



# Informatie Kwaliteitsmodel

## RAPPORTAGE FASE 4 ROBAMCI

<b>Status:</b>	Concept	
<b>Datum:</b>	17-10-2019	
<b>Auteurs:</b>	J.G. Rinsema	(BZ Ingenieurs & Managers)
	J.J.C. Bink	(BZ Ingenieurs & Managers)
	W.S. Zomer	(BZ Ingenieurs & Managers)
<b>Review:</b>	H. Korving	(Deltares)



BZ Ingenieurs & Managers

ROBAMCI

## Samenvatting

Binnen ROBAMCI (Risk and Opportunity Based Asset Management of Critical Infrastructure) zijn verschillende tools ontwikkeld, waaronder het InformatieKwaliteitsModel (IKM). Met het IKM kan in een aantal stappen bepaald worden wat de kwaliteit van de beschikbare data is. Wanneer de hoeveelheid of de kwaliteit van de data onvoldoende is wordt ook een handelingsperspectief gegeven over welke stappen ondernomen kunnen worden om meer en betere kwaliteit data in te winnen.

Daarnaast is onderdeel van het IKM een kostenbatenanalyse om te bepalen of en op welke manier meten en monitoren naar verwachting het meeste oplevert. Binnen ROBAMCI zijn in de verschillende fasen een aantal cases uitgevoerd om de ontwikkelde tools te testen. Eerst is binnen elke case een oordeel gegeven aan de datakwaliteit met behulp van een aantal criteria en een sterrenstelsel, waarbij 1 ster een slechte datakwaliteit en 5 sterren een uitstekende datakwaliteit betekent. Bij een laag aantal toegekende sterren is ook meteen een handelingsperspectief gegeven hoe de datakwaliteit verbeterd kan worden.

Bij de toepassing van het IKM is echter wel gebleken dat de toepassing van de KBA vaak lastig is door te weinig en/of ontbrekende data. Daarom is besloten een versimpelde versie van de KBA op te stellen. Na afloop van ROBAMCI wordt het IKM met deze versimpelde KBA getest op een aantal cases waarvan bekend is dat voldoende data beschikbaar is om te kijken of op deze manier het volledige IKM (inclusief KBA) beter toegepast kan worden.

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	1
Inhoudsopgave .....	2
1 Inleiding .....	4
1.1 Aanleiding.....	4
1.2 Achtergrond.....	4
1.3 Doelstelling.....	6
1.4 Leeswijzer .....	6
2 Informatie Kwaliteitsmodel.....	7
2.1 Processchema.....	7
2.2 Stap 1: Vaststellen relevante variabele .....	8
2.3 Stap 2: Beschikbaarheid gegevens .....	8
2.4 Stap 3: visualiseer en kwantificeer data.....	9
2.5 Stap 4: Kwaliteitsoordeel.....	13
2.6 Stap 5: Expert judgement.....	20
2.7 Stap 6: kwantificeer onzekerheid.....	20
3 ROABMCI tools .....	22
3.1 Probabilistische Toolkit .....	22
3.2 Alternatieve strategieën.....	24
3.3 Kostenbatenanalyse .....	26
4 Cases.....	31
4.1 Case I: Waterschap Noorderzijlvest .....	31
4.2 Case II: Regionale kering Hoogheemraadschap Rijnland .....	32
4.3 Case III: Baggeren Waterschap Hollandse Delta .....	34
4.4 Case IV: Mark-Dintel-Vliet boezem Waterschap Brabantse Delta .....	35
4.5 Case V: Flexibele maatregelen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden .....	36
5 Discussie .....	38
6 Conclusie en aanbevelingen.....	39
6.1 Conclusie .....	39
6.2 Aanbevelingen.....	40
7 Toepassing van het IKM in de praktijk .....	41
8 Bibliografie.....	44
Bijlage I: Framework Dijk informatie.....	45
Bijlage II: Faalmechanismen met fysische modellen en parameterlijst .....	47
Bijlage III: DDSC data Noorderzijlvest.....	49
Bijlage IV: Regionale case Rijnland .....	59

Bijlage V: Mark-Dintel-Vliet boezem Waterschap Brabantse Delta.....	66
Bijlage VI: Flexibele maatregelen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.....	84

# 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. In fase 3 is geprobeerd het IKM gebruiksvriendelijker te maken (Rinsema, Pals, & Zomer, 2018). Dit rapport is het resultaat van fase 4, waarin het IKM verder is ontwikkeld aan de hand van ervaringen uit cases.

## 1.2 Achtergrond

### 1.2.1 Begrippenlijst

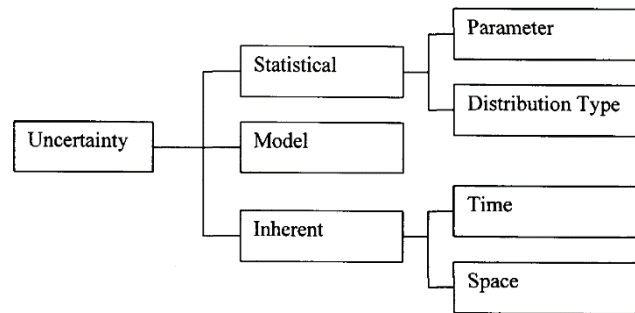
Om verwarring in de terminologie te voorkomen geven we nu eerst de door ons gehanteerde definities van een aantal belangrijke begrippen (van Stokkum, Pals, & Zomer, 2017):

- 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
- Betrouwbaarheid: de onzekerheid over de parameterwaarde uit data of waarneming. Hierdoor is onduidelijk in hoeverre de informatie de werkelijke situatie benaderd.

### 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. Deze 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.



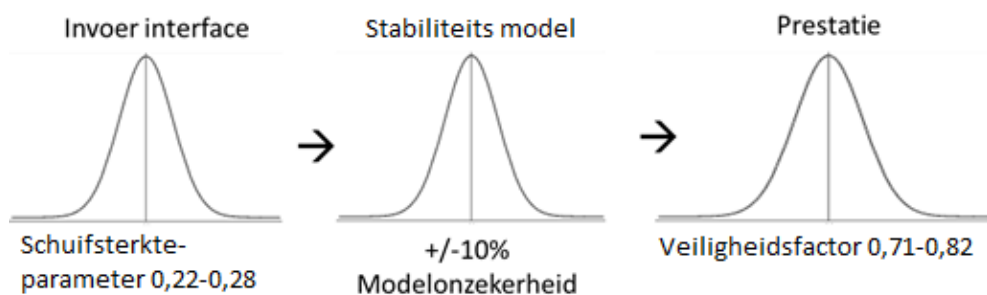
Figuur 1 Classificatie onzekerheid Van Gelder (Van Gelder, 2000)

Onder statistische onzekerheid wordt de vertaling van de data naar een parameter verstaan, inclusief distributie type. Deze onzekerheid wordt in het proces van de ROBAMCI-tools 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 in 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 ROBAMCI-tools 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 informatiekwaliteitsmodel (IKM) is 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 dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen datakwaliteit en informatiekwaliteit. Hierbij ligt informatiekwaliteit in het verlengde van datakwaliteit. Datakwaliteit is een maat voor de betrouwbaarheid en kwaliteit van de ruwe data, terwijl de informatiekwaliteit meer zegt over de betrouwbaarheid en kwaliteit van de geïnterpreteerde data, ofwel informatie. Daarnaast zegt de informatiekwaliteit iets over in hoeverre de informatie nuttig is voor dat wat men wil weten.

Het IKM en de andere tools zijn ontwikkeld om de onzekerheid van de data op een uniforme manier inzichtelijk te maken. Hiervoor is het nodig om van data informatie te maken. Met behulp van het IKM wordt de invloed van de dataonzekerheid op de uiteindelijke informatie inzichtelijk.

## 1.3 Doelstelling

Het doel van het IKM is dat er een 'objectief' antwoord kan worden gegeven op de volgende vragen:

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

ROBAMCI bestaat uit meerdere fasen. De huidige rapportage is het resultaat van fase 4. In fase 1 is de functie van het IKM afgebakend. Vervolgens is in fase 2 een eerste aanzet gegeven voor het IKM en in fase 3 is geprobeerd het IKM gebruiksvriendelijker te maken. In de review van het rapport van fase 3 waren een aantal aandachtspunten die in fase 4 nog verder onderzocht worden. Dit betreffen de kwaliteitscriteria voor datakwaliteit en de afweging van strategieën in een kostenbatenanalyse. In het plan van aanpak zijn de volgende doelen geformuleerd:

- Heldere onderbouwing van de definitie van datakwaliteit en bijbehorende criteria
- Nadere onderbouwing van de kostenbatenanalyse t.a.v. datakwaliteit

## 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het IKM 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. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de discussiepunten benoemd en de conclusie en aanbeveling voor een vervolg in hoofdstuk 6. Ten slotte houdt hoofdstuk 7 de ervaringen met de toepassing van het IKM in de cases tegen het licht en geeft een aantal tips voor toepassing van het IKM in de praktijk.

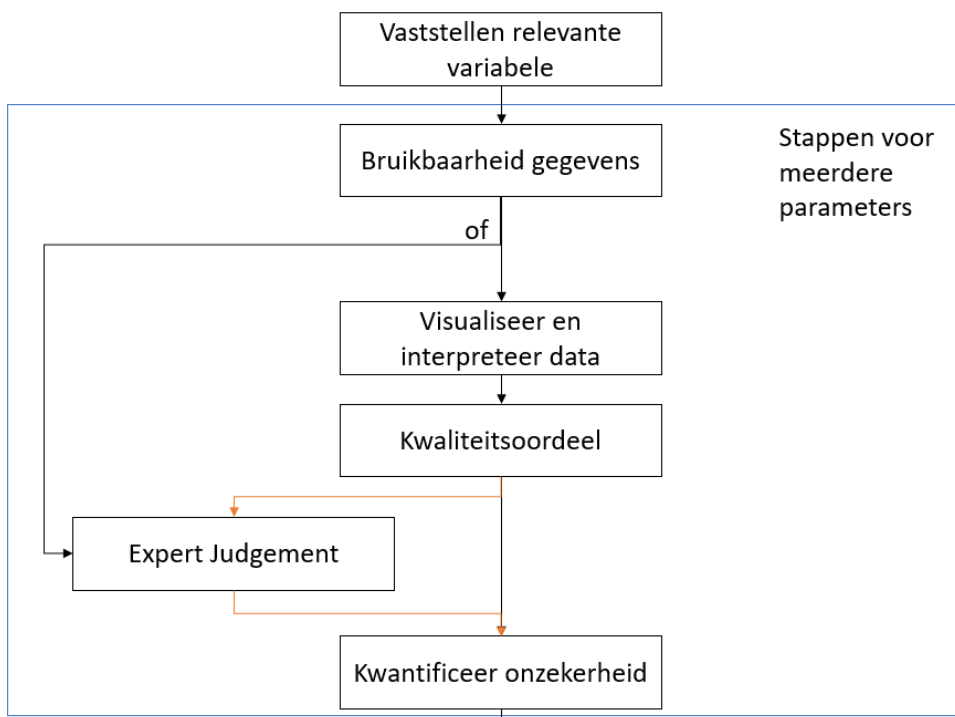
## 2 Informatie Kwaliteitsmodel

In dit hoofdstuk wordt het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM) 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 IKM wordt de data op een systematische manier beoordeeld en van een kwaliteitsoordeel voorzien. Het IKM 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 (ROBAMCI-tools, zie hoofdstuk 3). De stappen van het IKM zijn geschematiseerd in Figuur 3.



Figuur 3 Processtappen IKM

**Stap 1** is het vaststellen van de relevante variabele(n). De relevante variabele(n) zijn afhankelijk van de vraag die gesteld is. Per proces dat wordt beschreven, zoals bijvoorbeeld de sterkte van een waterkering, kunnen meerdere parameters worden gekozen waar met behulp van het IKM per parameter 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. Het kwaliteitsoordeel is echter afhankelijk van de persoon die dit oordeel velt. Het is daarom van belang om hier ook altijd de databeheerder bij te betrekken. Bij een lage beoordeling wordt daarnaast een handelingsperspectief gegeven hoe de informatiekwaliteit verbeterd kan worden.

