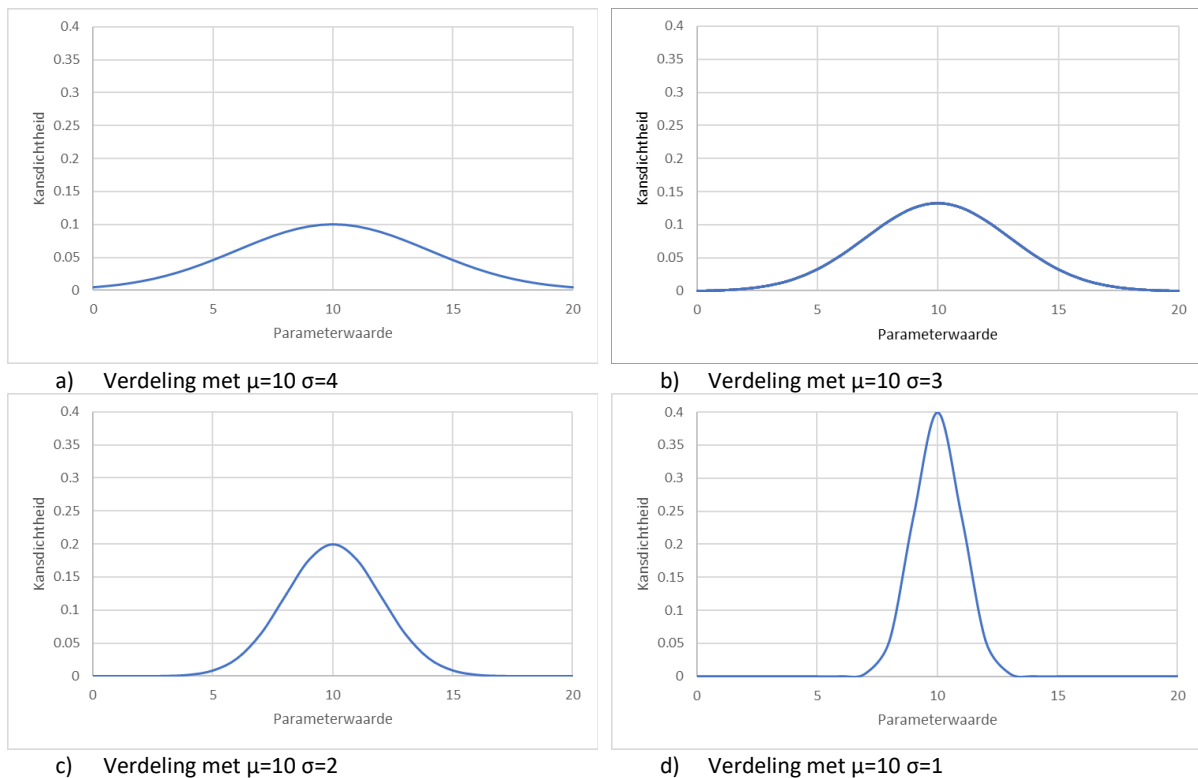
Het definiëren van strategieën bestaat uit twee stappen. Allereerst wordt gezamenlijk met de beheerder de ambitie van de organisatie bepaald. Elke organisatie bepaalt direct of indirect hoe zeker zij willen zijn van de uitkomsten. Idealiter wil elke organisatie de kleinst mogelijke onzekerheid. Praktisch is dit echter niet altijd haalbaar door financiële mogelijkheden voor onderzoek en natuurlijke variatie van de parameter. De ambitie van de organisatie wordt bepaald door gezamenlijk de huidige prestatie grafiek te vergelijken met 'standaard' grafieken en te kiezen welke verdeling wordt nagestreefd, zie paragraaf 3.2.1.

Vervolgens wordt met behulp van de gevoeligheidsanalyse beoordeeld voor welke parameters het verhogen van de betrouwbaarheid uiteindelijk resulteert in een verbetering van prestatie. Op basis van het kwaliteitsoordeel uit stap 5 van het IKM kan worden ingeschat of en hoeveel verbetering nog mogelijk is voor de betreffende parameter.

3.2.1 Fitten verdeling

De uitkomst van de PTK met een fysisch model/ empirische relatie geeft de prestatie van de asset. Door het inzichtelijk maken van de prestatie van de asset is het eenvoudig uit te leggen wat de consequenties van de huidige data set zijn voor de beslissing.

Een simpele manier om te kiezen of er aanvullend onderzoek gedaan moet worden is door het fitten van een verdeling van de prestatie. Hierin wordt de berekende verdeling vergeleken met 'standaard' verdelingen. In Figuur 9 zijn mogelijke prestatiecurves geplot. Op basis van de gewenste verdeling van de prestatie kan de alternatieve strategie worden samen gesteld.



Figuur 9 Verdeling fitten

De prestatiegrafieken uit Figuur 9 zijn geïdealiseerd. Op basis van de gevoeligheidsanalyse en de inschatting van de ingenieur(s) kan worden bepaald of de gewenste verdelingsgrafiek gehaald kan worden.

3.2.2 Definiëren strategieën

Op basis van de gewenste prestatieverdeling van de asset, zoals in Figuur 9, worden de strategieën concreet gemaakt. De strategie wordt opgesteld op basis van de gevoeligheidsanalyse en het kwaliteitsoordeel van de data.

De gevoeligheidsanalyse maakt inzichtelijk welke parameters invloed hebben op de prestatie van de asset. Deze kennis wordt gebruikt om te bepalen of het zinvol is om aanvullende metingen te doen. Vervolgens kan tevens op basis van deze kennis een inschatting worden gemaakt van de baten per parameter. Een inspanning om een gevoelige parameter te verbeteren levert waarschijnlijk meer op dan het verbeteren van een minder gevoelige parameter.

In het IKM is tevens een oordeel gegeven over de datakwaliteit. De onderbouwing van het kwaliteitsoordeel geeft aan op welke onderdelen de data verbeterd kan worden. Verwacht mag worden dat bij een oordeel van 1 tot 4 sterren er een verbetering in het dataoordeel mogelijk is,

waarbij logischerwijs bij een oordeel van 1 ster meer winst te behalen valt dan bij een oordeel van 3 sterren. Zo kan het voorkomen dat voor de ene parameter een beter beheer op de data nodig is voor betere resultaten (meer betrouwbare meting of verklaarbare uitschieters), terwijl voor andere parameters aanvullende meetpunten of meer metingen tot een verbetering leidt.

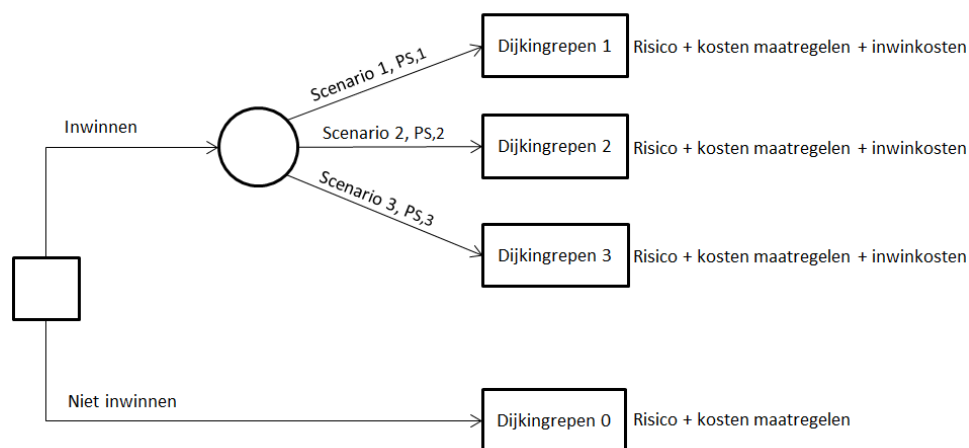
Door de betrouwbaarheid van deze parameters aan te scherpen wordt ook de betrouwbaarheid van de prestatie vergroot.

3.3 Kosten-baten analyse

De voordelen van de strategieën worden als laatste afgewogen in een kosten baten analyse waarin wordt bepaald of het verhogen van de betrouwbaarheid van de meting van voldoende meerwaarde is zodat het voordeel opweegt tegen de kosten van het extra meten.

De baten voor aanvullende data zijn moeilijk te kwantificeren. In Wojciechowska *et al.* (2017) worden de baten omschreven als Value of Informatie (VOI). De VOI wordt vervolgens gedefinieerd als vermeden versterking, beter inzicht in dijkveiligheid en groter handelingsperspectief. Van deze onderdelen is vermeden versterking het best uit te drukken in geld, wat vervolgens afgewogen kan worden tegen de kosten van het inwinnen van extra gegevens.

De kosten en baten worden afgewogen aan de hand van een beslisboom. Zie Figuur 10 voor een schematische weergave van deze beslisboom.



Figuur 10 Beslisboom van het inwinnen van extra informatie (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017, p. 32)

De beslisboom wordt doorlopen door middel van 7 opeenvolgende stappen (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017):

1. Opstellen uitgangspunt
2. Vaststellen bepalende parameters en definiëren inwinactie en schat de kosten
3. Definitie van scenario's
4. Afschatten kansen
5. Definitie van maatregelen en risico's
6. Doorrekenen jaarlijkse equivalente kosten
7. Kosten en baten analyse

Kern van de kosten-baten analyse is de (expert) schatting van de verbetering van de resultaten bij aanvullend meten in stap 3 en de bijbehorende kansverdeling in stap 4. De inschatting van de resultaten van aanvullend meten zijn niet altijd op voorhand te definiëren.

3.3.1 Stap 1 en 2: Opstellen uitgangspunten en schat kosten van de strategie

De uitgangspunten voor de kosten en baten zijn gedefinieerd in het formuleren van de verschillende strategieën als beschreven in paragraaf 3.1.

Vervolgens wordt op basis van ervaring geschat wat de investerings- en onderhoudskosten zijn voor de strategie.

3.3.2 Stap 3: Definitie van scenario's

Er worden drie scenario's gedefinieerd als mogelijke resultaten van de strategie. De scenario's zijn:

- a. Tegenvallend resultaat
- b. Verwachte uitkomst
- c. Gunstige uitkomst

Op basis van de kwaliteit van de data en de gevoeligheid van de parameter waarvoor gemeten kan worden, valt er een onderbouwde verwachting te formuleren voor de resultaten van de meetcampagne. De baten zijn te formuleren in termen van verwachte verbetering van de prestatie van de asset per scenario. Op basis van de prestatie wordt gekwantificeerd wat de baten (in termen van vermeden versterking zijn) per scenario.

3.3.3 Stap 4: Inschatten van de kansen

Er wordt een kans van voorkomen gegeven aan elk scenario uit stap 3. Het kwaliteitsoordeel geeft een goede verwachtingsbasis voor de kansverdeling. Als een dataset de kwaliteit heeft van 2 sterren is de verwachting dat de kans op verwachte en gunstige resultaten groter dan een tegenvallend resultaat.

3.3.4 Definitie van maatregelen en risico's

Bepaal voor elk scenario de prestatie van de asset. De prestatie van de asset wordt vervolgens omgezet in baten ten opzichte van de referentiesituatie.

3.3.5 Doorrekenen jaarlijkse equivalente kosten

Het is goed mogelijk dat er strategieën worden opgesteld die elk een verschillende planperiode hebben. Om de strategieën goed met elkaar te kunnen vergelijken worden equivalente kosten meegenomen in de afweging.

De equivalente kosten worden bepaald door de ingeschatte kosten te delen door een annuïteitenfactor die hoort bij de periode waarin de strategie wordt uitgevoerd. Hierbij moet rekening worden gehouden bij de periode waarin de kosten worden gedaan. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat er in jaar 1 van de strategie kosten worden gemaakt, en vervolgens worden in jaar 5 van de strategie wederom bepaalde kosten gemaakt. De kosten die na 5 jaar gemaakt worden moeten worden gedeeld door de annuïteitenfactor die hoort bij 5 jaar.

Tabel 5 relatie tussen planperiode en annuïteitenfactor, uitgaande van een standaard risicovrije discontovoet van 3%, conform advies Werkgroep Discontovoet (Werkgroep Discontovoet, 2015)

Periode [jaar]	Annuïteitenfactor [-]
5	4.6
10	8.5
25	17
50	26
100	32
>100	33

3.3.6 Kosten en baten analyse

Als laatste stap worden de kosten van de strategie afgewogen tegen de geschatte baten. Daarbij moeten ook de geschatte kosten van de strategie worden gedeeld door de annuïteitenfactor die hoort bij de periode waarover de kosten worden gemaakt. Als de baten niet opwegen tegen de kosten is de strategie niet aan te bevelen.

4 Cases

Binnen ROBAMCI is een aantal cases gebruikt om onderzoek te doen naar het assetmanagement van waterkeringen in Nederland. Bij een aantal cases is het IKM, al dan niet in combinatie met de PTK, toegepast. Voor de case van waterschap Noorderzijlvest geldt dat het IKM achteraf is toegepast op de case.

4.1 Case I: Waterschap Noorderzijlvest

In fase 1 van ROBAMCI is de case waterkeringen het startpunt geweest van de ontwikkeling van het IKM en de PTK. In deze case werd het belang van monitoring bepaald en afgewogen met behulp van een kosten-baten analyse.