**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 judgement 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools 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 doorlatendheid en d70 naar de stijghoogte in de watervoerende zandlaag) wellicht overschat. Door slechts één van de parameters mee te nemen, ontstaan wellicht onrealistische situaties. Deze onrealistische situaties resulteren vervolgens in een onzekerheid die onterecht is.

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

Voor beide parameters worden stappen 2 t/m 6 doorlopen. Bij het definiëren van de input van de ROBAMCI-tools 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 fase 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.

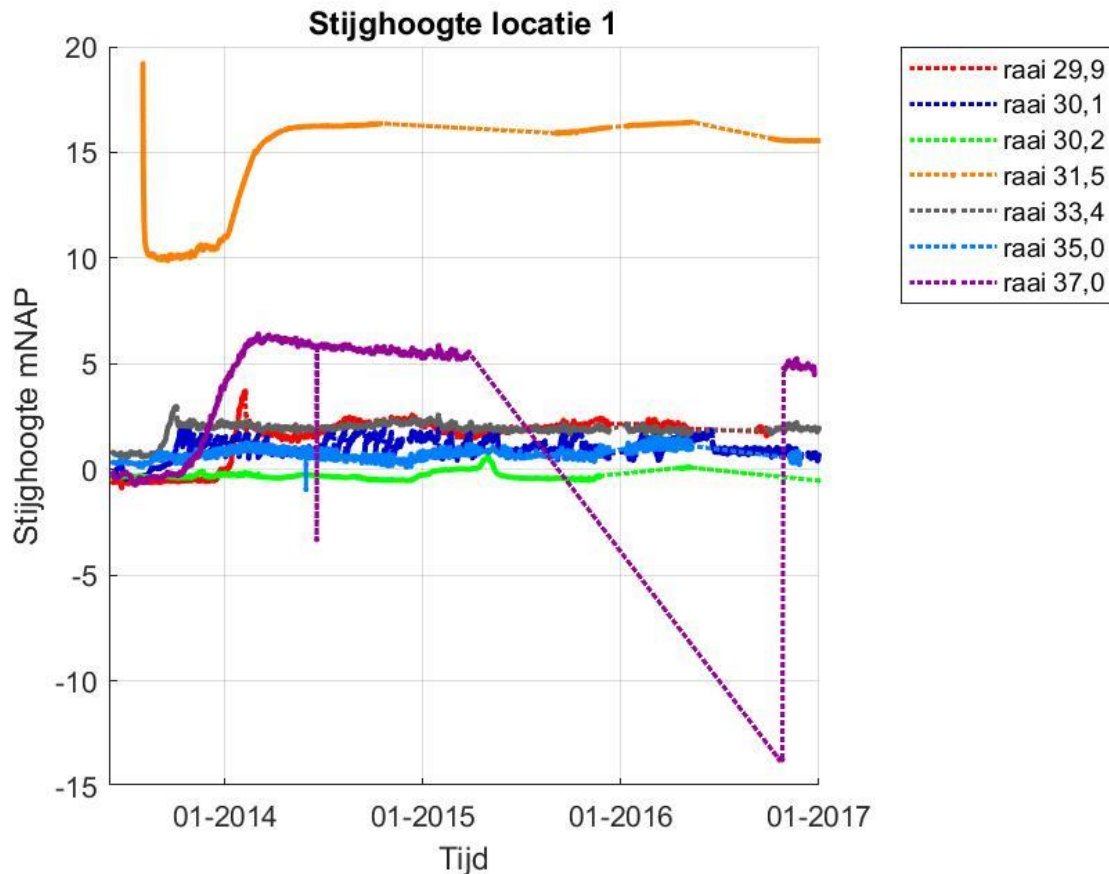
## 2.4 Stap 3: visualiseer en kwantificeer data

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 die 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

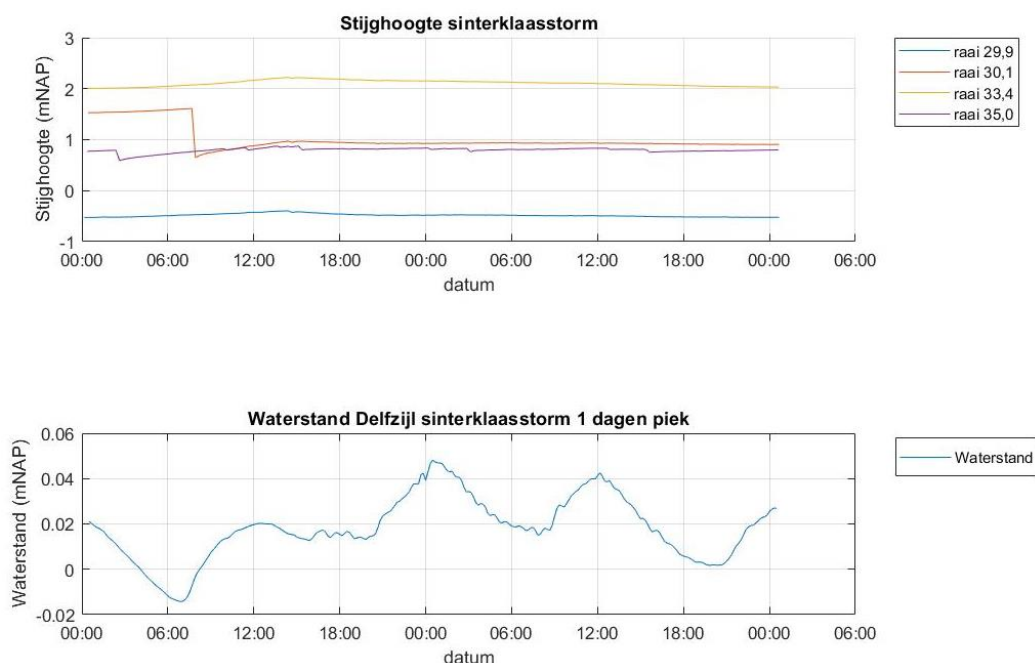
ook de variaties in de dataset beter zichtbaar, en kunnen tevens relaties die leiden tot deze piek worden beoordeeld.

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 Ommelanderzeedijk. 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 ROBAMCI-tools 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 één 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.

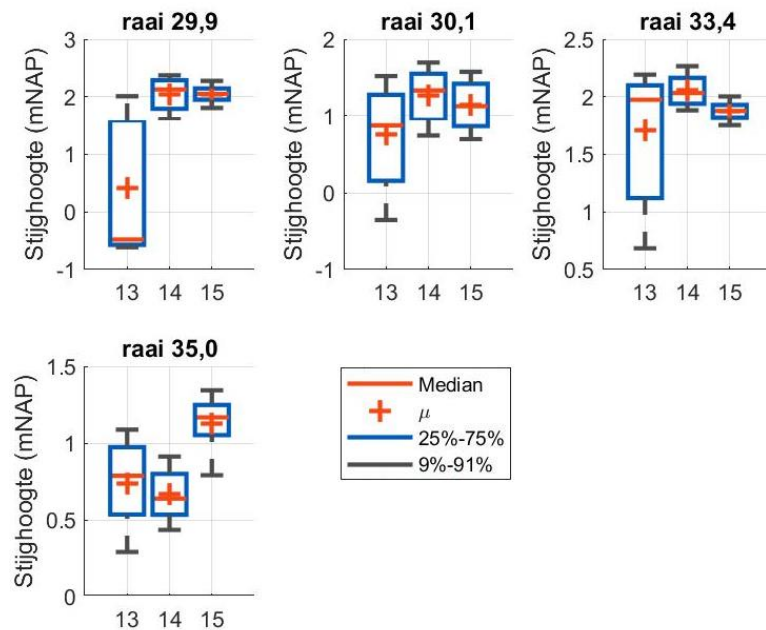
### Boxplot

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 x-as 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 raai 29,9 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 Dijkinformatie (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017). Daarom wordt als achtergrond eerst het framework samengevat.

##### 2.5.1 Framework Dijkeninformatie

Er zijn vele criteria te vinden die worden aangedragen als onderdeel van data-kwaliteit. Door Wang & Strong zijn 20 criteria gevonden die te maken hebben met datakwaliteit (Wang & Strong, 1996). 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 Dijkinformatie 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)

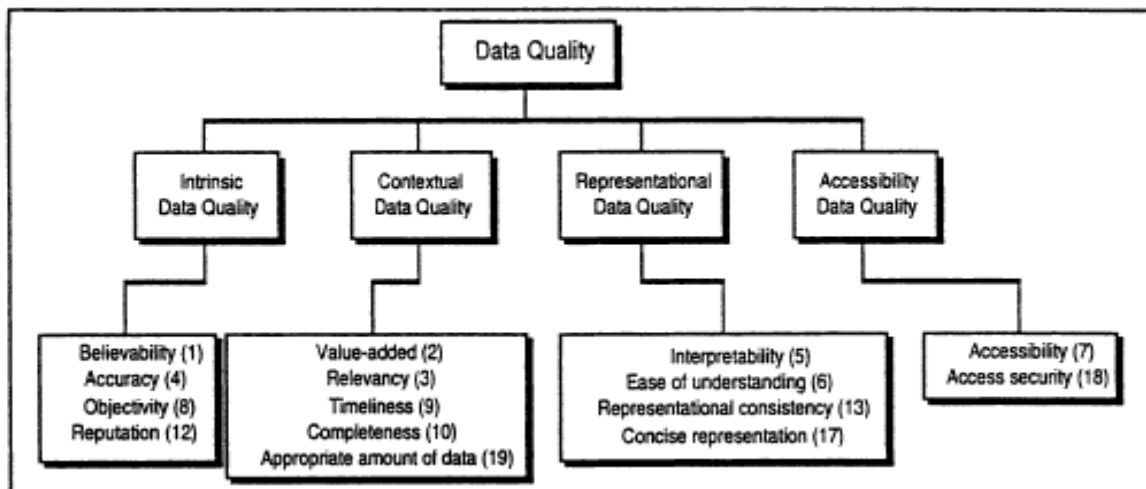
Score	Prestatie informatiekwaliteit	Praktijkvoorbeelden
<p>★</p> <p><b>Onvoldoende data beschikbaar</b></p> <p><i>Onzekere veiligheid</i></p>	<p>De kwaliteit en bruikbaarheid van de data is onvoldoende aangetoond.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Na toetsresultaat grote consequentieanalyse voor versterking.</li> <li>▪ Ommelanderzeedijk vijf jaar geleden.</li> <li>▪ Nagenoeg geen veldwerk uitgevoerd.</li> <li>▪ Tegenstrijdige en/of niet gevalideerde data.</li> </ul>
★→★★ valideren van beschikbare gegevens en beoordelen betrouwbaarheid van de data		
<p>★★</p> <p><b>Gevalideerde data beschikbaar</b></p> <p><i>Onzekere veiligheid</i></p>	<p>Beschikbare data is voldoende beschreven en betrouwbaar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Laag detailniveau veldwerk.</li> <li>▪ Meerdere bronnen beschikbaar die elkaar bevestigen.</li> <li>▪ Consistente set van gegevens.</li> </ul>
★★→★★★ van data naar veiligheidsinformatie: uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse		
<p>★★★</p> <p><b>Basiskwaliteit inzicht in de kritieke elementen van de dijk</b></p>	<p>Voldoende gevalideerde data beschikbaar voor inzicht in dijksterkte.</p> <p>Het inzicht betekent: (1) relevante faalmechanismen in beeld, (2) onzekerheden geïdentificeerd en (3) kritieke parameters bekend.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Voldoende detailniveau veldonderzoek om een gevoeligheidsanalyse uit te kunnen voeren.</li> <li>▪ Expliciete afweging over benodigd onderzoek.</li> <li>▪ Aantoonbaar gebruik maken van alleen betrouwbare dijkinformatie, bij inconsistenties wordt direct actie ondernomen om de basiskwaliteit op orde te krijgen.</li> </ul>
★★★→★★★★ geïdentificeerde onzekerheden kwantificeren en onzekerheden voldoende klein maken		
<p>★★★★</p> <p><b>Voldoende inzicht om onderbouwde besluiten te nemen</b></p> <p><i>Aantoonbaar gecontroleerde onzekerheid</i></p>	<p>Alle noodzakelijke informatie voor beslisproblemen is beschikbaar. Alle geïdentificeerde onzekerheden zijn expliciet in beeld.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Veldwerk en meetcampagnes volgens professionele inzetten, blinde vlekken voorkomen.</li> <li>▪ Toepassen gebiedsdekkende (3D) surveys en/of analyse.</li> <li>▪ Detailniveau bereikt tijdens het opstellen van een Uitvoerings Ontwerp in een versterkingsopgave.</li> <li>▪ Onzekerheden hebben geen invloed op het veiligheidsoordeel bij beoordeling en/of het dijkontwerp.</li> </ul>
★★★★→★★★★★ kosten-baten afweging maken: waarde van meer informatie vs kosten van inwinnen		
<p>★★★★★</p> <p><b>Optimaal inzicht in het gedrag van de dijk</b></p>	<p>Meer informatie beschikbaar, waardoor betere besluiten genomen kunnen worden. Aantoonbaar het economisch meest voordelig inzicht in de dijksterkte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Na afweging specialistisch (grond- en lab) onderzoek uitgevoerd.</li> <li>▪ Stress-tests uitgevoerd op representatieve deelsectie op niveau van de Ommelanderzeedijk (Livedijk XL), Dijken Op Veen, mits economisch verantwoord door kosten-baten afweging.</li> </ul>

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 vertaald kan worden naar informatie. De informatie is vervolgens de basis waarop gehandeld wordt en beslissingen worden genomen.