De Ommelandenzeedijk is in de derde toetsronde afgekeurd voor macrostabiliteit binnenwaarts. Binnen het waterschap was reeds bekend dat de aangenomen grondopbouw onjuist was. Om de exacte omvang van de versterkingsopgave nader te bepalen is een monitoringsprogramma opgezet. De monitoring op de Ommelandenzeedijk is opgezet om de ligging van de freatische lijn te valideren. Daarbij is tevens de aanname gedaan dat de ligging van de freatische lijn informatie geeft over de aanwezige grondopbouw.

Deze case is een zogenoemde 'Proof of concept' voor het IKM tot en met het kwaliteitsoordeel. Het gebruik van de verschillende (simpele) methoden geeft een goede illustratie hoe tot een kwaliteitsoordeel wordt gekomen. Tevens wordt aangegeven op welke manier de datakwaliteit verbeterd kan worden.

Voor de 'Proof of Concept' is gebruik gemaakt van de verzamelde DDSC data. In de case waterkeringen uit fase 1 is slechts beperkt tot geen gebruik gemaakt van deze verzamelde data.

Het is dus niet mogelijk om de resultaten van de case 1 op 1 over te nemen.

Toepassing

Het IKM is toegepast op data van 4 raaien, verkregen uit het DDSC. De data bestaat uit stijghoogte metingen op 4 locaties in de raai. Voor deze case is de stijghoogtedata beschouwd die de freatische lijn in de kering representeert. De uitgebreide toepassing van het IKM op de DDSC data is te zien in bijlage III.

De beschouwde data krijgt in stap 4 van het IKM een kwaliteitsoordeel van 2 sterren. Er is beperkte beschikbare data per seizoen, er zijn veel onverklaarbare uitschieters en er is een beperkte ruimtelijke spreiding in het gebied. Omdat het mogelijk is om 3 seizoenen te distilleren uit de dataset is het mogelijk om de jaren met elkaar te valideren. Daarom is de score 2 in plaats van 1 ster.

Om deze data te kunnen gebruiken moet echter gebruikt gemaakt worden van expert judgment, waarmee de data gevalideerd wordt. Mogelijk wordt de data samengevoegd met expert judgement om tot een meer betrouwbare dataset te komen. Deze stap is niet uitgevoerd voor de proof of concept.

De output van het IKM is de input voor de PTK. De maximale gemeten waterstand is echter niet de maatgevende waterstand. De resultaten van het IKM moeten daarom in stap 6 nog vertaald worden naar maatgevende omstandigheden met behulp van een empirische formule, waardoor extra onzekerheid wordt geïntroduceerd. Deze stap is niet gezet in de proof of concept.

De kwaliteit van de data bepaalt mede de output van het IKM. Door de slechte kwaliteit van de data is de output van het IKM de ondergrens, bovengrens en mediaan voor het gehele gebied.

Vervolg

De gemiddelde waterstand met de gemeten ruimtelijke spreiding wordt met behulp van de PTK vertaald naar verschillende parametersets voor DGeo-Stability.

In de case waterkeringen is deze stap gedaan met een samengestelde dataset, niet op basis van de meetresultaten zelf. Voor de proof of concept met de DDSC data is deze stap niet uitgevoerd, omdat er geen koppeling met de PTK is gemaakt.

Verbeteringsstrategie

De data van het DDSC krijgt 2 sterren in het IKM. De onderbouwing van de twee sterren zijn:

- Veel uitval van sensoren
- Veel onverklaarbare uitschieters (mogelijk drift van sensoren)
- Beperkte ruimtelijk spreiding door lokale verschillen

De eerste strategie voor de verbetering van de metingen is erop gericht om de aanwezige hiaten in de meting te verbeteren. Er worden nieuwe sensoren geplaatst die gekalibreerd worden. Tevens wordt er een plan opgesteld voor het beheer, zodat ongeloofwaardige meetwaarden direct opgemerkt en verklaard worden. Deze strategie is erop gericht om de datakwaliteit te verbeteren van 2 naar 4 sterren.

Een tweede strategie is het uitbreiden van de bestaande waterspanningsmetersraaien. Het uitgangspunt van de strategie is om volledig inzicht te krijgen in de waterspanning. Daarom wordt het huidige meetnet uitgebreid zodat op elke diepte minimaal 3 waterspanningsraaien aanwezig zijn. Dit betekent dat er minimaal 2 aanvullende raaien worden geïnstalleerd. Deze strategie is erop gericht om de datakwaliteit te verbeteren van 2 naar 5 sterren.

Kosten baten analyse

In de case is geen analyse gedaan waarin wordt onderzocht wat een verhoogde betrouwbaarheid oplevert.

Conclusie

De data van het DDSC is op een systematische manier beoordeeld in bijlage III. Hieruit blijkt dat er grote verschillen zijn tussen de verschillende jaren en tussen de verschillende raaien. Dit geeft aanleiding om alle gemeten waarden in twijfel te trekken. Welke gemeten waarden representeren wel de daadwerkelijk optredende waarden? Ook voor de metingen onder relevante omstandigheden (bijv. sinterklaasstorm) is het antwoord op deze vraag van belang. Op basis van de dataset is geen eenduidig antwoord te vinden. Daarmee is de kwaliteit van de dataset mager en heeft een oordeel van 2 sterren.

4.2 Case II: Regionale kering Hoogheemraadschap Rijnland

Inleiding

Hoogheemraadschap Rijnland is in bezit van een stuk kade die is afgekeurd i.v.m. onvoldoende sterkte. In de kade is door Provincie Zuid-Holland een damwand aangelegd, om bevaarbaarheid van de parallel gelegen vaarroute te waarborgen. In de omgeving van de kade bevinden zich ook andere functies, zoals een sportpark en bomen. Als de damwand in de toetsing van het hoogheemraadschap wordt meegenomen kan de kade waarschijnlijk worden goedgekeurd.

Het hoogheemraadschap maakt zich dan wel afhankelijk van de provincie; hierover moeten afspraken worden gemaakt. Indien de damwand in beheer zou worden overgenomen, ontstaat een zelfde afhankelijkheid de andere kant op (de damwand vervult een functie voor het bevaarbaar houden van de parallel gelegen vaarroute). Ook andere functies in de nabijheid van de kade hebben invloed op het

dagelijks functioneren en beslissingen in beheer en onderhoud van de kade, en andersom. Om dit optimaal in te richten, is het nodig een goed overzicht te krijgen van de verschillende functies en risico's. Kosten en prestaties spelen hierbij een rol, maar ook juridische aspecten spelen een rol.

Om de onderhoudsstrategieën met elkaar te kunnen vergelijken is er een verouderingsmodel opgezet met bijbehorende kostenfunctie (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018). In het verouderingsmodel is de zetting de enige variabele die verandert in de tijd, dat invloed heeft op macrostabiliteit binnenwaarts (met behulp van restbreedte) en hoogtetoets. De zetting wordt met het DKM beschreven.

Beschikbare data

De veroudering van de waterkering wordt beschreven op basis van zetting. De enige data die binnen het hoogheemraadschap beschikbaar is over eventuele zetting is een vuistregel die wordt gebruikt. Daarnaast is er nog de algemeen beschikbare AHN data (bron).

Voor de beschrijving van de zetting is in eerste instantie de AHN data gebruikt, specifiek de dataset van AHN2 en AHN3. Door het verschil van beide metingen te nemen en dit te delen door de periode die tussen beide metingen zit.

Toepassing IKM

De uitgebreide toepassing van het IKM bij de AHN data is te zien in bijlage IV.

De AHN data krijgt een kwaliteitsscore van 2 sterren. De meetmethode heeft een grote foutmarge ten opzichte van de gemeten verschillen. Daarnaast is er slechts 1 tijdreeks te maken van beide datasets, waardoor de gemeten meetwaarden niet gevalideerd kunnen worden met andere data. In de dataset wordt een gemiddelde zetting gevonden voor het projectgebied van 0,7 cm/jaar.

Bij een kwaliteitsscore van 2 sterren moet de data worden gevalideerd met expert judgement. Binnen het waterschap worden de gevonden waarden herkend. Er wordt voor het projectgebied meestal rekening gehouden met 1 cm zetting per jaar.

De bevindingen van expert judgment bevestigen de gevonden waarden. Daarom is de uiteindelijke kwaliteitsscore 3 sterren. De invoer van de PTK is dus een driehoeksverdeling met als ondergrens 4 cm/jaar, gemiddelde van 0,7 cm/jaar en een bovengrens van 0 cm/jaar.

Kosten-batenanalyse

De verschillende beheerstrategieën zijn afgewogen met behulp van de Netto Contante waarden methode (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018). Er is gebruik gemaakt van zowel een deterministische als een probabilistische afweging.

In de probabilistische NCW wordt naast de verwachtingswaarde een bandbreedte gegeven tussen 10% en 90%.

Conclusie

De berekening van de probabilistische NCW maakt de bandbreedte van de kosten inzichtelijk. In de kosten-batenanalyse is geen scenario toegevoegd waarin de verandering van de NCW geïnitieerd wordt door betrouwbaarder resultaat. Voor de multifunctionele kering zou bijvoorbeeld een verbetering van 3 naar 4 sterren een verandering van invoer betekenen, waardoor er een betrouwbaardere kosten-batenanalyse kan worden gegeven, of waardoor wellicht kosten pas later gemaakt hoeven te worden.

Binnen het hoogheemraadschap wordt reeds beoordeeld of het beter is de zetting van de keringen te monitoren met behulp van SkyGeo data, in plaats van AHN data.

4.3 Case III: Baggeren Waterschap Hollandse Delta

Inleiding

In de casus 'baggeren' van het ROBAMCI-project wordt onderzocht of er minder kan worden gebaggerd binnen de randvoorwaarden die het waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer stellen. De belangrijkste parameter in het watersysteem is de baggeraanwas per jaar per onderdeel van het watersysteem. Door de Probabilistic Toolkit van ROBAMCI wordt op basis van de baggeraanwas een verouderingsfactor vastgesteld. Met die verouderingsfactor slibt elk onderscheiden profiel modelmatig met een bepaalde hoeveelheid dicht. Een profiel waar de baggeraanwas groot is, slibt sneller dicht dan een profiel met beperkte aanwas.

Beschikbare data

Om voor deze case/modelstudie de baggeraanwas te bepalen is de IDEOMA-database met baggerprofielen beschikbaar gesteld. De database bevat een groot aantal profielen, onder meer opgebouwd uit peilingen van de vaste bodem en bovenkant sliblaag.

Toepassing IKM

De IDEOMA-profielen zijn voor toepassing in het IKM niet *bruikbaar* gebleken voor het kwantificeren van de baggeraanwas per tijdseenheid per locatie. Belangrijkste reden hiervoor is dat er geen tijdreeksen in de database werden gevonden, en ook niet hieruit kunnen worden gedistilleerd. Dit heeft mogelijk te maken met een beperkt aantal meetcampagnes dat per watergang is uitgevoerd, maar daarnaast ook met *inconsistentie* in de uitvoering en het vastleggen van metingen. Voor bepaalde gebieden/watergangen zijn een groot aantal verschillende profielen gemeten. Echter behoren deze allemaal tot een en dezelfde meetcampagne. Hierdoor kan uit de metingen alleen een momentopname van de bovenkant sliblaag verkregen worden. Baggeraanwas kan pas bepaald worden als voor diezelfde profielen nog minimaal 1 een meting beschikbaar is/komt. Als er binnen een gebied/watergang wel reeds verschillende meetcampagnes zijn geweest, zijn de metingen veelal op verschillende locaties gedaan. Goede *vergelijkbaarheid* tussen metingen is er daarmee niet. Om toch een indicatie van aanwas te krijgen, kan er eventueel binnen een min of meer homogene strekking een vergelijking tussen verschillende meetlocaties worden gemaakt. Hiervoor is per vak gezocht naar twee profielen vanuit twee verschillende peilmomenten. Uit het verschil in gemiddelde hoogte sliblaag zou dan een indicatie van de baggeraanwas bepaald kunnen worden.

In de betreffende case studie is niet onderzocht of het mogelijk was de beschikbare data te vertalen naar bruikbare data voor het bepalen van de baggeraanwas. Om binnen de planning van de case studie te blijven Dit is expliciet meegenomen in de huidige versie van het IKM, omdat er de data ook indirect veel waarde kan hebben.

Kosten Baten analyse

In de case is geen analyse gedaan waarin is onderzocht wat een verhoogde betrouwbaarheid mogelijk oplevert.

Conclusie

Op basis van bovenstaande zou de data uit de IDEOMA profielen in het IKM slechts 1 ster krijgen. In dit geval is dan ook gebruik gemaakt van expert meningen om de baggeraanwas per jaar te bepalen.

Wellicht is er een mogelijkheid om datareeks om te zetten naar bruikbare tijdreeksen, zoals ook door Waterschap Hollandse Delta is gedaan. De beschikbare data is per watergang samengenomen, waarna er trends zijn geanalyseerd in de baggeraanwas. Deze analyse is echter binnen de case zelf niet gedaan. In een eerdere versie van het IKM was is dit ook nog niet als mogelijkheid beschouwd.

5 Discussie

In de ontwikkeling is getracht alle stappen en methoden zo samen te stellen, dat er een objectief beeld wordt gevormd van de datakwaliteit. Daarbij zijn echter een aantal discussiepunten te benoemen.

Allereerst wordt het kwaliteitsoordeel uitgedrukt met behulp van 1 tot 5 sterren, naar voorbeeld van Wojciechowska et. al (2017). Hierin wordt getracht door middel van criteria x aantal sterren toe te kennen aan de datakwaliteit. De toekenning is echter in belangrijke mate nog de interpretatie van de ingenieur en daarmee niet objectief. Door met collega's te discussiëren over de voorliggende casus wordt wel een motivatie gegeven die door meerdere personen wordt gedeeld, en dus een zo objectief mogelijk beeld.

Het is goed denkbaar dat een dataset/ meetnet goed scoort op het ene criteria en vervolgens slecht scoort op het volgende criterium. Het eindoordeel zal in de praktijk dicht bij de lage score liggen. Het is de vraag of dit helemaal juist is.

Indien de data zo slecht is dat het onmogelijk is om ook maar iets te concluderen op basis van de data, is het geven van een ster al optimistisch. Voor deze gevallen zou het wellicht beter zijn om 0 sterren te geven. Er is eerst voor gekozen om deze score niet mee te nemen, omdat er met slechte data wordt gewerkt door over te gaan op expert meningen. Bij het gebruik van het DKM in cases moet blijken of het gewenst is om de scores uit te breiden of niet.

De effectiviteit van de nieuw gedefinieerde meetstrategie wordt afgewogen in een kosten baten analyse. Gezien de criteria wordt verwacht dat een verbetering van bijvoorbeeld 1 naar 2 sterren meer zal opleveren dan een verbetering van 4 naar 5 sterren. In de kosten baten analyse is het daarom onwaarschijnlijk dat een meetstrategie wordt uitgevoerd die de data van 4 naar 5 sterren aan datakwaliteit brengt, tenzij het een zeer gevoelige parameter betreft.

De voorbeelden en cases in het IKM betreffen voornamelijk cases gebaseerd op waterveiligheid, specifiek op dijken. Het vakgebied van assetmanagement binnen ROBAMCI is echter breder. De toepasbaarheid in deze gebieden zal nog verder onderzocht moeten worden.

6 Conclusie en vervolg

6.1 Conclusie

Voor de ontwikkeling van het IKM zijn in fase 3 van ROBAMCI zijn meerdere doelstellingen gesteld, zoals te zien is in paragraaf 1.2. In de conclusie wordt per doelstelling een conclusie geformuleerd. Ten aanzien van het IKM zijn de volgende doelen gesteld:

C.1. Het IKM is tenminste een generalisatie van de case waterkeringen uit ROBAMCI fase 1. Waar nodig wordt het voor andere (typen) casussen aangevuld.

Er is een proof of concept opgesteld gebaseerd op de case waterkeringen uit fase 1. Door de data op een systematische maar simpele manier te visualiseren wordt veel inzicht verkregen in de kwaliteit van de data en vervolgens de informatie dat hieruit gehaald kan worden.

C.2. De gegeneraliseerde aanpak wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen. Hiervoor zijn de casussen 'Risk based inspection, Oesterdam' en 'Regionaal systeem, Rijnland' gekozen.

Beide cases zijn nog niet afgerond. Voor zover mogelijk staan de tussenconclusies genoemd in het rapport.

C.3. Met het IKM moeten tenminste de volgende vragen beantwoord kunnen worden:

- *Helpt monitoring bij de besluitvorming?*
Het DKM geeft inzicht in de kwaliteit van de data. Samen met de PTK geeft het IKM inzicht in de verdeling van de prestatie van de asset, inclusief de gevoelige parameters. Dit is echter door een gebrek aan (relevante) data nog niet het resultaat uit de cases.
- *Wat zijn de belangrijkste stochasten?*
Op basis van de gevoeligheidsanalyse worden de belangrijkste stochasten bepaald.
- *Is er voldoende data beschikbaar?*
Indien er weinig data beschikbaar is resulteert dit in een lage kwaliteitsscore. Een kwaliteitsscore van 1 ster leidt ertoe dat alleen expert judgement gebruikt wordt.
- *Welke gegevens moeten aanvullend verzameld worden?*
Op basis van het kwaliteitsoordeel en de gevoeligheidsanalyse kan bepaalt worden welke parameters aanvullend ingewonnen moeten worden.
- *Welke kwaliteit van data is vereist?*
Er is geen minimale kwaliteit van de data vereist. Wel is het kwaliteitsoordeel sturend in de prestatie van de asset, waarbij slechte kwaliteit data zorgt voor een brede spreiding.
- *Met welke kwaliteit kan er gemeten worden?*
De meetonzekerheid is benoemd, maar niet verder uitgewerkt. Het is case afhankelijk hoeveel onzekerheid de meetmethode met zich meebrengt en of dit verbeterd kán worden.
- *Hoe moet worden omgegaan met onvolledige datasets?*
Indien de onvolledige dataset een kwaliteitsscore krijgt van 1 ster wordt de dataset niet gebruikt. Indien er toch informatie uit de dataset gehaald kan worden, wordt deze gebruikt samen met expert judgement. Hoe deze data samen gebruikt kan worden is nog niet beschreven.

C.4. Het IKM helpt asset managers bij de beoordeling van de kwaliteit van de beschikbare data.

C.5. De procesaanpak draagt bij aan de bewustwording van asset managers over de invloed van informatiebeschikbaarheid en -kwaliteit op de besluitvorming.

De huidige versie van het IKM maakt in samenwerking met de PTK inzichtelijk wat de invloed is van de verschillende parameters op de spreiding van de prestatie van de asset. Met behulp van grafieken wordt dit eenvoudig duidelijk.

Tevens kan met behulp van het fitten van de verdeling op hoofdlijnen worden afgesproken welke ambitie de organisatie heeft. Met behulp van de gevoeligheidsanalyse kan duidelijk worden gemaakt óf het mogelijk is om de ambitie van de organisatie waar te maken, en welke inspanning hiervoor nodig is.

C.6. Het proof of concept van het IKM wordt zo goed mogelijk aangesloten op de bruikbaarheid in samenhang met de overige tools die zijn ontwikkeld binnen ROBAMCI. Dit moet zichtbaar worden gemaakt in een voorbeeld.

C.7. De rol van het IKM binnen de ontwikkelde tools van ROBAMCI is duidelijk/eenduidig gedefinieerd. De PTK is expliciet opgenomen in het processchema van het IKM. De PTK is niet gebruikt voor de case waterveiligheid in relatie met de proof of concept.

Wel is het DKM in combinatie met het IKM (dus PTK) ingezet bij de regionale case. Daarbij is slechts 1 parameter gevarieerd, waardoor de invloed van het Probabilistische berekening minimaal is. Daarnaast is de toegevoegde waarde van het probabilistische rekenen nog minimaal aangetoond, omdat deze case nog niet volledig is afgerond.

Kostenbaten analyse in IKM

D.1. De kosten-batenanalyse is een geïstrumenteerd onderdeel van het IKM. D.w.z. dat aan de bepaling van kosten en baten en afwegingen daarover kwantitatieve invulling gegeven wordt.

De kosten-batenanalyse is opgenomen in het IKM, waar ook het DKM en de PTK onderdeel van zijn. De methodiek van de kosten-batenanalyse is overgenomen van Wojciechowska et. al (2017), dit zou nog verder onderbouwd moeten worden.

D.2. De kosten-batenanalyse in het IKM helpt asset managers bij keuzes omtrent het verzamelen van aanvullende data.

In de kosten en baten analyse worden de kosten van de aanvullende metingen afgewogen tegen de verwachte baten van de aanvullende metingen. Daarmee helpt het managers bij de afweging wel of niet meer te gaan meten. Dit is nog niet aangetoond op basis van cases.

D.3. De kosten-batenanalyse wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen (bij voorkeur dezelfde als bij Proof of concept IKM).

De kosten-batenanalyse is slechts gedeeltelijk toegepast in de regionale case, door middel van een Netto Contante Waarde.

Proof of concept combineren expert kennis en data

E.1. Het proof of concept laat zien wat de meerwaarde is van combineren van expertmeningen en data voor besluitvorming over asset management.

E.2. Het proof of concept wordt uitgewerkt voor 1 casus.

E.3. Het proof of concept sluit goed aan bij de andere onderdelen van het IKM.

De expert meningen zijn niet toegepast in het rapport. Wel is de rol van expert meningen expliciet besproken in het DKM.

6.2 Vervolg

Het IKM is in fase 3 van ROBAMCI verder ontwikkeld. In fase 3 is onderscheid gemaakt tussen het Data kwaliteitsmodel, waarin de kwaliteit van de data wordt beschreven, en het informatie kwaliteitsmodel, waarin de prestatie van de asset centraal staat. Het DKM is versimpeld om de bruikbaarheid van het model te vergroten. Tevens is er een kwaliteitsoordeel toegevoegd waarin de kwaliteit van de data wordt beoordeeld van 1 tot 5 sterren. In het IKM is een aanzet gegeven om de baten van mogelijke strategieën te bepalen.

In de discussie zijn tevens een aantal onderdelen van het DKM/IKM genoemd die nog verbeterd kunnen worden. Om de robuustheid te testen en de invloed van de discussiepunten te testen wordt voor een vervolg aanbevolen om de vernieuwde versie van het DKM en IKM te testen op meerdere cases en de huidige rapportage daarmee uit te breiden.

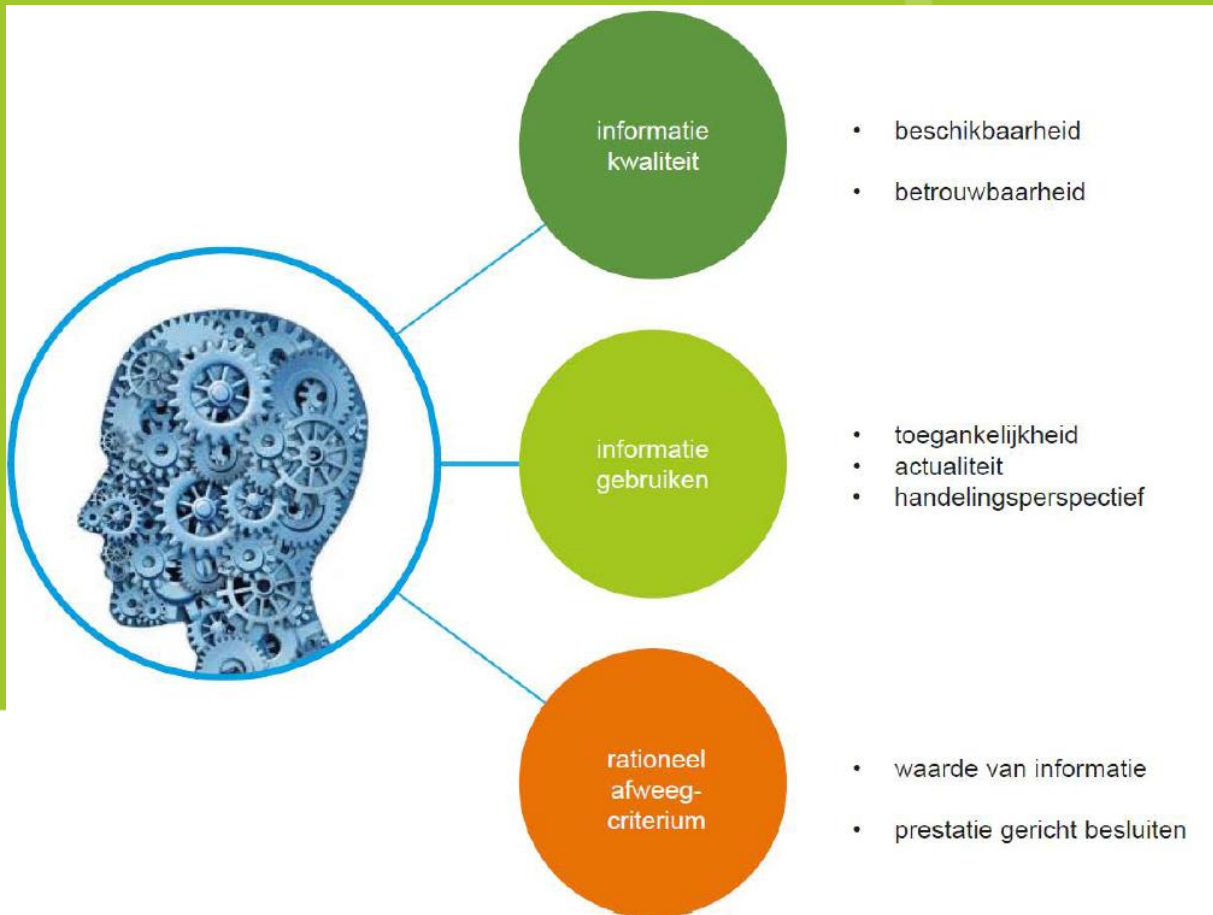
De kosten-batenanalyse is in fase 3 nog onvoldoende uitgewerkt. Het is aanbevolen in fase 4 het IKM te verbeteren door dit onderdeel te verbeteren én toe te passen in de cases.