## 2.5.2 Criteria datakwaliteit

Bij het beschrijven van een fysisch proces is er sprake van onzekerheid, zoals genoemd in paragraaf 1.2. Voor een optimale beslissing is het van belang om de bestaande onzekerheid in de data expliciet te maken. Daarbij wordt ingeschat in hoeverre de inherente onzekerheid verder verkleind kan worden. Impliciet is de statistische en model onzekerheid daarbij aanwezig. De invloed van de laatste twee onzekerheden wordt echter pas goed duidelijk als de inherente onzekerheid betrouwbaar is vastgesteld.

Wang & Strong (1996) introduceren 4 soorten datakwaliteit die onderscheiden worden, namelijk intrinsieke datakwaliteit, contextuele datakwaliteit, representatieve datakwaliteit en beschikbare data-kwaliteit, zie Figuur 7. Deze 4 subcategorieën zijn samengesteld op basis van een inventarisatie in de (destijds) bestaande literatuur. Voor het IKM worden een aantal prestatie indicatoren gegeven, op basis van de criteria van Wang & Strong, toegepast op de kritieke infrastructuur.



Figuur 7 Datakwaliteit criteria (Wang & Strong, 1996)

De criteria zijn erop gericht om objectief vast te stellen dat de data representatief is voor het studiegebied. Daarin staan de volgende vragen centraal:

- Hoe betrouwbaar is de data-inwinning? (intrinsic en contextual data quality)
- Hoe betrouwbaar is de data? (intrinsic data quality)
- Hoe goed beschrijft de data het fysische systeem? (contextual en representational data quality)
- Hoe goed beschrijft de gemeten data de gevraagde omstandigheden? (representational data quality)

De vragen zijn zo gekozen dat de intrinsieke datakwaliteit en representatieve datakwaliteit worden bepaald. Belangrijke aanvulling vanuit de contextuele datakwaliteit is de compleetheit van de data, omdat hiermee wordt beoordeeld of de beschikbare data compleet genoeg is om het fysische model te voeden. Data beschikbaarheid wordt in dit kader getoetst in de tweede stap van het IKM.

Om de betrouwbaarheid van de data en de beschrijving van het fysische systeem goed te kunnen doen is interpretatie nodig. Hier wordt de data dus omgezet in informatie.

Op basis van de bovenstaande vragen zijn de volgende criteria geformuleerd. De subcriteria zijn concrete aanwijzingen om antwoord te kunnen geven op de centrale vraag.



### 1. **Betrouwbaarheid meetmethode (hoe betrouwbaar is de data-inwinning?)**

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.

In de praktijk kan het lastig zijn dit criterium exact te bepalen. Voor zover bekend moet dit criterium dan ook worden meegenomen. Indien deze niet is te achterhalen moeten de waarden worden gevalideerd op basis van expert judgement.

### 2. **Betrouwbaarheid data (hoe betrouwbaar is de data?)**

De betrouwbaarheid van de data wordt met behulp van een aantal subcriteria beoordeeld:

- a. *Zijn er meerdere volledige reeksen te creëren op basis van de dataset zodat validatie mogelijk is?*

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

- b. *Zijn er uitschieters en zo ja, zijn die verklaarbaar?*

Onderdeel van de validatie is het controleren op uitschieters. Door meetfouten of andere oorzaken kunnen uitschieters/ extreme waarden in de dataset voorkomen. Als deze waarden verklaarbaar zijn is de dataset betrouwbaarder, omdat de verklaarbare uitschieters onderbouwd uit de dataset kunnen worden gefilterd.

- c. *Hoe vergelijkbaar (en dus betrouwbaar) zijn de verschillende reeksen?*

Bovenstaande vragen leiden tot een centrale vraag die bij dit criterium beantwoord wordt, namelijk: hoe vergelijkbaar zijn de verschillende datasets?

- d. *Is de data te valideren met een ander soort bron?*

Data valideren met data is een goede methode om de betrouwbaarheid te kunnen schatten. Het is echter mogelijk dat in beide datasets een systematische fout aanwezig is. Dit wordt enerzijds gecontroleerd met het eerste criterium, maar dit ondervangt niet alle mogelijke fouten die in de dataset voor kunnen komen. Daarom is het beter om de dataset te valideren met een andere bron, bijvoorbeeld visuele inspecties, geologische kennis etc. Indien de conclusies op basis van twee bronnen hetzelfde zijn, kan worden gesteld dat er een grote betrouwbaarheid is.

### 3. **Fysisch systeem (Hoe goed beschrijft de data het fysische systeem?)**

Voor een goed beschrijving van het fysische systeem moet de data in staat zijn het systeem voldoende te beschrijven. Hiervoor zijn twee subcriteria:

- a. *Hoe goed beschrijft de dataset de dichtheid van het systeem?*

Indien over een traject een uitspraak moet worden gedaan, zoals bijvoorbeeld de freatische lijn in de Ommelanderzeedijk, moet er voldoende ruimtelijke verdeling van de meetpunten zijn om met voldoende betrouwbaarheid een conclusie te kunnen trekken.

- b. *Hoe goed beschrijft het gehanteerde tijdsinterval het systeem?*

Voor de beschrijving van het ene faalmechanisme zal een meting van elke dag voldoende zijn, terwijl voor andere faalmechanismen een meting elk kwartier is gewenst om de data bruikbaar in te zetten.

#### 4. Relevante meetomstandigheden

Bij de ROBAMCI-tools 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 lineair en daarmee lastig te maken (Klerk, Kanning, & van der Meer, 2016). Tevens zijn de metingen die dichterbij de ULS liggen meer waardevol voor de vertaling van de SLS naar de ULS.

Niet alle metingen zijn even waardevol als ze niet onder relevante omstandigheden zijn gemeten. Indien er een groot verschil zit tussen de SLS en ULS, en de metingen beschrijven voornamelijk de SLS dan is het de vraag hoeveel informatie de data bevat voor de specifieke vraag.

De eerste twee criteria zijn belangrijk voor de directe input van de ROBAMCI-tools, om het verdelingstype, de gemiddelde waarde en standaardafwijking te vinden. Daarbij weegt mee dat onbetrouwbare data een lage score krijgt, waardoor de prestatie van de asset ook minder zeker wordt gemodelleerd.

Criteria 3 en 4 geven meer een richting van de representatie van de data voor het systeem. Het kan prima voorkomen dat er een perfecte dataset ligt, maar dat het toch weinig informatie bevat voor de vraag die in stap 1 van het IKM is gesteld. Door laag te scoren op deze twee criteria, wordt de totaalscore ook lager. Een lage score leidt in het IKM tot een ander verdelingstype (ster 1 t/m 3), waardoor de onzekerheid ook groter is.

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
☆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Onbetrouwbare meetmethode</li> <li>2. Onvoldoende data</li> <li>3. Geen ruimtelijke verdeling of te weinig metingen per dag</li> <li>4. Alleen metingen onder 'dagelijkse' omstandigheden (3 meter onder MHW)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Een niet gevalideerde meetmethode zoals DDSC-data voor een aantal raaien met extreme stijghoogten</li> <li>2. Er is geen volledige dataset</li> <li>3. Een boring om de 2 Km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk</li> <li>4. DDSC-data in de jaren 2014, 2015 en 2016</li> </ol>	Data niet bruikbaar
☆☆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relatief grote stochastische afwijking ten opzichte van meegenomen waarden</li> <li>2. Onbetrouwbare data</li> <li>3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant)</li> <li>4. Alleen metingen onder 'dagelijkse' omstandigheden</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zetting obv verschil tussen AHN2 en AHN3 (Rijnland case)</li> <li>2. Er is een dataset zonder mogelijkheid tot validatie</li> <li>3. Een boring om de 1 km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk</li> </ol>	Combinatie met expert meningen nodig

	met een grote afstand tot maatgevende omstandigheden	4. DDSC-data in de jaren 2014, 2015 en 2016	
☆☆☆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. relatief kleine stochastische afwijking ten opzichte van meegenomen waarden</li> <li>2. Gevalideerde data</li> <li>3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant)</li> <li>4. Metingen waarvoor de 'dagelijkse' omstandigheden dicht bij de maatgevende omstandigheden liggen</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gevalideerde peilbuismetingen</li> <li>2. Data kan gevalideerd worden met tenminste 1 dataset. DDSC-data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 3 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden</li> <li>3. Een boring op 500 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk</li> <li>4. Stijghoogtemetingen bij een regionale kering onder 'normale' omstandigheden</li> </ol>	Data geeft bruikbare beschrijving van het systeem
☆☆☆☆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Betrouwbare meting</li> <li>2. Gevalideerde data</li> <li>3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant)</li> <li>4. Meting onder bijna relevante omstandigheden</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Golfhoogte metingen Noordzee RWS</li> <li>2. DDSC-data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 3 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden</li> <li>3. Een boring op 150 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk</li> <li>4. Meting sinterklaasstorm DDSC</li> </ol>	Data geeft goede beschrijving van het systeem
☆☆☆☆☆	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Betrouwbare meting</li> <li>2. Uitgebreide datareeks beschikbaar</li> <li>3. Goede ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant)</li> <li>4. Meting onder relevante omstandigheden</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Golfhoogte metingen Noordzee RWS</li> <li>2. waterstand meting grote rivieren RWS</li> <li>3. Een boring op 50 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk, waarbij de locatie van de boring goed is doordacht</li> <li>4. Stijghoogte van een locatie waar zandmeevoerende wellen worden geconstateerd</li> </ol>	Data geeft volledig inzicht in het systeem

De basiskwaliteit wordt in het IKM aangetoond door een betrouwbare dataset. De andere criteria zijn alleen doorslaggevend als deze negatief worden beantwoord. Tevens veranderen sommige criteria niet meer bij een hoger aantal sterren, zoals de betrouwbaarheid van de meting. Het is onmogelijk om data zonder potentiële meetfout te krijgen. Daarom is het onrealistisch om dit als criterium te stellen om 5 sterren als oordeel te kunnen krijgen.

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 IKM 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.

#### *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 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 gereviewd door deskundige collega's;
4. Een team van deskundige adviseurs 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 ROBAMCI-tools nog aanvullende expert schattingen gedaan moeten worden, zie Tabel 3.

Tabel 3 Input ROBAMCI-tools en gebruik expert meningen op basis van datakwaliteit

	Input ROBAMCI-tools	Eventuele vervolgactie
☆☆	Data niet bruikbaar	Expert meningen gebruiken
☆☆☆	Allen onder en bovengrens (uniforme verdeling)	Valideren/ samenvoegen met expertmening
☆☆☆☆	Ondergrens, bovengrens en mediaan (Driehoeksverdeling)	Valideren met expert mening
☆☆☆☆☆	Beschrijvende verdeling (normaal, lognormaal of exponentieel)	n.v.t.
☆☆☆☆☆☆	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 ROBAMCI-tools. 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 voor twee doelen worden ingezet. Ten eerste kan bestaande data met behulp van expert judgement worden gevalideerd, 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.

Indien er geen data beschikbaar is, kan met behulp van expert judgement toch het IKM in combinatie met de ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools afhankelijk van de kwaliteit van data.