7 Bibliografie

- Chbab, E. H., & van Noortwijk, J. M. (2002). *Bayesiaanse statistiek voor de analyse van extreme waarden*. Lelystad: RIZA.
- Grontmij. (2011). *Toetsrapport Zuid- en Noordeinderpolder, Drooggemaakte Hoef- en Schoutenpolder en Polder Nieuwkoop en Noorden*. De Bilt: Grontmij.
- Klerk, W. J. (2015). *Framework voor lifecycle management van publieke kritieke infrastructuur - Inventarisatie en framework versie 0*. Delft: Deltares.
- Klerk, W. J., Kanning, W., & van der Meer, M. (2016). *Beschrijving asset management tool waterkeringen versie 0.9 - ROBAMCI fase 1: casus waterkeren*. Leek: Stichting IJkdijk.
- Korving, H. (2004). *Probabilistic assessment of the performance of combined sewer systems*. Delft: TU Delft.
- Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. (2016). *Schematiseringshandleiding piping*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- van der Zon, N. (2013). *Kwaliteitsdocument AHN2*. Amersfoort: Het Waterschapshuis.
- Van Gelder, P. (2000). *Statistical methods for the risk-based design of civil structures*.
- van Stokkum, J., Pals, N., & Zomer, W. (2017). *Informatiekwaliteitsmodel - Rapportage*. Deventer: BZ Ingenieurs & Managers.
- Werkgroep Discontovoet. (2015). *Rapport werkgroep discontovoet*.
- Willems, P. (2000). *Probabilistic Imission Modelling of Receiving Surface Waters*. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Wojciechowska, K., Klerk, W., der Hammen, J., & Pot, R. (2017). *Beoordelingsframework Dijkeninformatie*. STOWA, RWS-WVL, HWBP.
- Zethof, M., Dupuits, G., & van Montfoort, M. (2018). *Memo rekenmodel Total Cost of Ownership Rijnland*. Delft: HKV.

Bijlage I: Framework Dijkinformatie

In het framework dijkinformatie is een belangrijke samenhang aangegeven tussen de informatiekwaliteit en informatiebeschikbaarheid. Als beide onderdelen voldoende aanwezig zijn kan er een rationele afweging worden gemaakt.



Figuur 11 Samenhang informatiekwaliteit, informatie gebruik en het rationele afwegingskader

Beide onderdelen kunnen worden beoordeeld van 1 tot 5 sterren, zie Tabel 1.

Aansluitend op de datakwaliteit is het informatiegebruik.

Handelingsperspectief	Informatiegebruik	Praktijkvoorbeeld
★ Handelen met beperkte data en informatie	▪ Informatie is niet digitaal beschikbaar. ▪ Het kost tijd om informatie centraal te stellen en juist te interpreteren. ▪ Informatie is niet direct bruikbaar voor verschillende beslisproblemen. ▪ Metadata niet op orde	▪ Papieren archief ▪ Data niet op dijksectie niveau beschikbaar
★ → ★★ Digitaliseren van relevante dijkeninformatie		
★★ Data digitaal beschikbaar en toegankelijk	▪ Informatie is digitaal opgeslagen op dijksectieniveau.	▪ Alle gegevens digitaal beschikbaar, maar niet geo-gerefereerd.
★★ → ★★★ Geo-refereren van gegevens en opzetten GIS		
★★★ Basisniveau Handelen op basis van beschikbare GIS bestanden, niet op basis van alle informatie besluiten nemen	▪ Data beschikbaar binnen de gehele organisatie voor verschillende beslisproblemen ▪ Alle achterliggende data van analyses in bezit van het waterschap en digitaal toegankelijk.	▪ Inzet GIS ▪ Alle gegevens geo-gerefereerd beschikbaar ▪ Voorbeeld: GeoNet (HHNK)
★★★ → ★★★★ Toegankelijk maken tot beschikbare informatie op dijkvakniveau		
★★★★ Alle informatie centraal beschikbaar	▪ Informatie is snel beschikbaar. ▪ Informatie is centraal beschikbaar, voor iedereen ▪ Veiligheidsoordeel, inspectieresultaten en beoordelingsresultaten in het veld toegankelijk	▪ Inzet online GIS met toegang voor betrokkenen inclusief metadata ▪ Voorbeeld: DDSC (Waternet)
★★★★ → ★★★★★ Informatievoorziening rondom dijksterkte en belasting inrichten op actualiteit		
★★★★★ Single Point of Truth (SPOT) voor de gehele keten van waterveiligheid	▪ Informatie is actueel (real-time) en compact (<i>to the point</i>) gericht op beslissingsondersteuning. ▪ Risicobenadering toegepast (faalkans x gevolgen)	▪ Decision Support Systems ▪ Alle dijksterkte informatie, informatie voor risicobeheersing realtime toegankelijk via dashboards

Bijlage II: Faalmechanismen met fysische modellen en parameterlijst

De sterkte van de primaire kering wordt met behulp van het WBI bepaald voor verschillende faalmechanismen. In eerste instantie wordt gefocust op de mechanismen die te maken hebben met de stabiliteit van de ondergrond en bekledingen. Dit betekent dat Niet Waterkerende Objecten (NWO's) en Kunstwerken eerst buiten beschouwing worden gelaten. In de WBI worden de volgende faalmechanismen onderscheiden:

- Piping (STPH)
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBI)
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBU)
- Microstabiliteit (STMI)
- Asfalt Golfklap (AGK)
- Asfalt Opdrukken (AWO)
- Gras Erosie Buitentalud (GEBU)
- Gras Afschuiven Buitentalud (GABU)
- Gras Erosie Kruin Binnentalud (GEKB)
- Gras Afschuiven Binnentalud (GABI)
- Stabiliteit Steenzetting (ZTS)

De gebruikte modellen voor de sterkte bepaling en de dominante parameter(s) wordt gegeven in Tabel 6. Deze lijst is slechts bedoeld ter indicatie.

Tabel 6 Parameters met bijbehorende (sterkte)modellen en belangrijkste parameters

Faalmechanisme	Model/emperische relatie		Globale beeld	Parameter
STHP	Opbarsten Emperische relatie	DGeoFlow	Ondergrond schematisatie	Dikte deklaag Volume gewicht Dempfactor
	Heave			Dikte deklaag
	Terugschrijdende Erosie Sellmeijer relaties			Doorlatendheid D70 Kwelweg
STBI	DGeoStability BM Macrostabiliteit		Ondergrond schematisatie	Sterkte eigenschappen: - S - m - POP Freatische lijn Leklengte Volume gewichten
STBU	DGeoStability		Ondergrond schematisatie	Sterkte eigenschappen: - S - m - POP Freatische lijn Leklengte Volume gewichten
STMI	Empirische relatie		Opbouw dijk Ondergrond schematisatie	Profiel schematisatie Grondsoort dijk kern Doorlatendheid dijk kern

			Freatische lijn
AGK	BM Asfalt Golfklap	Opbouw asfalt	Profiel schematisatie Onderlaag Dikte asfalttoplaag Elasticiteitsmodulus asfalt Buigtreksterkte ondergrond Veerconstante ondergrond
AWO	Empirische relatie	Opbouw asfalt	Dikte asfalt Type ondergrond
GEBU	BM Gras Buitentalud	Opbouw dijk	Profiel schematisatie Graskwaliteit (open/gesloten/ fragmentarisch) Zandgehalte Dikte kleilaag
GABI	Empirische relaties	Opbouw dijk	Taludhelling Dikte kleilaag
GEKB	Riskeer/Ringtoets PC Overlag	Opbouw dijk	Profiel schematisatie (Kruinhoogte)
GABI	Riskeer/Ringtoets PC Overslag	Opbouw dijk Ondergrond schematisatie	Profiel schematisatie Grondsoort dijk kern Doorlatendheid dijk kern Freatische lijn
ZST	Steentoets (excel)	Opbouw dijk Ondergrond schematisatie	Profiel schematisatie Type/ dikte/ materiaal toplaag Type/ dikte/ materiaal/ korrelverdeling onderlaag Type/ dikte/ materiaal/ korrelverdeling uitvullaag

Bijlage III: DDSC data Noorderzijlvest

Inleiding

In de derde toetsronde is de Ommelanderzeedijk afgekeurd voor macrostabiliteit binnenwaarts. Er waren twijfels over de gebruikte schematisatie. In het binnentalud van de primaire kering is een oude kleidijk aanwezig. Deze is echter niet meegenomen in de uiteindelijke schematisatie. Om een goed inzicht te krijgen in de dijk is besloten een monitoringssysteem op te zetten, de LiveDijk. Voor meer informatie over de Livedijk, zie het eindrapport van xx.

Stap 1: Bepaal relevante variabele

Het doel van de case waterkeringen is het verifiëren van de grondopbouw met behulp van monitoring. De relevante variabele is in dit geval de freatische lijn. Deze redenatielijn wordt overgenomen van de case uit fase 2.

Vanuit de case wordt voornamelijk gekeken naar de freatische lijn op een maatgevend moment. Er zit echter nog een interessante component in deze dataset, namelijk de tijdserie voor elke locatie. Daarom wordt naast de ruimtelijke spreiding ook naar de spreiding in tijd bekeken.

Stap2: Beschikbaarheid data

Er zijn 7 peilbuisraaien geïnstalleerd bestaande uit 4 waterspanningsmeters en voor sommige raaien maximaal 2 aanvullende peilbuizen verspreid over 10 kilometer.

De waterspanningsmeters zijn op 4 locaties in de kruin geïnstalleerd, op verschillende diepten. In principe zijn de waterspanningsmeters op de zelfde locatie in een dijk geïnstalleerd, dit wil niet per definitie zeggen dat dit dezelfde diepte betreft.

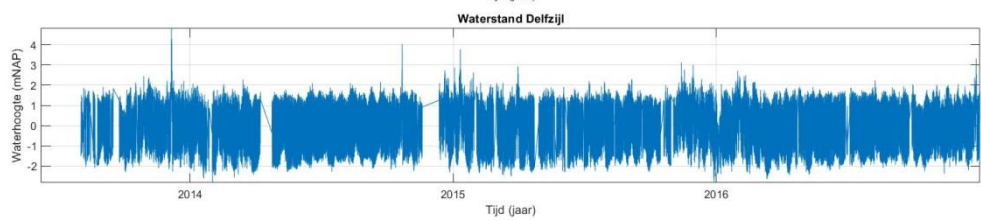
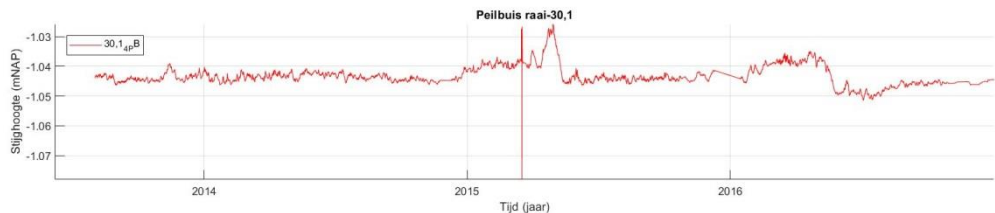
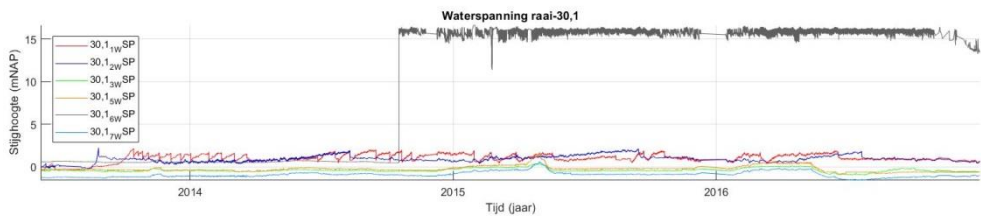
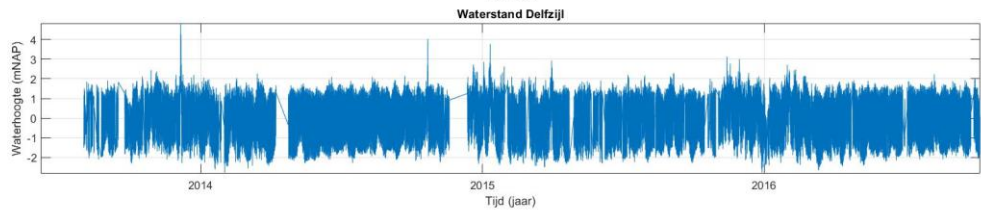
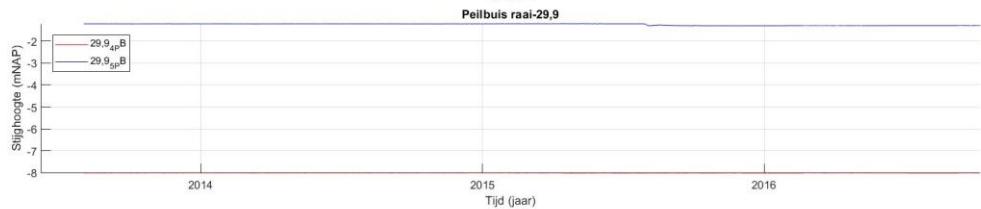
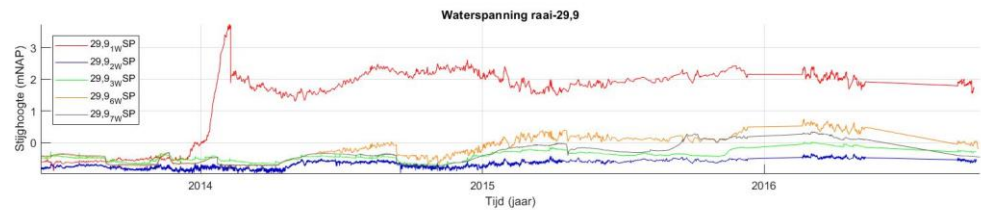
De relevante variabele is de freatische lijn. Niet alle waterspanningen representeren de freatische lijn. Omdat er misschien verbanden zijn te ontdekken tussen de verschillende waterspanningen, worden ze wel allemaal geplot. Vervolgens wordt de relevante waterspanningslocatie gekozen.

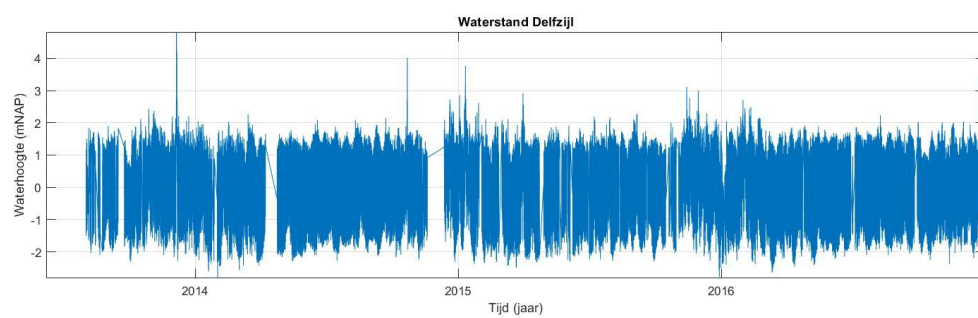
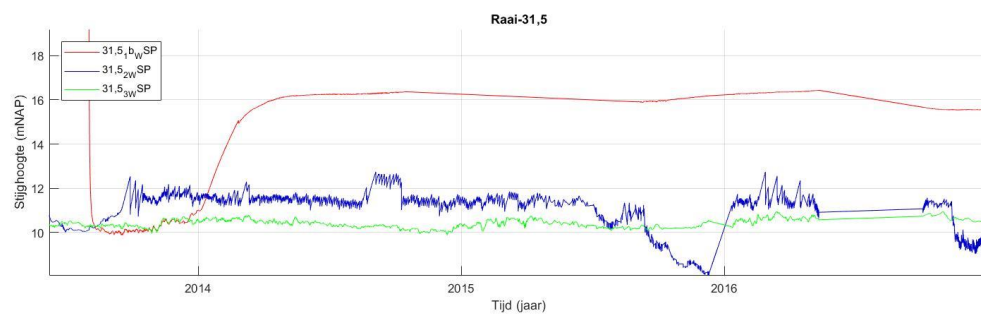
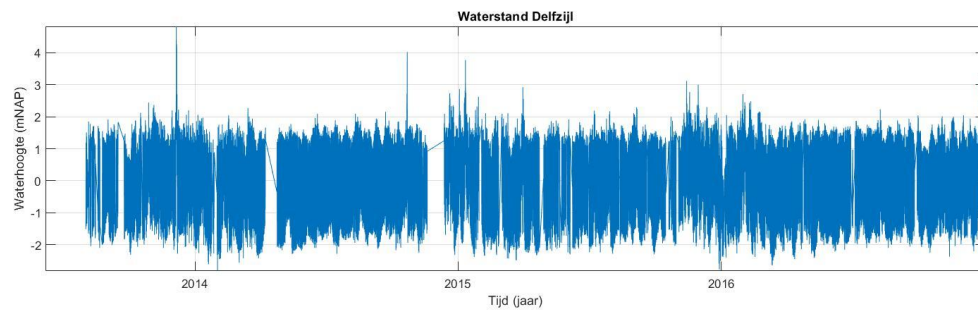
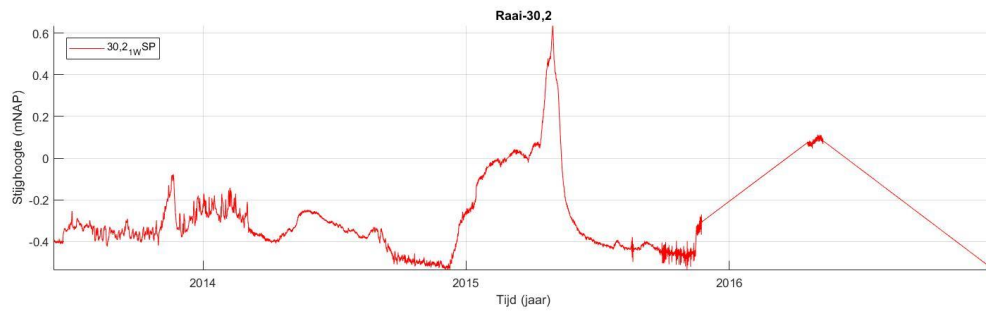
Stap 3: Visualisatie en interpretatie

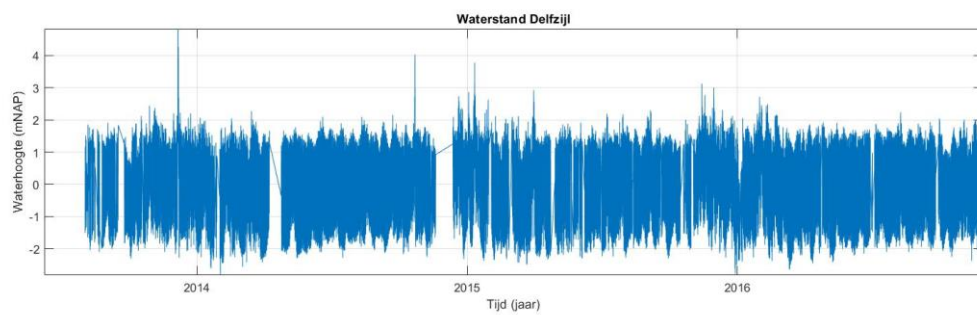
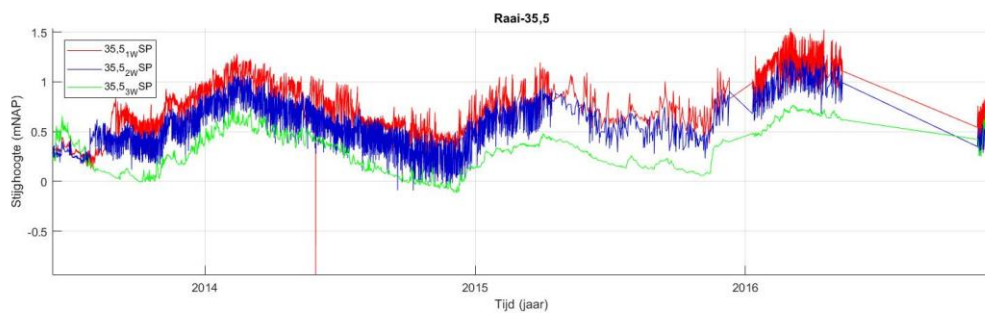
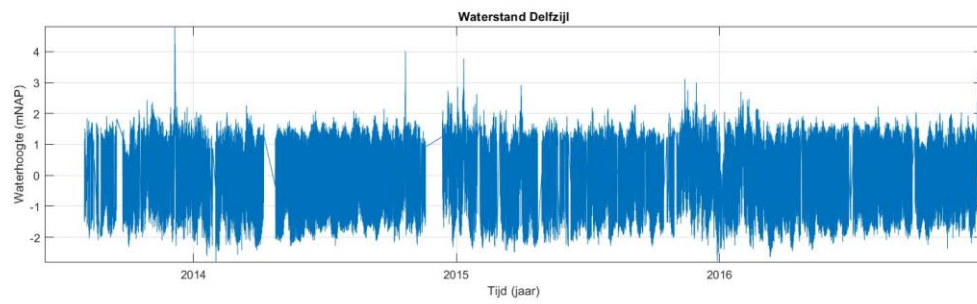
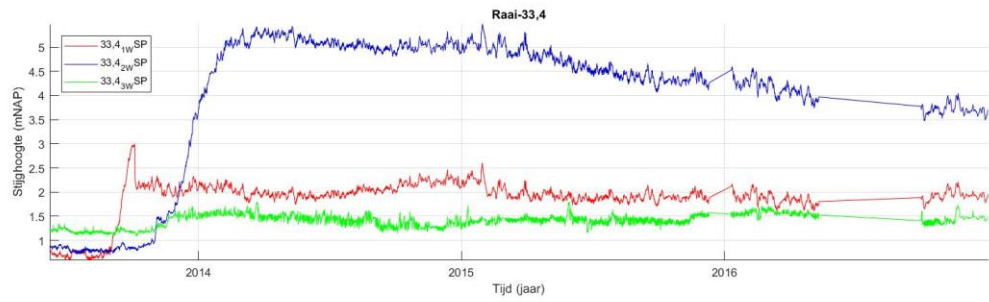
De data wordt in 3 fasen gevisualiseerd en geïnterpreteerd.

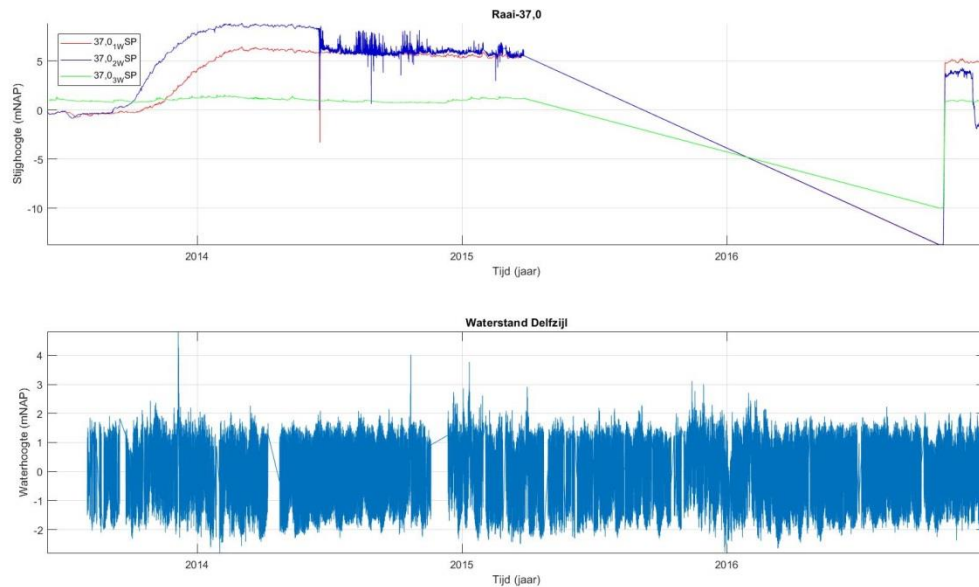
Stap 3A: Visualiseer data

De ruwe data is in onderstaande figuren per raai geplot tezamen met de waterstand bij Delfzijl.