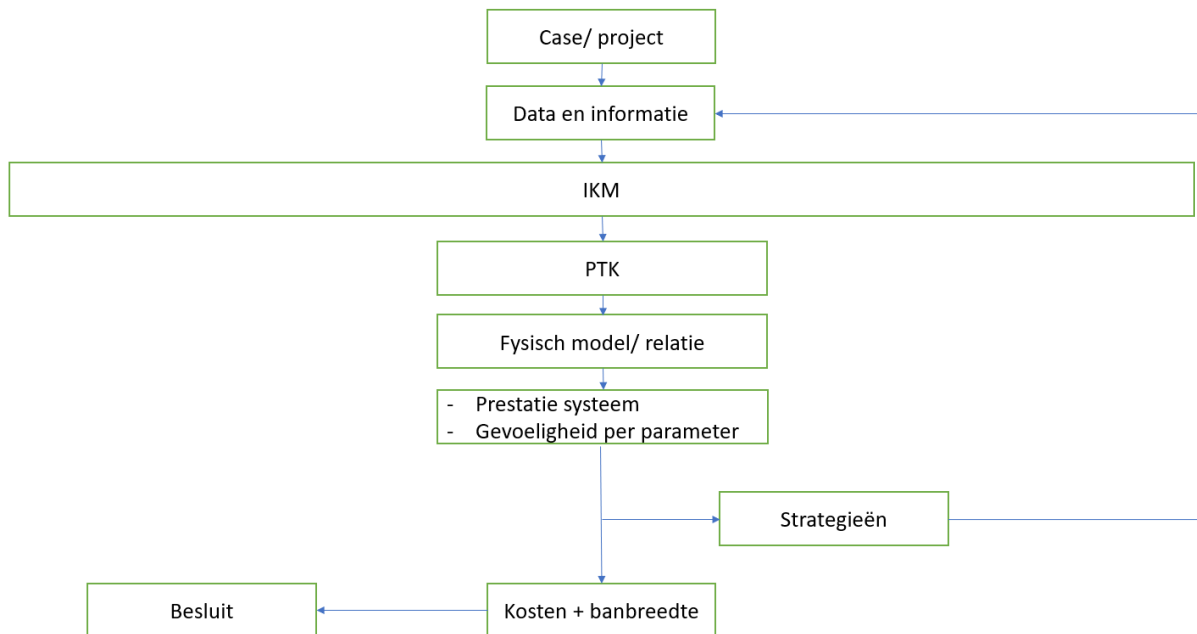
#### 2.7.1 Input ROBAMCI-tools

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 3.

Met behulp van de ROBAMCI-tools wordt de prestatie van de asset bepaald. Dit is beschreven in hoofdstuk 3.

### 3 ROABMCI tools

In het informatie kwaliteitsmodel (IKM) 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 (ROBAMCI-tools) en een fysisch model/ empirische relatie. Het IKM is een onderdeel binnen de ROBAMCI-tools, zie Figuur 8.



Figuur 8 IKM binnen ROBAMCI

Paragraaf 3.1 gaat over de ROBAMCI-tools 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 kostenbatenanalyse verder uitgewerkt.

#### 3.1 Probabilistische Toolkit

De probabilistische toolkit (ROBAMCI-tools) 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools.

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 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 IKM is gegeven.

Door alleen de boven- en ondergrens te definiëren 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools gekoppeld kunnen worden.

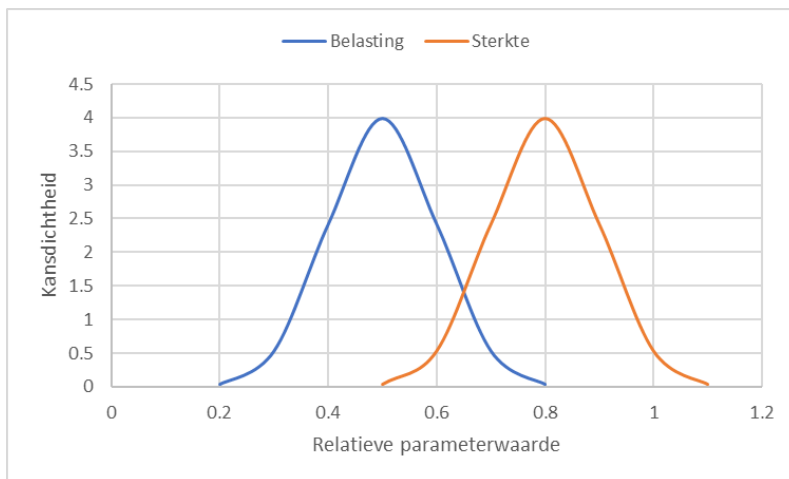
### 3.1.4 Prestatie van de asset

De uitkomst van de ROBAMCI-tools samen met een fysisch model is gedefinieerd als de prestatie van de asset. Elke, met behulp van de ROBAMCI-tools 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 wat betreft spreiding van de prestatie van de asset op de oranje lijn uit Figuur 9 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 voor dijken) 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 9). Een breder verdeeld sterkte diagram leidt vaker tot falen en daarmee tot een grotere faalkans.





Figuur 9 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 opstuwning 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 ROBAMCI-tools 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.

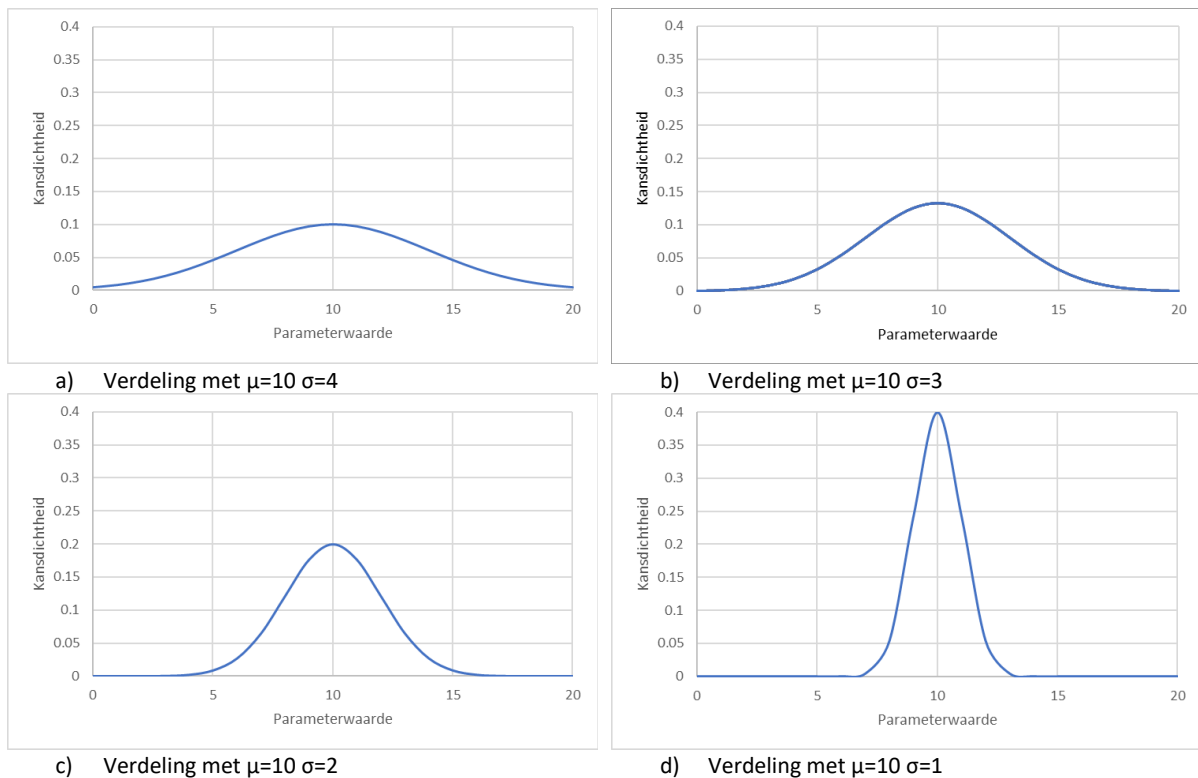
Het definiëren van strategieën bestaat uit twee stappen. Allereerst wordt gezamenlijk met de beheerder de ambitie van de organisatie bepaald. Elke organisatie bepaalt direct of indirect hoe zeker zij willen zijn van de uitkomsten. Idealiter wil elke organisatie de kleinst mogelijke onzekerheid. Praktisch 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 ROBAMCI-tools 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 10 zijn mogelijke prestatiecurves geplot. Op basis van de gewenste verdeling van de prestatie kan de alternatieve strategie worden samengesteld.



Figuur 10 Verdeling fitten

De prestatiegrafieken uit Figuur 10 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 10, 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 Kostenbatenanalyse

In het IKM is de betrouwbaarheid van meerdere (gecorrleerde) parameters beoordeeld. Het resultaat is een beschrijvende verdeling, een gemiddelde waarde en standaardafwijking of onder- en bovengrens. Vervolgens is met behulp van de ROBAMCI Tool een prestatie bepaald. Tezamen met de prestatie geeft de gevoeligheidsanalyse met behulp van de ROBAMCI Tool inzicht in de werking van het systeem en de bijbehorende gevoelige parameter(s).

Deze inzichten geven opties voor het definiëren van één of meerdere strategieën. De strategieën kunnen bestaan uit het verzamelen van aanvullende informatie om de betrouwbaarheid van het oordeel te vergroten. Anderzijds kan een strategie ook een alternatieve inspectiemethode betekenen, of een versterkingsopgave in de breedste zin van het woord.

Er worden drie situaties onderscheiden:

- **Afweging van een investeringsmoment**  
De informatie beschrijft de huidige stand van de asset, met aanvullende informatie is de huidige staat van de asset wellicht anders dan gedacht waardoor ook de investering veranderd.  
Voor deze situatie wordt de strategie gericht op één of meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
- **Afweging van een strategie in tijd**  
De informatie beschrijft de degradatie van de kering in tijd, met aanvullende informatie gaat de degradatie wellicht sneller of minder snel dan gedacht waardoor de totale kosten over de bekeken periode veranderen.  
Voor deze situatie wordt de strategie gericht op één of meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
- **Optimalisatie van onderzoek**  
Naast de afweging van een strategie kan ook andersom geredeneerd worden, namelijk wat is het optimale interval gegeven de betrouwbaarheid van de verschillende parameters. Deze situatie is een economische optimalisatie van 1 soort onderzoek.

Voor alle drie de scenario's wordt een basisscenario aangenomen. De alternatieve scenario's worden afgewogen tegen dit basisscenario.

Met een kostenbatenanalyse wordt een kwalitatieve inschatting gemaakt van de kosten en de baten van een strategie. Hoe meer informatie bekend is, hoe beter de inschatting wordt. Er moet benadrukt worden dat de kwaliteit van de kostenbatenanalyse in hoge mate afhankelijk is van de deskundigheid van de ingenieur.

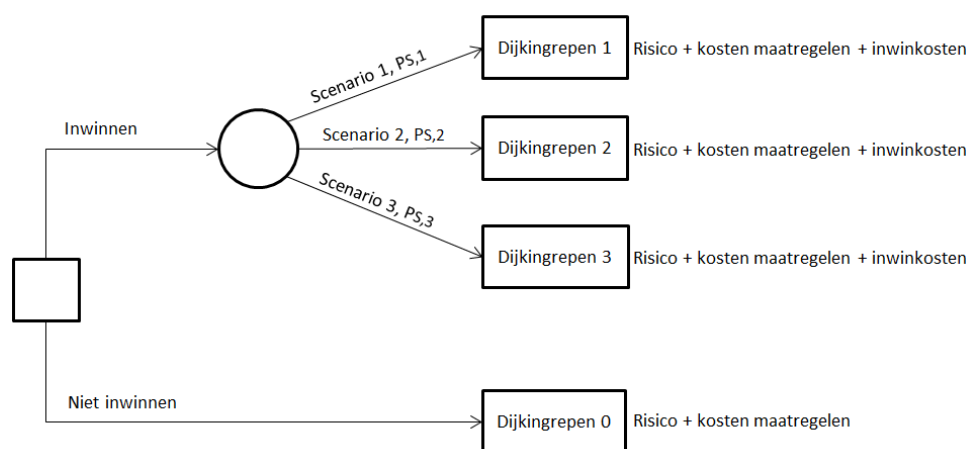
In het IKM is een gemiddelde waarde en standaardafwijking bepaald die vervolgens wordt gebruikt om de prestatie van de asset in te schatten. Met behulp van de kostenbatenanalyse kan daarom tevens een bandbreedte om de berekende kosten worden gegeven. Vervolgens wordt met alternatieve strategieën de bandbreedte verkleind of een alternatieve gemiddelde waarde gevonden. Door de

bandbreedte van de verschillende parameters te verkleinen, wordt in de probabilistische analyse de uiteindelijke faalkans ook verkleind.

De gedetailleerde uitwerking van de kostenbatenanalyse is afhankelijk van de case. Als bijvoorbeeld een (in tijd) gefaseerde strategie wordt afgewogen, kan tevens na elke stap de kostenbatenanalyse worden geactualiseerd, zoals bijvoorbeeld Schweckendiek de kosten-baten aanpast op basis van nieuwe informatie (Schweckendiek, 2014). Hiermee wordt stapsgewijs de kwalitatieve kostenbatenanalyse kwantitatief. Dat kan betekenen dat een vooraf bedachte strategie niet volledig wordt uitgevoerd, omdat de verwachte baten niet groot meer zijn.

### 3.3.1 Afweging van een investeringsmoment

Met behulp van een beslisboom kunnen meerdere scenario's worden afgewogen. Per scenario worden de verwachte baten (baten minus kosten) geschat, samen met de kans dat dit scenario voorkomt. Figuur 11 geeft een schematische weergave van een beslisboom om een afweging te maken.



Figuur 11 Voorbeeld van een beslisboom (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017)

De beslisboom wordt doorlopen door middel van 6 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. Kostenbatenanalyse

Kern van de kostenbatenanalyse 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.

### 3.3.2 Modelstappen

#### **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 3.2.

Vervolgens wordt op basis van ervaring geschat wat de investerings- en/of onderhoudskosten zijn voor de strategie. De kosten worden geschat op basis van ervaring met dergelijke investeringen. Indien deze

ervaring mist kan bij adviseurs, collega waterschappers of een aannemer van dergelijke methoden te rade worden gegaan.

### **Stap 3: Definitie van scenario's**

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

- a. Tegenvallende uitkomst  
Een tegenvallende uitkomst kan worden geïnterpreteerd als dat er meer werkzaamheden, onderhoud, etc. uitgevoerd moet worden dan van tevoren verwacht werd. Dit kan echter ook positief worden gezien omdat een onbekend kwaliteitstekort wordt voorkomen.
- b. Verwachte uitkomst  
In dit geval wordt aan de eerdere verwachting voldaan. De praktijk wijst uit dat deze situatie niet of nauwelijks voorkomt omdat bij een goed onderbouwde verwachting data en informatie niet tot aanvullende inzichten leidt, nader onderzoek niet wordt uitgevoerd.
- c. Gunstige uitkomst  
Een gunstige uitkomst kan worden gezien als dat het beschouwde asset in betere staat was dan van tevoren verwacht. Werkzaamheden, beheer, etc. hoeft niet of later uitgevoerd te worden. Dit houdt in dat gereserveerde middelen elders kunnen worden besteed.

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 verwachtte 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.

De invulling van een tegenvallende en gunstige uitkomst is een grote mate van expert judgement van de ingenieur. Er kan niet in zijn algemeenheid gesteld worden dat de tegenvallende uitkomst 10% lager is dan de verwachte uitkomst en de gunstige uitkomst 10% beter.

Op basis van de beschikbare data van de parameter wordt per parameter de drie verschillende uitkomsten geschat.

### **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 is dan een tegenvallend resultaat.

### **Stap 5: 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 referentie situatie.

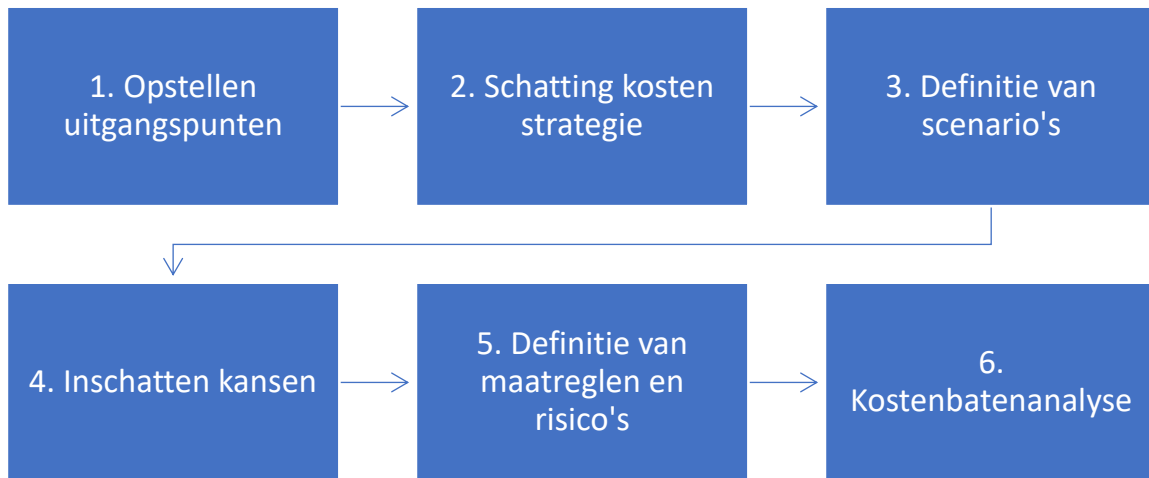
### **Stap 6: kostenbatenanalyse**

In de uiteindelijke kostenbatenanalyse worden de ingeschatte kosten per strategie afgewogen tegen de verwachte baten. Dit wordt gedaan door de baten te delen door de kosten. Als de resultante groter is dan 1 zijn de verwachte baten groter dan de kosten en is het uitvoeren van de strategie economisch verantwoord. Als de resultante kleiner is dan 1 is de investering economisch niet verantwoord.

#### *Probabilistisch*

Bovenstaande methode is een deterministische methode om de kosten en baten af te wegen. Van der Pol (2015, pp. 22-24) beschrijft hoe de deterministische methode kan worden vertaald in een probabilistische methode.

Het voordeel van de probabilistische methode is het meenemen van de onzekerheid van de kostenbaten. In de deterministische methode kan een gemiddelde, 5% en 95% worden gegeven, zoals bijvoorbeeld in de case waterkeren is gedaan.



Figuur 12 Stroomschema kostenbatenanalyse

### 3.3.3 Afweging in tijd

De beslisboom is ook toepasbaar indien strategieën in de tijd worden afgewogen. De analyse wordt dan alleen gedaan om de kosten over de beschouwde periode te bepalen.

Geld wordt echter minder waard in tijd door inflatie. De kosten in de toekomst moeten daarom gecorrigeerd worden voor de inflatie. Dit wordt gedaan met behulp van jaarlijks equivalente kosten. Deze kosten worden berekend tussen stap 5 en 6.

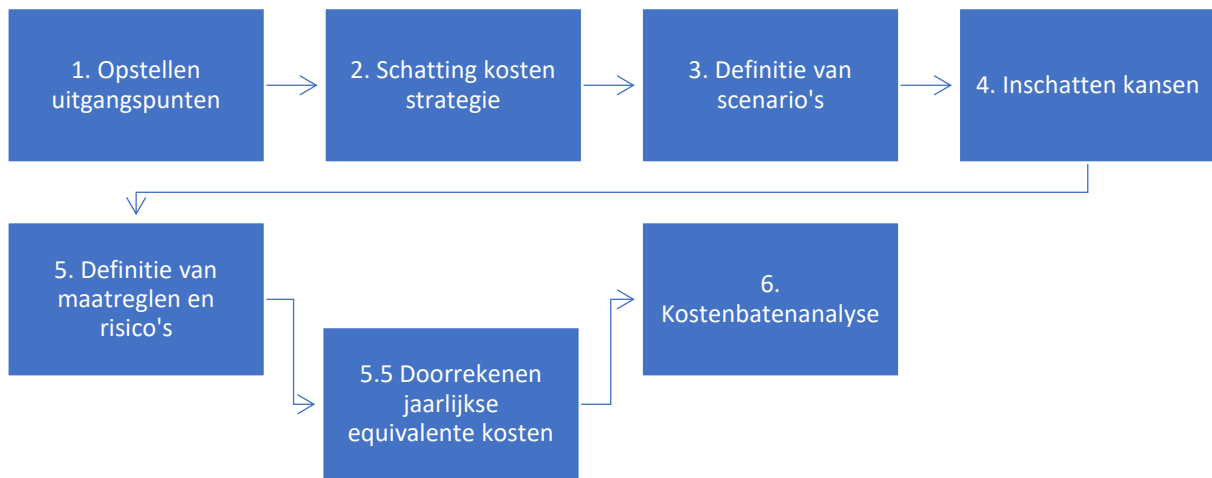
#### Stap 5,5: Doorrekenen jaarlijkse equivalente kosten

Het is goed mogelijk dat er strategieën worden opgesteld die elk een verschillende planperiode hebben, of een verschil in onderhoudsinterval in tijd. 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 4 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



*Figuur 13 Stroomschema kostenbatenanalyse inclusief verdiscontering*

### 3.3.4 Economische optimalisatie

In voorgaande afwegingsmethoden is aangenomen dat er meerdere strategieën zijn om de betrouwbaarheid van de data (en dus informatie). Het is ook mogelijk dat er slechts 1 strategie is, maar dat de dichtheid van het onderzoek geoptimaliseerd kan worden. Zo kan bijvoorbeeld de dichtheid van sonderonderzoek geoptimaliseerd worden voor een bepaalde waterkering, zoals is gedaan door Schweckendiek (Schweckendiek, 2014).

Dit is een interessante optie om een strategie te optimaliseren. De analyse is echter complex met behulp van Bayesiaanse statistiek. Daarom is wordt voor meer informatie verwezen naar de thesis van Schweckendiek (2014).

## 4 Cases

Binnen ROBAMCI is een aantal cases gebruikt om onderzoek te doen naar de toepassing van asset management van publieke infrastructuur in Nederland. Bij een aantal cases is het IKM, al dan niet in combinatie met de ROBAMCI-tools, 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 ROBAMCI-tools. In deze case werd het belang van monitoring bepaald en afgewogen met behulp van een kosten-baten analyse.

De Ommelanderzeedijk 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 Ommelanderzeedijk 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 ROBAMCI-tools. 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 ROBAMCI-tools 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 ROBAMCI-tools 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. In de gebruikte versie van het IKM was de mogelijkheid tot het uitvoeren van een KBA namelijk nog niet opgenomen.

## **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 IKM 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.

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. Als de betrouwbaarheid van meten wordt meegenomen is de gemiddelde zetting 0,7 cm/jaar met een standaarddeviatie van 0,43 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 judgement bevestigen de gevonden waarden. Daarom is de uiteindelijke kwaliteitsscore 3 sterren. De invoer van de ROBAMCI-tools is dus een driehoeksverdeling met als ondergrens 4 cm/jaar, gemiddelde van 0,7 cm/jaar en een bovengrens van 0 cm/jaar. De ontwikkeling van het IKM liep echter synchroon met de uitvoering van de case, waardoor in de case een lognormale verdeling is gebruikt.

### **Kostenbatenanalyse**

Welk scenario de meest gunstige kosten en baten heeft is sterk afhankelijk van welke prioriteiten het waterschap stelt. Wanneer alleen de kosten het belangrijkste zijn, dan is zo doorgaan als nu gedaan wordt het meest optimaal. Als maatschappelijke kosten en risico's worden meegenomen is juist de strategie waarbij de damwand de functie van waterkering overneemt het meest optimaal. Daarbij blijkt uit de Multi Criteria Analyse ook dat het kostenaspect niet doorslaggevend is voor de keuze voor een bepaalde strategie. Maatschappelijke criteria blijken daarin ook van groot belang te zijn.

### **Conclusie**

De berekening van de probabilistische netto contante waarde (NCW) maakt de banbreedte van de kosten inzichtelijk. In de kostenbatenanalyse 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 kostenbatenanalyse 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 is dit expliciet meegenomen in de huidige versie van het IKM, omdat de data ook indirect veel waarde kan hebben.