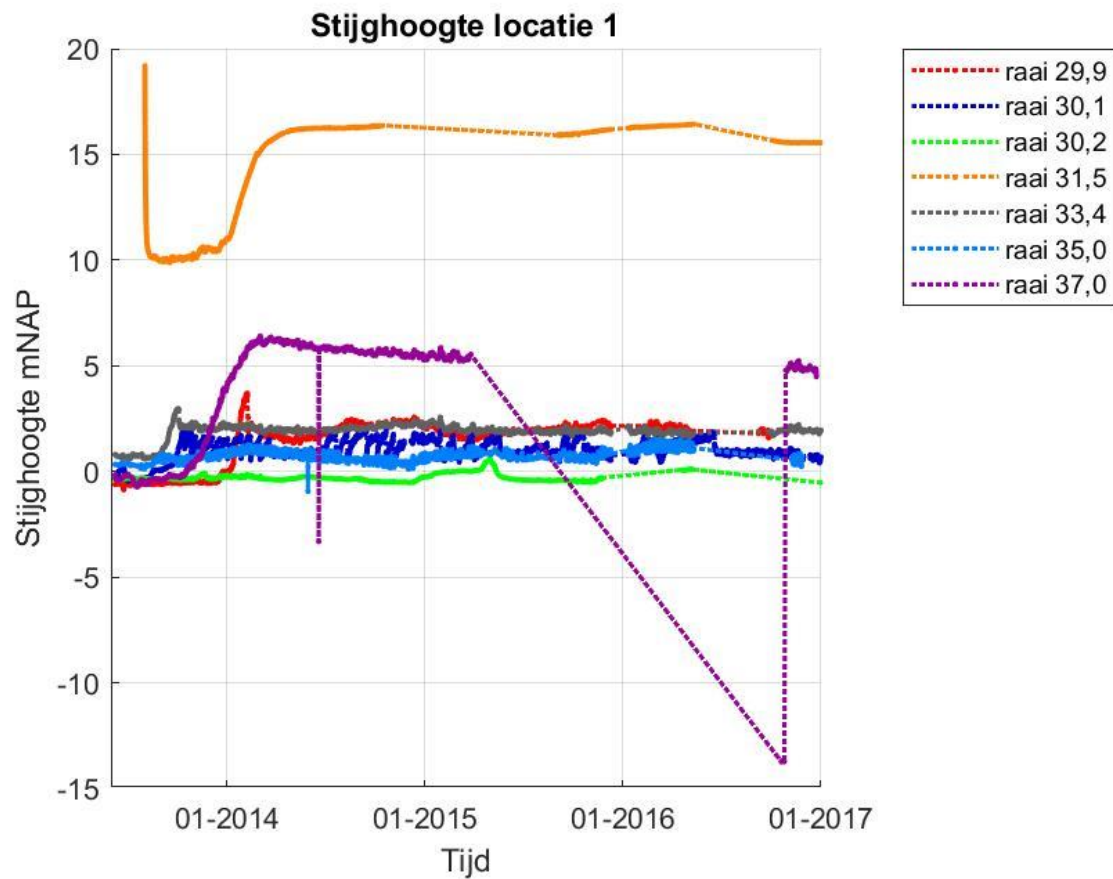






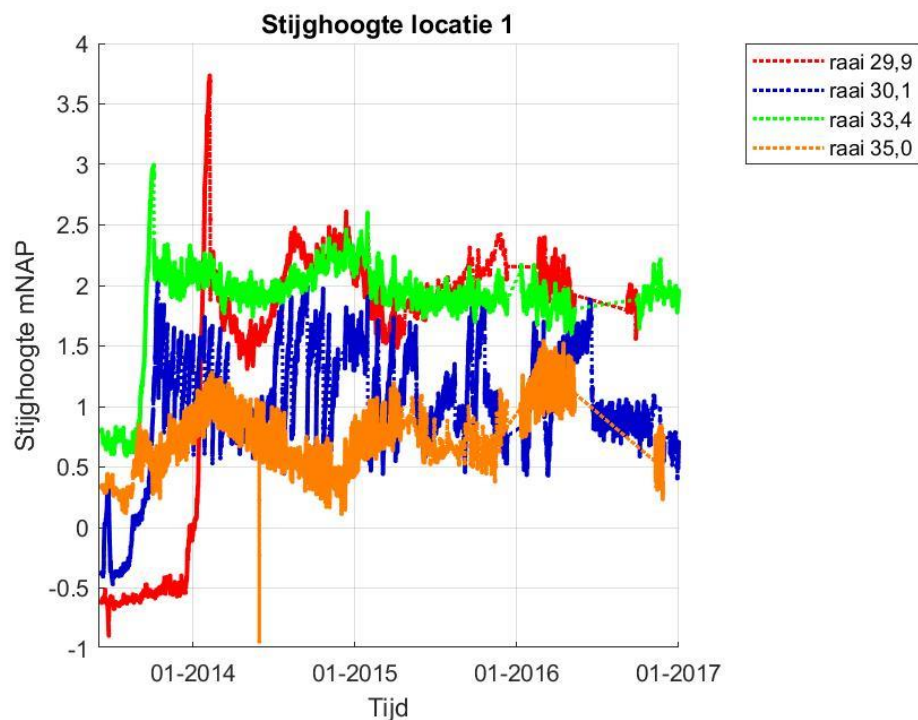
Door de visualisatie van de ruwe data wordt direct duidelijk dat er een aantal opvallende fenomenen zijn waargenomen. Zo is bijvoorbeeld bij raai 37,0 in 2016 een enorme dip te zien met een stijghoogte van NAP – 10 meter. Dit is erg onrealistisch, en dus waarschijnlijk een meetfout. In raai 30,1 is voor waterspanningsmeter 30,4 is eind januari 2015 ineens een enorme stijging te zien tot NAP 10 meter.

Voor deze case is alleen de freatische lijn belangrijk. Dit wordt gemeten door waterspanningsmeter 1 in de raai.



Voor locatie 1 is de stijghoogte van raai 33,4 onrealistisch hoog. Deze data wordt dan ook uit de set verwijderd. De resterende dataset is te zien in onderstaande figuur.

OMZD_29,9_1	-4.67
OMZD_30,1_1	-2.83
OMZD_31,5_1	-4.09
OMZD_33,4_1	-4.65
OMZD_35,5_1	-2.54
OMZD_37,0-1	-4.53



Figuur 12 Resterende waterspanningsmeters

Stap 3B: Visualiseer data

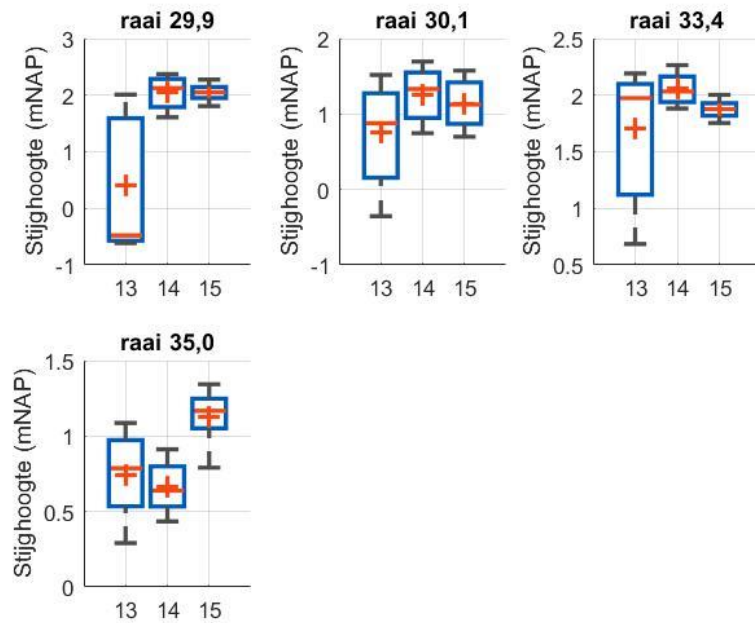
In Figuur 12 is te zien dat nogal wat data mist in voornamelijk het laatste jaar van meten. Het percentage van beschikbare datapunten is samengevat in Tabel 7.

Tabel 7 Beschikbare data per raai¹

	% beschikbare data		
	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Raai 29,9	96,78	76,51	22,92
Raai 30,1	96,88	91,70	80,84
Raai 33,4	97,20	90,67	78,18
Raai 35,0	97,40	79,85	35,18

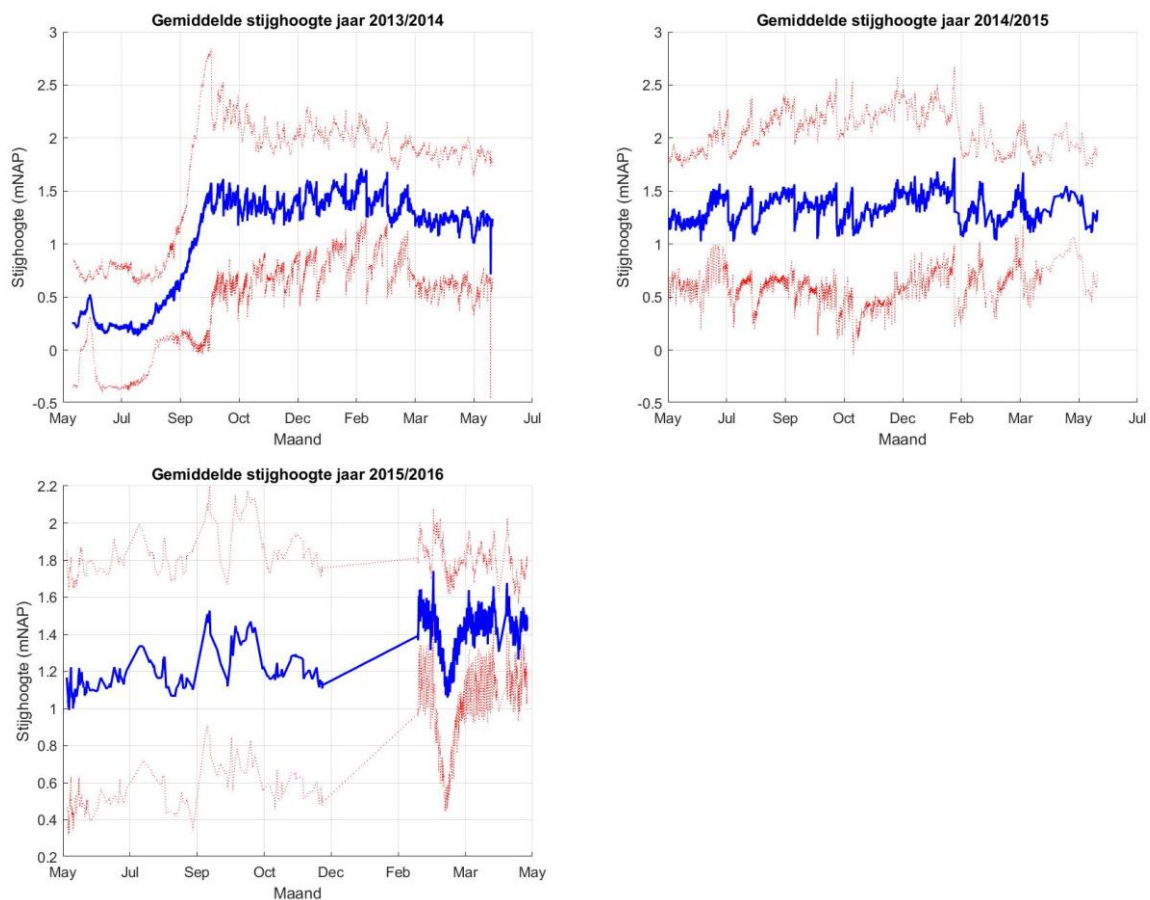
Tevens is te zien dat er een groot verschil zit in patroon tussen de verschillende meetreeksen. De boxplot van Figuur 12 is te zien in Figuur 13. v

¹ Er is vanuit gegaan dat er elk kwartier gemeten wordt. Dat betekent dat er voor een niet- schrikkeljaar in theorie 35040 meetmomenten zijn. Dit is gelijk gesteld aan 100%.



Figuur 13 Boxplot van data van locatie 1 per raai

Op basis van de boxplotten lijkt er een harde ondergrens te zijn voor raai 29,9 van NAP -0,8 meter. In Figuur 14 is de gemiddelde waarde over alle raaien geplot, inclusief de bandbreedte van de standaardafwijking.



Figuur 14 Gemiddelde waarde (in blauw) inclusief standaardafwijking (in rood) per jaar voor de raaien 29,9, 30,1, 33,4 en 35,0

Voor de voorspelling onder maatgevende omstandigheden gaat het echter om de maximaal gemeten waarde. De gemiddelde maximaal gemeten waarde per jaar over de 4 raaien, de ruimtelijke standaardafwijking van de 4 raaien, de mediaan van de 4 raaien, de ondergrens gemeten in 1 raai en de bovengrens gemeten in 1 raai is te zien in Tabel 8. In het jaar 2013/2014 is de maximale waarde gemeten bij waterstand van 4,35 meter.

Tabel 8 Gemiddelde waarde en standaard afwijking van de piekwaarde per jaar

	2013/2014	2014/2015	2015/2016
Gemiddelde (mNAP)	1.66	1.61	1.27
Std (mNAP)	0.58	0.97	0.64
Mediaan (mNAP)	1.63	1.82	0.95
Ondergrens (mNAP)	1.11	0.56	0.86
Bovengrens (mNAP)	2.26	2.46	2.00

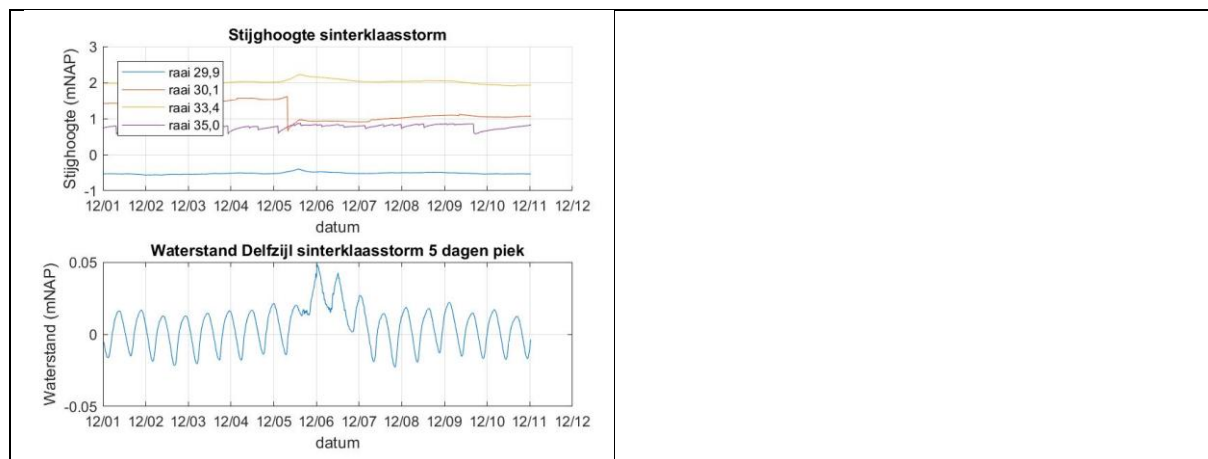
Stap 3C: interpreteer data

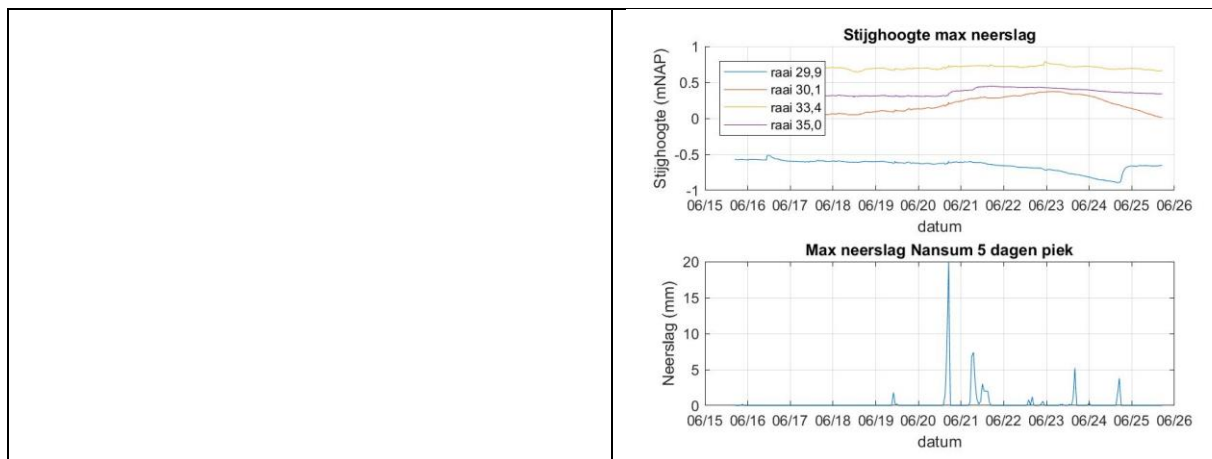
Opvallend is dat raai 29,9 en 33,4 en raai 30,1 en 35,0 eenzelfde patroon laten zien. Bij raai 29,9 en 33,4 is er in 2013 een grote spreiding tussen de 5% en 95% waarde. De gemiddelde waarde (plusje in figuur) en mediaan (streep in figuur) liggen echter ver uit elkaar. De drift die in het eerste jaar plaats vindt is moeilijk verklaarbaar vanuit de data. Voor de jaren 2014 en 2015 liggen de gemeten stijghoogtes rond de 2 mNAP. Het kleine verschil tussen de 5% en 95% waarde voor zowel raai 29,9 als 33,4 voor het jaar 2015 komt doordat een groot deel van het jaar geen stijghoogte is geregistreerd. De periode waarin geen stijghoogte is geregistreerd is toevallig gelijk, waardoor de resultaten in de boxplot toch op elkaar lijken.