#### **Kostenbatenanalyse**

In de case is geen analyse gedaan waarin is onderzocht wat een verhoogde betrouwbaarheid mogelijk oplevert. In de gebruikte versie van het IKM was de mogelijkheid tot het toepassen van een KBA namelijk nog niet opgenomen.

## **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.

## **4.4 Case IV: Mark-Dintel-Vliet boezem Waterschap Brabantse Delta**

### **Inleiding**

In de case Mark-Dintel-Vliet boezem is onderzocht welk onderhoud het beste toegepast kan worden voor het Mark-Dintel-Vliet systeem: baggeren of keringen ophogen. Daarbij moet rekening gehouden worden met de functies water keren en scheepvaart. In de case zijn 4 strategieën beschouwd: (1) niets doen, (2) alleen baggeren, (3) alleen dijken ophogen en (4) een combinatie van dijken ophogen en baggeren. Het Waterschap Brabantse Delta heeft in het Mark-Dintel-Vliet systeem een stevige achterstand in de baggeropgave. Met het IKM is in deze case gekeken naar de beschikbare data over de baggeraanwas.

### **Beschikbare data**

Voor de analyse is door Waterschap Brabantse Delta multibeam data aangeleverd. Jaarlijks wordt door Waterschap Brabantse Delta de waterbodem ingemeten door middel van metingen met multibeam. Deze metingen beschouwen echter niet elk jaar dezelfde trajecten. Voor sommige stukken van de watergang zijn er dus veel metingen beschikbaar, terwijl voor andere stukken van de watergang maar beperkte data beschikbaar is. Er is voor gekozen om het Mark-Dintel-Vliet systeem op te delen in 6 sectoren aan de hand van de karakteristieken van de watergang. Bovendien is de grens soms gelegd daar waar een andere watergang zich bij de hoofdwatergang voegt, omdat dit invloed heeft op het gedrag van de betreffende hoofdwatergang. Daarnaast is ook de beschikbaarheid van data meegenomen in deze keuze.

### **Toepassing IKM**

In deze case is het IKM toegepast op de beschikbare multibeam data om iets te kunnen zeggen over de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas in het Mark-Dintel-Vliet systeem. De volledige analyse is weergegeven in Bijlage V.

Zoals genoemd is de beschikbare data multibeam data voor verschillende jaren. Aan de hand hiervan kan een verschil in bodemhoogte worden bepaald tussen de verschillende metingen. Door dit verschil vervolgens te delen door het aantal jaren dat tussen de metingen zit kan een gemiddelde netto baggeraanwas per jaar worden bepaald. Dit is gedaan voor alle beschikbare metingen. Vervolgens is voor elke sector een gemiddelde baggeraanwas per jaar bepaald. Daarnaast is een ruimtelijke standaardafwijking en een temporele standaardafwijking bepaald. De ruimtelijke standaardafwijking zegt wat over de variatie van de baggeraanwas in de betreffende sector. De temporele standaardafwijking zegt wat over de variatie van de baggeraanwas over de tijd. Deze temporele standaardafwijking is ook een goede maat voor de betrouwbaarheid van de bepaling van de baggeraanwas per jaar. Hoe lager deze standaarddeviatie is, hoe kleiner de verschillen in baggeraanwas per jaar zijn. Daarnaast moet bij de bepaling van de betrouwbaarheid ook het aantal jaren dat gemeten is in die bepaalde sector meegenomen worden.

### **Kosten Baten analyse**

De case Mark-Dintel-Vliet is verkennend van aard, waardoor geen diepgaande analyses zijn uitgevoerd. Het afwegen van strategieën, het afwegen van investeringsmomenten of het optimaliseren van

onderzoek zijn te diepgaande analyses voor de status van dit onderzoek. Naast dat er beperkte gegevens beschikbaar waren voor de analyse is dit een van de redenen waardoor de kostenbatenanalyse binnen het IKM niet is uitgevoerd. Om de toepassing van de KBA te kunnen valideren zal in een later stadium de KBA nog wel worden toegepast op de case in de vorm van een studentenopdracht.

### **Conclusie**

Gezien de wisselende beschikbaarheid van data voor de verschillende sectoren heeft elke sector een beoordeling voor de betrouwbaarheid gekregen, zoals weergegeven in Bijlage V. Het is gebleken dat het maken van een kosten baten analyse voor de toegenomen betrouwbaarheid niet goed mogelijk is.

## 4.5 Case V: Flexibele maatregelen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

### **Inleiding**

Bij Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden is een case uitgevoerd waarbij gekeken is naar de mogelijke inzet van flexpompen en flexbarriers (om stukken polder onder water te zetten) in het geval van hoogwater. Met het IKM is de betrouwbaarheid van de bestaande gemalen geanalyseerd.

### **Beschikbare data**

Voor de analyse zijn verschillende datareeksen gebruikt per gemaal, te weten:

- Polderpeil: waterpeil benedenstrooms van het gemaal over de tijd;
- Boezempeil: waterpeil bovenstrooms van het gemaal over de tijd;
- Streefpeil benedenstrooms van het gemaal (kan fluctueren over de tijd);
- Aanslagpeil van het gemaal;
- Afslagpeil bij maalstop;
- Draaiduur van gemalen over de tijd.

De data van 22 gemalen was beschikbaar. Daarvan bleken 2 gemalen niet voldoende datapunten te hebben om een zinnige analyse mee uit te voeren. Daarnaast bleken de datapunten van 5 gemalen dusdanig onbetrouwbaar (ver van de verwachtingswaarde) dat ook deze gemalen buiten beschouwing zijn gelaten. Daarmee blijven 15 gemalen over met voldoende data, zowel wat betreft hoeveelheid als betrouwbaarheid.

### **Toepassing IKM**

Aan de hand van de bovengenoemde data is bepaald wanneer een gemaal had moeten draaien, maar dit niet deed. Een gemaal moet draaien wanneer het polderpeil zich boven het aanslagpeil van het gemaal bevindt en er geen maalstop geldt (en het boezempeil dus voldoende laag is). Wanneer een gemaal op dat moment niet draaide wordt ervan uitgegaan dat sprake was van een storing. De tijd dat het gemaal in storing was is vervolgens gedeeld door de tijd dat het gemaal in storing was + de draaitijd van het gemaal om tot de betrouwbaarheid van het gemaal te komen:

$$Betrouwbaarheid = 1 - \frac{T_{storing}}{T_{draaiuren} + T_{storing}}$$

Daaruit blijkt dat bijna alle gemalen een hoge mate van betrouwbaarheid hebben. Er is een gemaal (Noord Linschoten) met een relatief lage betrouwbaarheid, maar deze is inmiddels vervangen. Alle andere gemalen geven een hoge betrouwbaarheid. De gemiddelde betrouwbaarheid (wanneer gemaal Noord Linschoten buiten beschouwing wordt gelaten) komt neer op 99,9% over de afgelopen tien jaar met een standaarddeviatie van 0,15%. De volledige analyse met het IKM is weergegeven in Bijlage VI.

**Kostenbatenanalyse**

In de case is geen analyse gedaan waarin is onderzocht wat de invloed op kosten en baten is van een verhoogde betrouwbaarheid. De voornaamste reden hiervoor is dat dit onderzoek oriënterend van aard was, waarbij de centrale vraag was of de toepassing van flexibele maatregelen een oplossing zouden kunnen zijn voor de problematiek bij HDSR. Daarbij is niet gekeken naar verschillende scenario's voor de verbetering van de datakwaliteit. Doordat het onderzoek zich focust op de technische haalbaarheid en effectiviteit van verschillende maatregelen hebben eventuele kosten en baten geen aandacht gekregen.

**Conclusie**

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden geeft zelf aan alle datapunten ook een kwaliteitsvlag mee. Daardoor kon in deze analyse gebruik gemaakt worden van alleen data met een betrouwbare kwaliteitsvlag. Dit zorgt er ook voor dat de betrouwbaarheid van de data hoog wordt ingeschat en dat de datakwaliteit is bepaald op 4 sterren. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de aan- en afslagpeilen van de gemalen door middel van expert judgement zijn bepaald. Wanneer deze gegevens nauwkeuriger bepaald zouden worden kan het betrouwbaarheidsoordeel van de data ook omhoog gebracht worden.

## 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 een 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 mogelijk dat een dataset/meetnet goed scoort op het ene criterium en vervolgens slecht scoort op het volgende criterium. Het eindoordeel zal in de praktijk dichterbij de lage score liggen. Het is de vraag of dit een voldoende representatief oordeel oplevert. Het eindoordeel moet altijd met verstand worden bezien.

De effectiviteit van de nieuw gedefinieerde meetstrategie wordt afgewogen in een kostenbatenanalyse. 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 kostenbatenanalyse 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. Wel is gebleken in de cases dat het uitvoeren van een kostenbatenanalyse vaak lastig is door een gebrek aan de juiste gegevens voor het uitvoeren van een KBA. Daarnaast blijkt het uitvoeren van een kostenbatenanalyse voor de toename in betrouwbaarheid in veel cases nog een stap te ver. De meeste cases zijn oriënterend van aard, waardoor er nog te weinig onderdelen bekend zijn om een goede kostenbatenanalyse te kunnen maken. Over het algemeen worden door betrouwbaardere data de te nemen beslissingen goedkoper, of kunnen deze met meer en beter inzicht worden genomen, wat de kwaliteit van het eindproduct ten goede komt.

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

## 6 Conclusie en aanbevelingen

### 6.1 Conclusie

Het doel van het IKM is dat er een 'objectief' antwoord kan worden gegeven op onderstaande vragen. Voor zover mogelijk wordt er een antwoord geformuleerd.

#### - **Helpt monitoring bij de besluitvorming?**

Met behulp van het IKM wordt de rol van aanvullende data en informatie bepaald. Als in de gestelde vraag monitoring relevante gegevens/informatie kan opleveren voor de besluitvorming zal dit ook met behulp van de IKM stappen duidelijk worden. Het geheel is echter breder inzetbaar dan alleen voor monitoring. Monitoring helpt over het algemeen bij het verkrijgen van een betere besluitvorming omdat de kwaliteit van assets met meer betrouwbaarheid kan worden bepaald.

#### - **Wat zijn de belangrijkste stochasten voor het gemodelleerde systeemgedrag?**

Met behulp van de ROBAMCI Tool wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de invoer van het fysische model. Het resultaat van de gevoeligheidsanalyse is de belangrijkste stochast. Daarbij is aangenomen dat het gekozen fysische model het systeemgedrag goed beschrijft.

#### - **Is er voldoende data beschikbaar?**

In het IKM wordt aan de hand van criteria bepaald of er voldoende data aanwezig is om voor een betrouwbare modellering met behulp van de ROBAMCI Tool en het fysische model. Als de hoeveelheid aanwezige data onvoldoende is of van onvoldoende kwaliteit wordt overgeschakeld op expert judgement. Een objectief antwoord op voldoende bestaat echter niet. Dit moet door de ingenieur worden ingeschat. Over het algemeen is gebleken dat in de cases vrij weinig data beschikbaar was. Dit is overigens ook de ervaring in de praktijk; voldoende data van goede kwaliteit over de staat en kwaliteit van civiele infrastructurele assets is vaak onvoldoende voorhanden.

#### - **Welke gegevens moeten aanvullend verzameld worden?**

Op basis van de aanwezige data en de gevoeligheidsanalyse wordt ingeschat wat de toegevoegde waarde is van extra informatie. Hieruit kan geconcludeerd worden welke gegevens aanvullend verzameld kunnen worden. Met behulp van de kostenbatenanalyse wordt afgewogen of de baten opwegen tegen de kosten voor aanvullend onderzoek. In praktijk blijkt dat vanwege het doorgaans grote gebrek aan goede de kosten voor data aanvullende data en informatie veelal opwegen tegen de baten.

#### - **Welke kwaliteit van data is vereist voor het besluit?**

Een slechtere kwaliteit van de data zorgt ervoor dat de besluitvorming naar alle waarschijnlijkheid ook slechter is dan wanneer goede kwaliteit data beschikbaar is. Daaruit komt naar voren impliciet datakwaliteit van minimaal 4 sterren wordt gewenst of vereist.

#### - **Met welke kwaliteit kan er gemeten worden?**

Het meetsysteem is een van de criteria voor datakwaliteit. Als de meetmethode onbetrouwbaar is, is de datakwaliteit ook automatisch onbetrouwbaar. Dit vormt een incentive om een goede meetkwaliteit na te streven.



De kwaliteit waarmee gemeten kan worden is echter afhankelijk van de parameter. Het kan daarom niet objectief vooraf worden vastgesteld.

#### - **Hoe moet worden omgegaan met onvolledige datasets?**

In het IKM wordt beoordeeld of er minimaal twee gelijkwaardige sets aanwezig zijn waarmee de betrouwbaarheid gevalideerd kan worden. Indien de betrouwbaarheid niet in voldoende mate kan worden vastgesteld, worden de resultaten met expert judgement gevalideerd. Tevens is de invoer van de ROBAMCI-tool afhankelijk van de kwaliteit van de data. Onvolledige (en dus slechte kwaliteit) data heeft een conservatieve invoer van alleen een boven- en ondergrens, of driehoeksverhouding. Op deze manier wordt voorkomen dat de prestatie van de asset op basis van slechte kwaliteit data te positief wordt ingeschat. Data van onvoldoende kwaliteit heeft echter tot gevolg dat onzekerheden rond het inzicht/oordeel groot zijn. Daarom zouden onvolledige datasets aangevuld moeten worden.

## 6.2 Aanbevelingen

In de cases is het erg lastig gebleken om het volledige IKM toe te passen. Een belangrijke oorzaak hiervoor is het gebrek aan data, informatie en gerelateerde financiële gegevens en kengetallen. Met name voor een goede kostenbatenanalyse blijken vaak niet alle gegevens beschikbaar. Het toepassen van een kostenbatenanalyse voor de verbeterde betrouwbaarheid van de data is nu nog vaak een stap te ver gebleken. Voor de toekomst wordt dan ook geadviseerd om een case te kiezen, eventueel fictief, waarvan op voorhand zeker is dat voldoende data beschikbaar is om het volledige IKM, inclusief kostenbatenanalyse toe te passen.

Er zijn voor de beoordeling van de betrouwbaarheid door middel van sterren geen harde grenzen. Hierdoor is het af en toe subjectief hoe veel sterren een bepaalde dataset krijgt. Daarnaast wordt deze sterrenverdeling niet meegenomen in de bepaling van de standaarddeviatie op de parameter. Daardoor is de sterrenbeoordeling van de betrouwbaarheid en de bepaalde standaarddeviatie niet altijd op elkaar afgestemd. Het zou dan ook goed zijn dit verder te kwantificeren.

De koppeling tussen het IKM en de ROBAMCI-tool is tot op heden in de cases niet altijd gelegd. De resultaten van de analyse met het IKM worden niet altijd gebruikt in de verdere berekeningen met de ROBAMCI-tool. Bij toepassing van het IKM in de toekomst is het daarom van belang van tevoren af te stemmen welke parameters gebruikt gaan worden in de ROBAMCI-tool en hoe de uitkomsten van het IKM aansluiten op de input voor de ROBAMCI-tool.

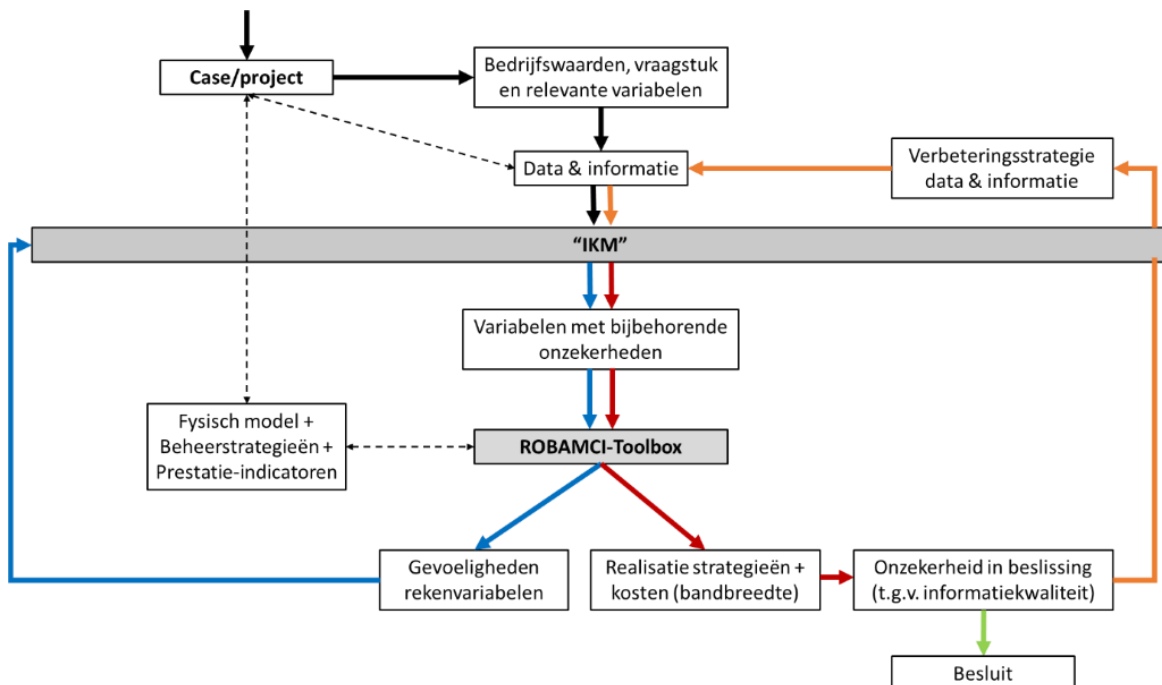
Ten slotte is het nog van belang dat het IKM ten eerste dient om kwaliteit van data te kunnen beoordelen en pas in tweede instantie als input voor de ROBAMCI-tool. De focus moet liggen op de beoordeling van de betrouwbaarheid van gebruikte data. In tweede instantie kan dan de input voor de ROBAMCI-tool gegenereerd worden aan de hand van de analyse met het IKM. Bij opdrachtgevers is het belang van betrouwbare data in het kader van assetmanagement niet altijd even duidelijk, terwijl dit reeds eerder buiten ROBAMCI theoretisch/wetenschappelijk reeds onomstotelijk is bewezen. Daarmee is het IKM en de toepassing ervan vaak onbekend, waardoor een discrepantie kan ontstaan tussen wat kan en wat verwacht wordt met het IKM. Bij gebruik van het IKM is het dan ook belangrijk dat hier bij aanvang van het project duidelijkheid over is, zodat de juiste parameters kunnen worden gekozen voor gebruik in het IKM.

## 7 Toepassing van het IKM in de praktijk

Aan de hand van de toepassing van het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM) op de cases binnen ROBAMCI is naar voren gekomen dat sommige onderdelen van het IKM goed toepasbaar zijn en dat andere onderdelen lastiger zijn toe te passen, bijvoorbeeld omdat veel kennis van de methodiek benodigd is of omdat niet alle gegevens beschikbaar zijn.

In dit hoofdstuk zal het IKM weergegeven worden waarbij de onderdelen van het IKM die minder goed werkten zijn aangepast. Gebleken is dat het IKM zelf goed toe te passen is op de meeste cases. De KBA bleek echter moeilijker toe te passen, met name door een gebrek aan de juiste data. Daarom wordt hier voorgesteld om de KBA te vereenvoudigen, zodat deze in volgende toepassingen van het IKM wel uitgevoerd kan worden.

In onderstaand figuur is weergegeven hoe het IKM past binnen het gebruik van data en informatie in de besluitvorming. Daarin is duidelijk te zien dat onzekerheden in de data en informatie doorwegen in de onzekerheid van het besluit dat genomen wordt.



Figuur 14 Plaats IKM in gebruik data & informatie voor besluitvorming

Het IKM zelf bestaat uit een aantal stappen, welke zijn weergegeven in Figuur 15. Hieronder zijn de stappen kort beschreven. De detailbeschrijvingen van deze stappen zijn weergegeven in Hoofdstuk 2.

**Stap 1** is het vaststellen van de relevante variabele(n). De relevante variabele(n) zijn afhankelijk van de vraag die gesteld is. Per proces dat wordt beschreven, zoals bijvoorbeeld de sterkte van een waterkering, kunnen meerdere parameters worden gekozen waar met behulp van het IKM per parameter een kwaliteitsoordeel over wordt gegeven.

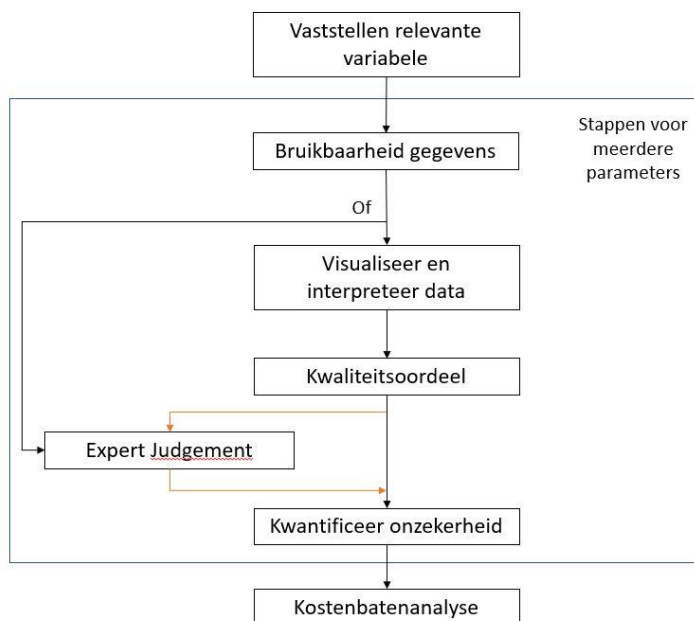
In **stap 2** wordt per variabele beoordeeld of er bruikbare data aanwezig is. Als er geen data aanwezig kan ook op basis van expertkennis een inschatting gemaakt worden van de parameterwaarde en bijbehorende bandbreedte. Als er wel voldoende data aanwezig is, wordt verder gegaan met stap 3, anders stap 6.

In **stap 3** wordt de data gevisualiseerd met behulp van een aantal eenvoudige methoden. Doel is een interpretatie te kunnen geven van het proces dat ten grondslag ligt aan de data en de kwaliteit van de data visueel te kunnen beoordelen.

In **stap 4** wordt vervolgens een kwaliteitsoordeel van 1 tot 5 sterren gegeven op basis van vijf 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 op basis van de visualisatie. De criteria voor dit oordeel zijn gegeven in Tabel 2 (paragraaf 2.6) Het kwaliteitsoordeel wordt daarmee deels afhankelijk van de persoon die dit oordeel stelt. Het is van belang om hier altijd de databeheerder, en mogelijk de beheerder van het fysieke systeem (dijk, watersysteem, riolering, etc.) bij te betrekken. Bij een lage beoordeling wordt daarnaast een handelingsperspectief geformuleerd hoe de informatiekwaliteit verbeterd kan worden.

**Stap 5** wordt alleen 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 judgement gebruikt om de conclusie op basis van de data te onderbouwen.

In **stap 6** wordt de input onzekerheid van de beschouwde parameter afgeleid. Dit vormt tevens de input van de ROBAMCI-tools. De methode waarmee de onzekerheid in een (model)parameter wordt beschreven hangt af van het kwaliteitsoordeel, zoals is samengevat in Tabel 3 (paragraaf 2.6).



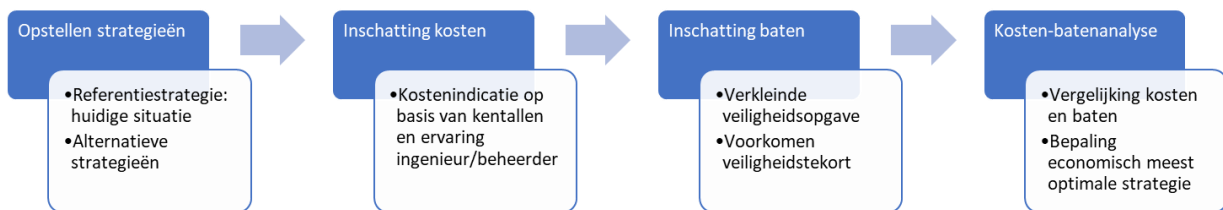
*Figuur 15 Stappen in het IKM*

De uitkomsten van stap 6 kunnen vervolgens gebruikt worden als input voor de ROBAMCI-tools. Daarmee kan de prestatie van de asset bepaald worden, inclusief bandbreedte veroorzaakt door de onzekerheid in de parameter(s).