Voor de raaien 30,1 en 35,0 zit de gemeten stijghoogte tussen de 0,5 mNAP en 1,5 mNAP, voornamelijk voor de jaren 2014 en 2015. De verhoging van de stijghoogte van het jaar 2015 voor raai 35,0 kan niet los worden gezien van het percentage beschikbare data. Doordat de beschikbare data voornamelijk uit de winter komt, ligt de gemiddelde stijghoogte, 5% en 95% waarde ook hoger.

De overeenkomsten tussen beide raaien komt overeen met de hoogte waarop de waterspanningsmeters zijn geïnstalleerd. Alhoewel de waterspanningsmeters op dezelfde locatie in de dijk liggen, is de diepte mede bepalend voor de geregistreerde stijghoogte.

Een deel van de kwaliteit van de data ligt ook aan de representativiteit van de data. Daarom is nagegaan of het systeem ook reageert op bijvoorbeeld de buitenwaterstand of regenval.





Stap 4: Data kwaliteit

Op basis van de het sterrenstelsel heeft de data een kwaliteit van 2 sterren voor locatie 1 in de kering.

Er is data beschikbaar, waardoor het automatisch 1 ster krijgt. De databeschikbaarheid is echter erg wisselend voor de drie jaren.

Er is eerst kritisch beoordeeld of de gemeten waarde ook representatief kan zijn voor het stelsel. Een stijghoogte van NAP 10 meter is onrealistisch. Er is als handregel gehanteerd dat alle metingen groter dan NAP 6 meter en metingen kleiner dan NAP – 6 meter onrealistisch zijn.

Daarbij komt dat er jaren zijn in de data waar aan getwijfeld kan worden. Voor bijvoorbeeld 2013/2014 is er een grote spreiding te zien voor de locaties 29,0 en 33,4 terwijl voor de twee opeenvolgende jaren dit niet is te zien. Daarbij komt dat voor deze twee locaties er erg weinig data beschikbaar is om alle seizoenen voldoende betrouwbaar te beschrijven.

Stap 5: Expert Judgement

Gezien de interpretatie van de data is het te adviseren deze uitkomsten te valideren samen met experts. Dit is voor de uitwerking van de case niet gedaan. Daarom wordt deze stap overgeslagen.

Stap 6: Kwantificeer onzekerheid

De enige relevante onzekerheid is de ruimtelijke onzekerheid. De gemiddelde waarde van de freatische lijn van de Ommelanderzeedijk is NAP 1,66 meter met een standaardafwijking van NAP 0,58 meter.

Voor het vraagstuk van de Ommelanderzeedijk gaat echter niet om gemeten extreme waarden, maar om maatgevende omstandigheden. Er is gemeten bij een waterstand van NAP 4,35 meter, terwijl NAP 6 meter de maatgevende waterstand is. Er zal daarom een (empirische) formule/relatie gebruikt moeten worden om de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden te bepalen.

Zoals is aangegeven in het rapport van de case waterkeringen, is dit de een na hoogste waterstand ooit gemeten. deze waterstand ligt dus relatief dicht bij de ULS, vergeleken met dagelijkse omstandigheden. Daarmee heeft deze waarde een grote waarde voor de voorspelling van de stijghoogte data.

Conclusie

Op basis van de infrastructuur van de monitoring werd verwacht dat er veel data beschikbaar zou zijn. Bij de analyse van de beschikbare data volgens de stappen van het IKM wordt echter systematisch duidelijk dat niet alle gemeten data bruikbaar is door onverklaarbaar hoge waarden of onverklaarbare drift in de data.

De resultaten van de freatische lijn zijn verder niet gebruikt in de PTK of een fysisch model.

Bijlage IV: Regionale case Rijnland

Inleiding

Waterschap Rijnland heeft vele kilometers aan regionale keringen in beheer. Om de sterkte van de kering te beoordelen, en daarmee de veiligheid van de omgeving te toetsen, wordt de regionale kering periodiek getoetst. In de laatste toetsing uit 2012 wordt een deel van het traject Alphen aan de Rijn – Zwammerdam afgekeurd voor hoogte en macrostabiliteit binnenwaarts.

In de case wordt beoordeeld hoe een aanpassing in de beheerstrategie mogelijk tot een alternatief oordeel wordt gekomen. Tevens wordt beoordeeld of het onderling afstemmen van (groot) beheer en onderhoud kan leiden tot kostenbesparing.

Onderlinge paragrafen is een samenvatting van de methodiek en resultaten die zijn gevolgd. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar het rapport (bron xx).

Methode

Om de impact van de veranderende beheerstrategie te simuleren wordt gebruik gemaakt van twee fysische modellen:

- | | |
|---|---------------|
| - Macrostabiliteit buitenwaarts en binnenwaarts | DGeoStability |
| - Hoogte | Promotor |
| - Corrosie damwand | Vuistregel |

DGeoStability is gebruikt om de initiële maatgevende glijcirkel te berekenen voor een maatgevend profiel. De restbreedte van de kering is vervolgens bepaald om daarmee veroudering van de kering te kunnen simuleren. De veroudering is gebaseerd op de zetting. Door de zetting wordt de breedte van kering minder, waardoor de restbreedte ook afneemt. Op het moment dat er geen restbreedte meer over is, moet de kering worden versterkt. Het aangenomen verouderingsmodel voor macrostabiliteit binnenwaarts is schematisch weergegeven in Figuur 15 (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018).



Figuur 15 Verouderingsmodel stabiliteit binnenwaarts

De zetting heeft tevens een directe invloed op de kruinhoogte, en daarmee op de faalkans van de hoogtetoets zoals uitgevoerd door Grontmij (Grontmij, 2011). Het aangenomen verouderingsmodel voor hoogtetoets is te zien in Figuur 16 (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018).



Figuur 16 Verouderingsmodel hoogtetoets

De impact van de veranderde beheerstrategie wordt afgewogen in een kosten-baten analyse.

Data

Om de prestatie van de regionale kering DGeoStability en Promotor te simuleren voor de regionale kering tussen Alphen aan de Rijn en Zwammerdam te bepalen wordt de regio.

De belangrijkste parameters die worden beoordeeld in het IKM zijn:

- Zettingen
- Waterstand
- Corrosie

De waterstand wordt voor de regionale kering constant gehouden door actief peilbeheer. De maatgevende waterstand is daarmee redelijk voorspelbaar gegeven het systeem, en ligt dicht bij de dagelijkse omstandigheden. De waterstand wordt niet probabilistisch beschreven voor de scenario-analyse.

De corrosie wordt met behulp van een vuistregel beoordeeld. Deze data is niet met behulp van een expert sessie ingewonnen. Daarom wordt deze data eerst niet meegenomen.

DKM

Het IKM wordt primair doorlopen om de input van de freatische lijn en zettingsdata. Tevens wordt ook de inspectiedata van een kwaliteitsoordeel voorzien. Dit wordt gedaan om een aanbeveling te kunnen doen voor toekomstig beheer op basis van de data.

Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

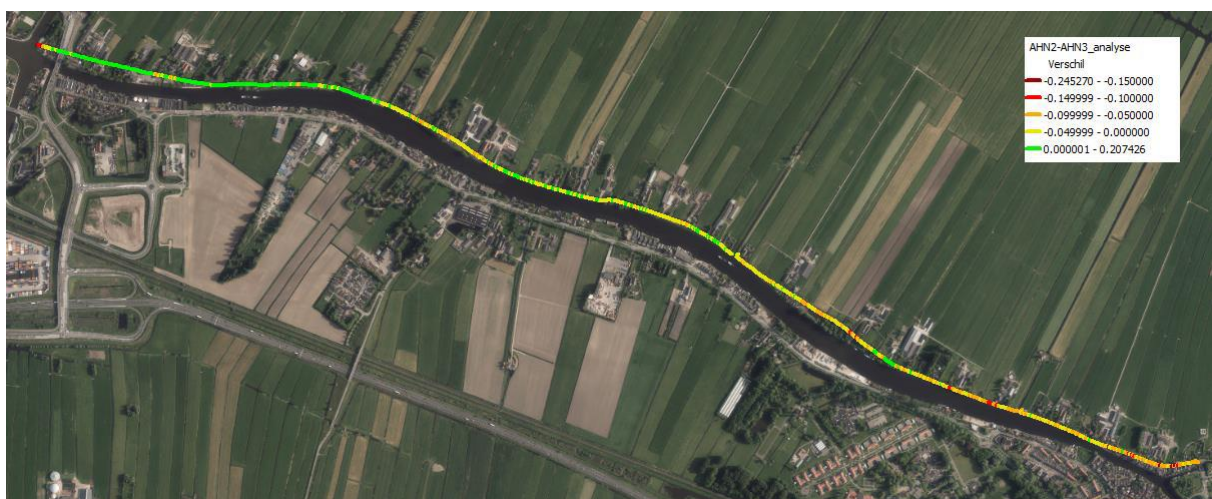
Het waterschap Rijnland heeft zelf geen metingen uitgevoerd naar de hoogte van de kering. De enige bron voor de hoogte van de kering is alleen het Algemene Hoogtebestand Nederland (AHN), namelijk AHN2 (uit 2008) en AHN3 (uit 2009).

Stap 3: Visualiseer en kwantificeer data

Het visualiseren en kwantificeren van de data is opgesplitst in 3 stappen, namelijk het visualiseren van de ruwe data en het filteren van uitschieters in stap 3A, het visualiseren van de resterende dataset in stap 3B en het interpreteren van de data in stap 3C.

Stap 3A: Plot ruwe data en filter op uitschieters

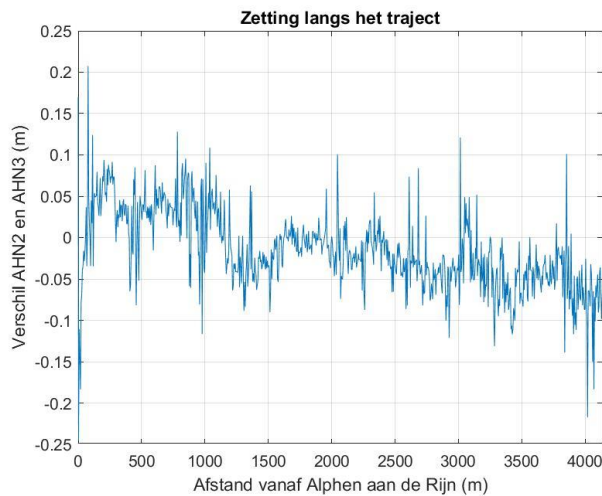
Er is door het waterschap reeds een verschilanalyse gemaakt tussen de data van AHN2 en AHN3 specifiek voor de kering. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 17.



Figuur 17 verschilanalyse AHN2-AHN3

Op basis van bovenstaande figuur kan worden gesteld dat er ter hoogte van Alphen aan de Rijn (westelijk in het plaatje) een verhoging heeft plaats gevonden, terwijl oostelijk sprake is van zettingen.

Om beter inzicht te krijgen in de zettingen is deze data uitgezet in een grafiek waarin de zetting over de lengte van het traject is afgezet. De grafiek begint bij Alphen aan de Rijn (westelijk) waar de groeiende afstand richting het westen loopt.



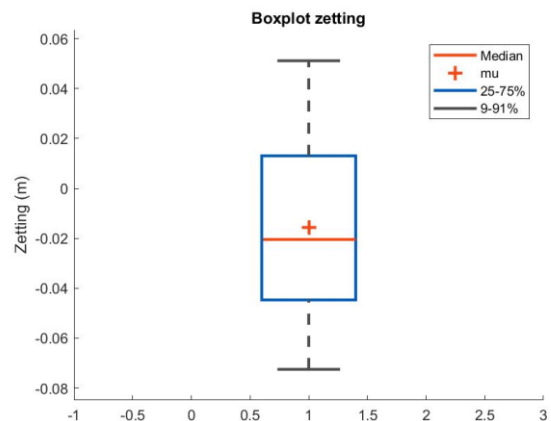
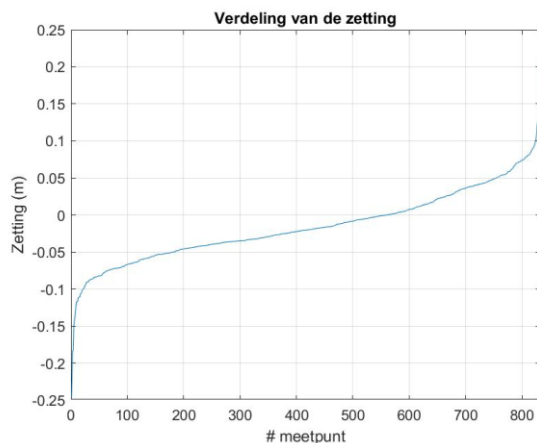
Figuur 18 verschilanalyse AHN2-AHN3 uitgezet in grafiek

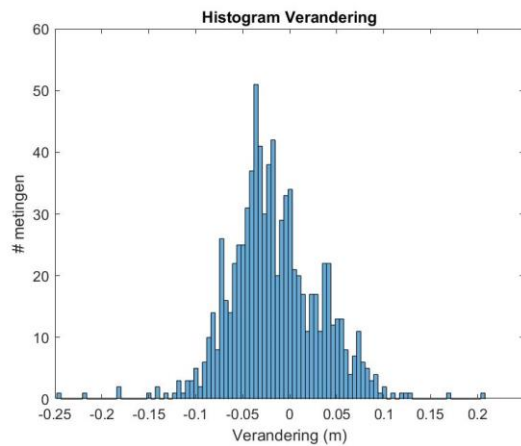
Er zijn een aantal uitschieters te zien in Figuur 18, zowel positief (stijging van de grond) als negatief (zetting). De verhoging is mogelijk veroorzaakt door werkzaamheden als het vernieuwen van het asfalt of overig verstorend ingrijpen. Het is opvallend dat dicht bij Alphen aan de Rijn (bij afstand 0) zowel een grote negatieve piek zit (-0.25) als een grote positieve piek (0.2).

Er is geen reden om bepaalde data uit te sluiten voor de vervolgstappen.

Stap 3B: Visualisatie data

De data uit Figuur 18 wordt omgezet om de verdeling te kunnen schatten voor het vervolg. De omzetting gebeurt zowel in een verdelingsgrafiek van de zetting, zoals is te zien in Figuur 19.





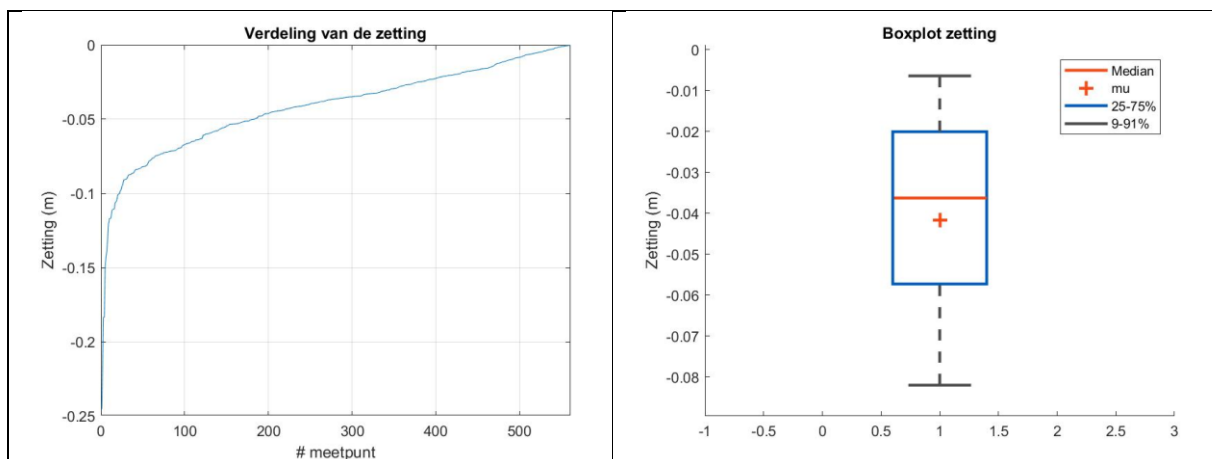
Figuur 19A) Verdeling van de verandering van het traject; B) Boxplot van de verandering; C) Histogram van de verandering

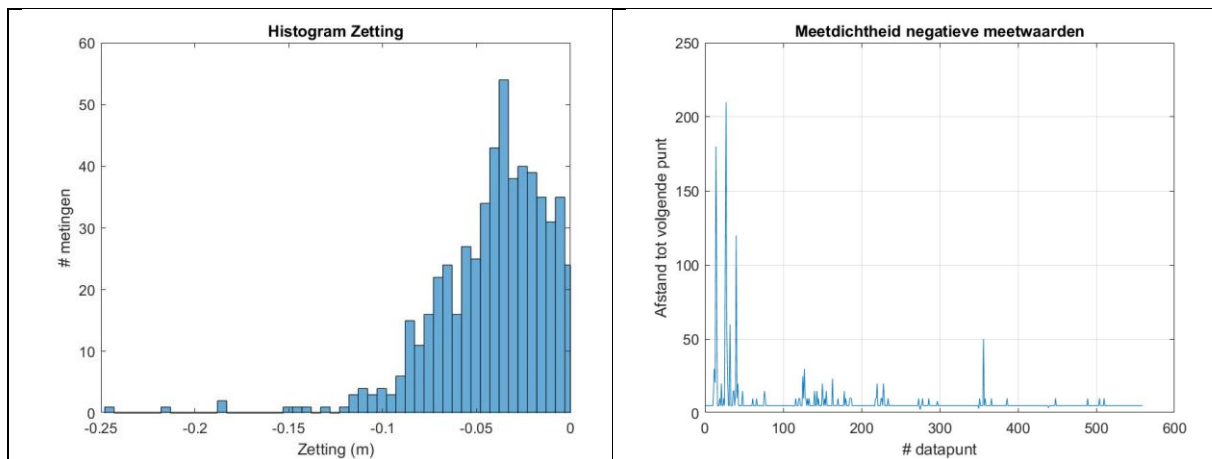
De data van de boxplot is tevens te zien in Tabel 9.

Tabel 9 Samenvatting belangrijke waarden

	Totaal [m]	Snelheid [m/jaar]
Gemiddelde	-0,016	-0,0026
Mediaan	-0,020	
Std	0,048	
5%	-0,083	
95%	0,068	

Van nature is een stijging van de grond namelijk onrealistisch in deze regio. Het is daarom redelijkerwijs aan te nemen dat er menselijke ingrepen zijn geweest die de stijging tot gevolg hebben. De versterking is niet van belang voor het kwantificeren van de zetting. De data is daarom opgesplitst in een dataset met zettingen en een dataset met stijging, waarvan de dataset met zettingen van belang is. Bij de opsplitsing van de data volgt de aanname dat alle negatieve waarden zettingen zijn, waar geen versterking heeft plaats gevonden.





Figuur 20A) Verdeling van de zetting in zettingsgebied; B) Boxplot van de zetting C) histogram van de zetting en D) afstand tot volgende datapunt

Tevens is deze data samen gevat in Tabel 10.

Tabel 10 Snelheden van zettingsgebied

	Totaal [m]	Snelheid [m/jaar]
Gemiddelde	-0,042	-0,007
Mediaan	-0,036	-0,006
Std	0,031	0,005
5%	-0,004	-0,003
95%	-0,091	-0,028
Ondergrens	-0,245	-0,04

Stap 3C: Interpreteer data

De gemiddelde verandering van het traject is -0,016 meter en de mediaan van der verandering is -0,02 meter, waarmee geconcludeerd kan worden dat er over het algemeen sprake is van zetting op het traject Alphen aan de Rijn – Zwammerdam. Dit wordt bevestigd in figuur 4 waar tevens de verandering van het totale gebied is te zien. De verdeling van de verandering lijkt op een normale verdeling, zoals valt op te maken uit de boxplot en de histogram uit figuur 4B en 4C.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel is echter alleen de zetting van belang. De zettingssnelheid van zettingsdata betreft 7 mm per jaar met een standaardafwijking van 5 mm/jaar.

Op basis van de verdeling van de zetting zou geconcludeerd kunnen worden dat er sprake is van een lognormale verdeling. Indien echter wordt gekeken naar de volledige data set blijkt dat duidelijk sprake is van een normale verdeling. Door het opsplitsen van de dataset is er een harde ondergrens van de verdeling ontstaan bij een zetting van 0 meter.

De dichtheid van meetpunten met de negatieve verandering (zetting) is kleiner dan de originele AHN data. Voornamelijk bij Alphen aan de Rijn zijn er positieve verandering in de hoogteligging. Hierdoor wordt bij het filteren van de dataset op positieve waarden, de dichtheid van meetpunten op dit traject een stuk kleiner, zie Figuur 20D. Hierin is de afstand naar het volgende datapunt te zien, dit loopt in het begin van het traject tot meer dan 200 meter in plaats van de oorspronkelijke 5 meter.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel worden zettingssnelheden per jaar gebruikt. Deze worden berekend door de zetting over zes jaar te delen door de zes jaar. Hierbij wordt aangenomen dat de zetting lineair heeft plaats gevonden. Vanuit de kwaliteitscontrole wordt

aangegeven dat er een maximale meetfout van 5 centimeter aanwezig kan zijn in de dataset van AHN2 (van der Zon, 2013). Deze meetonzekerheid is groot vergeleken met de gemiddeld gemeten zetting van 4,2 centimeter.

Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de grafieken en de interpretatie van de data wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 4 criteria:

- 1. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data**
Er is een tijdreeks van zetting samengesteld uit beide datasets.
- 2. Uitschieters**
Er zijn geen grote uitschieters aanwezig in de dataset.
- 3. Aantal datareeksen over vergelijkbare periode**
Er is slechts 1 tijdreeks aanwezig. Hiermee kan de data niet gevalideerd worden.
- 4. Ruimtelijke verdeling van meetpunten**
De ruimtelijke resolutie van de beschikbare data is om de 5 meter. Dit is inclusief positieve verandering.
Indien alleen negatieve zetting wordt meegenomen is de kleinste dichtheid een datapunt in de 200 meter.
- 5. Kwaliteit meetmethode**
De foutmarge van de meting is 5 cm. Dit is een relatief grote foutmarge ten opzichte van het resultaat van de verandering. Dit maakt de meting onbetrouwbaarder.

De score voor de datakwaliteit is 2 sterren. De afwezigheid van datareeksen ter validatie gecombineerd met de relatief grote onzekerheid van de meetmethode veroorzaakt de lage score.

In het IKM is bepaald dat bij een score van 2 sterren tevens expert data gebruikt moet worden voor het meten van de prestatie van de asset. Op basis van de verschillen moet bepaald worden wat de input gaat zijn voor de zetting.

Stap 5: expert judgement

Als vuistregel in de hoogtetoets wordt een zetting van 1 cm/jaar gebruikt. Deze vuistregel is afkomstig van het waterschap. Er is geen bandbreedte bekend op basis van expert judgement.

In een gezamenlijk overleg met het waterschap wordt aangegeven dat de gevonden waarden uit de analyse (Tabel 10) worden herkend.

Stap 6: kwantificeer onzekerheid

De verandering van de hoogte is normaal verdeeld op basis van de dataset. Voor de zetting geldt echter wel een harde ondergrens van 0 meter.

De gemiddelde waarde valt binnen de bandbreedte die door het waterschap is gegeven, en de waarden worden binnen het waterschap herkend. Daarmee zijn de berekende waarden gevalideerd met expert judgement. De meetmethoden van de AHN data introduceert echter een extra bandbreedte, bovenop de onzekerheid die op het traject aanwezig is.

De datakwaliteit heeft een score van 2 sterren. Met de validatie van expert judgement worden de resultaten wel herkend. Daarom wordt de score voor datakwaliteit verhoogt naar 3 sterren. Door de verhoging van de kwaliteitsscore wordt een driehoeksverdeling als input voor de PTK aangehouden, met als gemiddelde 0,7 cm/jaar, een ondergrens van 4 cm/jaar en een bovengrens van 0.

Toepassing IKM

Na de bepaling van de input de PTK voor zettingen op basis van AHN data is tevens de probabilistische input voor de kosten en levensduur ingevoerd. Hiervoor zijn geen gegevens bekend, alleen de vuistregels die binnen de verschillende organisaties aangenomen worden. Deze worden daarom verder niet met het DKM beschreven. De invoer voor de PTK is te zien in Figuur 21.

Zetting	I_kosten dijk	B&O kosten	Levensduur damwand	I_kosten damwand	Levensduur weg	I_kosten weg
Lognormaal	Lognormaal	Normaal	Lognormaal	Lognormaal	Lognormaal	Lognormaal
$\mu = 0,7\text{cm/jr}$ $\sigma = 0,5\text{ cm/jr}$	1 m€/km v.c. 50%	2300 – 3200 v.c. 10%	100 jaar v.c. 20%	1 – 3 m€/km v.c. 50%	30 jaar v.c. 20%	0,5 m€/km v.c. 50%

Figuur 21 Invoer PTK