Een kostenbatenanalyse (KBA) is onderdeel van het IKM. Hiermee kan bijvoorbeeld beoordeeld worden of het kosteneffectief is om meer of beter te meten. In de praktijk bleek dat het toepassen van de in dit rapport voorgestelde KBA in de cases lastig was, met name vanwege ontbreken van gegevens. Daarnaast is gebleken dat de kostenbatenanalyse zoals die is voorgesteld te ingewikkeld is. Daarom

wordt voorgesteld de kostenbatenanalyse te vereenvoudigen. Dit zal door BZIM, als aanvulling op dit rapport, nog verder uitgewerkt worden aan de hand van cases met voldoende data.

De hoofdlijn voor de uitwerking van de KBA is als volgt. Het maken van een kostenbatenanalyse bestaat uit een aantal stappen. Eerst worden verschillende mogelijke strategieën opgesteld. Daarbij is de huidige situatie altijd de referentiestrategie. Deze beschrijft de kosten en baten wanneer op dezelfde manier verdergegaan wordt. Na het opstellen van de scenario's wordt een inschatting gemaakt van de kosten van elk van de strategieën. Dit wordt gedaan aan de hand van kentallen en kennis en ervaring van de beheerder. Aansluitend worden ook de baten ingeschat. Dit wordt gedaan door te bepalen wat de verwachte verandering in prestaties is door meer/betere metingen, bijvoorbeeld vermindering in het veiligheidstekort bij een dijk. Een vermindering in veiligheidstekort resulteert in een verkleining van de versterkingsopgave en dus lagere uitvoeringskosten. Maar het is ook mogelijk dat de baten negatief zijn, bijvoorbeeld doordat de prestatie op basis van metingen minder goed blijkt. Dit betekent dat de sterkte van de kering in eerste instantie niet goed in beeld was en dat een potentieel veiligheidstekort wordt voorkomen. Dus een positief effect in termen van baten.



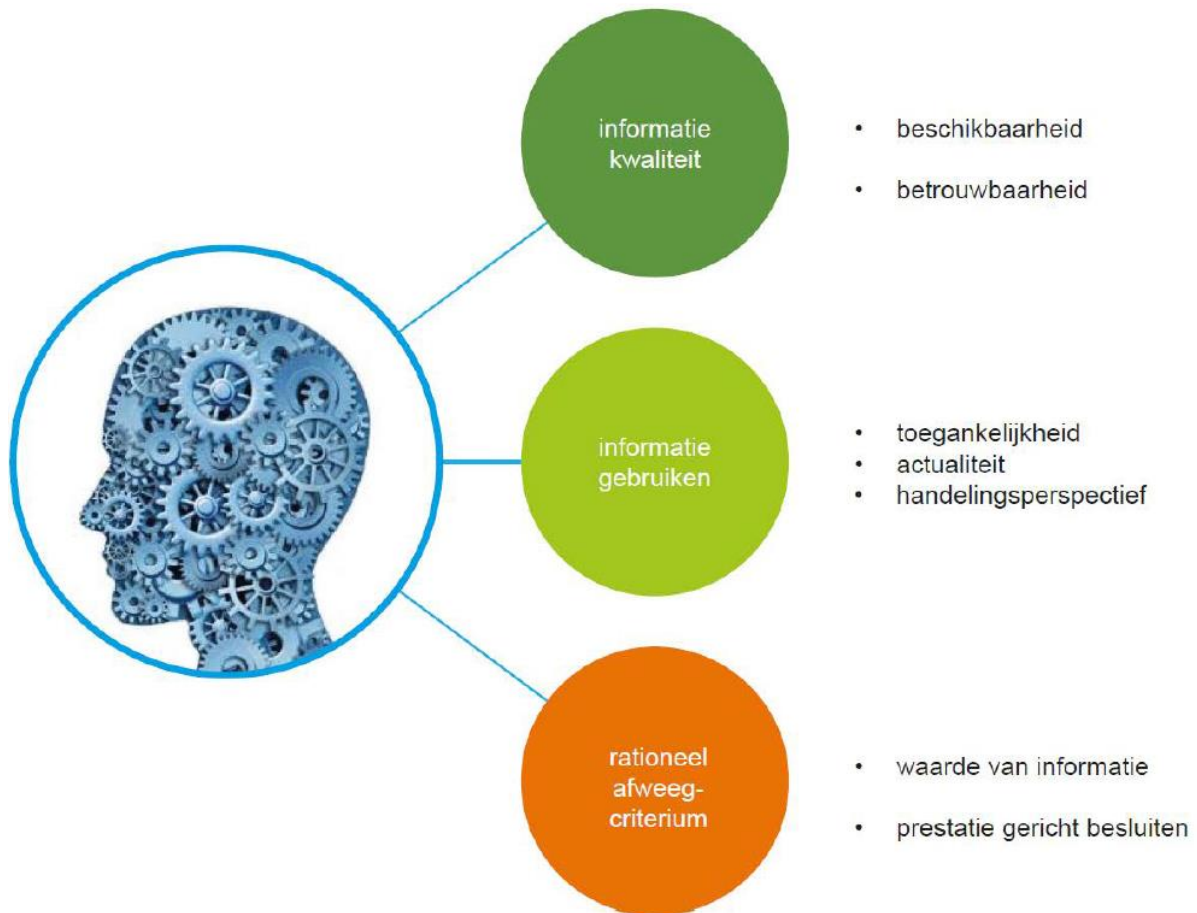
Figuur 16 Stroomschema kostenbatenanalyse

## 8 Bibliografie

- Bodemrichtlijn. (2019, februari 27). *Echolood*. Opgehaald van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemonderzoek/onderzoekstechnieken/echolood>
- Chbab, E. H., & van Noordwijk, 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.
- Rinsema, J. G., Pals, N., & Zomer, W. S. (2018). *Informatie Kwaliteitsmodel - Rapportage fase 3 ROBAMCI*. Deventer: BZ Ingenieurs & Managers.
- Schweckendiek, T. (2014). *On Reducing Piping Uncertainties*. Delft: TU Delft.
- van der Pol, T. (2015). *Climate Change, Uncertainty and Investment in Flood Risk Reduction*. Wageningen: Wageningen University.
- 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.
- Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers. *Journal of Management Information Systems*, 5-34.
- 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 Dijk informatie

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



*Figuur 17 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	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informatie is niet digitaal beschikbaar.</li> <li>▪ Het kost tijd om informatie centraal te stellen en juist te interpreteren.</li> <li>▪ Informatie is niet direct bruikbaar voor verschillende beslisproblemen.</li> <li>▪ Metadata niet op orde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Papieren archief</li> <li>▪ Data niet op dijksectie niveau beschikbaar</li> </ul>
★ → ★★ Digitaliseren van relevante dijkeninformatie		
★★ Data digitaal beschikbaar en toegankelijk	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informatie is digitaal opgeslagen op dijksectieniveau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alle gegevens digitaal beschikbaar, maar niet geo-gerefereerd.</li> </ul>
★★ → ★★★ Geo-refereren van gegevens en opzetten GIS		
★★★ Basisniveau Handelen op basis van beschikbare GIS bestanden, niet op basis van alle informatie besluiten nemen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Data beschikbaar binnen de gehele organisatie voor verschillende beslisproblemen</li> <li>▪ Alle achterliggende data van analyses in bezit van het waterschap en digitaal toegankelijk.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inzet GIS</li> <li>▪ Alle gegevens geo-gerefereerd beschikbaar</li> <li>▪ Voorbeeld: GeoNet (HHNK)</li> </ul>
★★★ → ★★★★ Toegankelijk maken tot beschikbare informatie op dijkvakniveau		
★★★★ Alle informatie centraal beschikbaar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informatie is snel beschikbaar.</li> <li>▪ Informatie is centraal beschikbaar, voor iedereen</li> <li>▪ Veiligheidsoordeel, inspectieresultaten en beoordelingsresultaten in het veld toegankelijk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inzet online GIS met toegang voor betrokkenen inclusief metadata</li> <li>▪ Voorbeeld: DDSC (Waternet)</li> </ul>
★★★★ → ★★★★★ Informatievoorziening rondom dijksterkte en belasting inrichten op actualiteit		
★★★★★ Single Point of Truth (SPOT) voor de gehele keten van waterveiligheid	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informatie is actueel (real-time) en compact (<i>to the point</i>) gericht op beslissingsondersteuning.</li> <li>▪ Risicobenadering toegepast (faalkans x gevolgen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Decision Support Systems</li> <li>▪ Alle dijksterkte informatie, informatie voor risicobeheersing realtime toegankelijk via dashboards</li> </ul>

## 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)
- Macro stabiliteit buitenwaarts (STBI)
- Macro stabiliteit binnenwaarts (STBU)
- Micro stabiliteit (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 5. Deze lijst is slechts bedoeld ter indicatie.

Tabel 5 Parameters met bijbehorende (sterkte)modellen en belangrijkste parameters

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



			Freatische lijn
<i>AGK</i>	BM Asphalt Golfklap	Opbouw asfalt	Profiel schematisatie Onderlaag Dikte asfalttoplaag Elasticiteitsmodulus asfalt Buigtreksterkte ondergrond Veercontante ondergrond
<i>AWO</i>	Empirische relatie	Opbouw asfalt	Dikte asfalt Type ondergrond
<i>GEBU</i>	BM Gras Buitentalud	Opbouw dijk	Profiel schematisatie Graskwaliteit (open/gesloten/ fragmentarisch) Zandgehalte Dikte kleilaag
<i>GABI</i>	Empirische relaties	Opbouw dijk	Taludhelling Dikte kleilaag
<i>GEKB</i>	Riskeer/Ringtoets PC Overlag	Opbouw dijk	Profiel schematisatie (Kruinhoogte)
<i>GABI</i>	Riskeer/Ringtoets PC Overslag	Opbouw dijk Ondergrond schematisatie	Profiel schematisatie Grondsoort dijk kern Doorlatendheid dijk kern Freatische lijn
<i>ZST</i>	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.

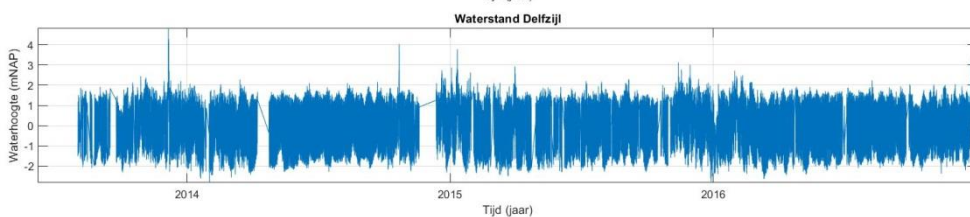
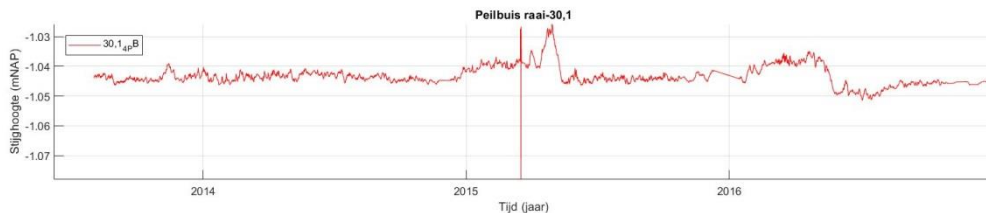
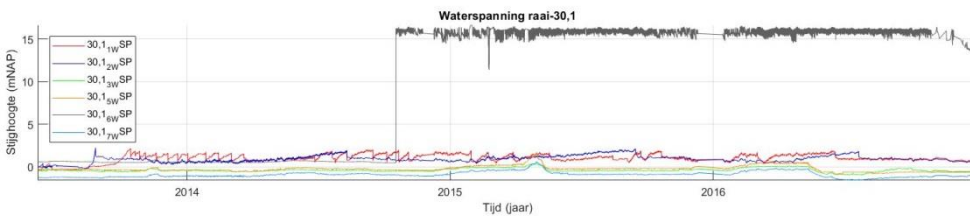
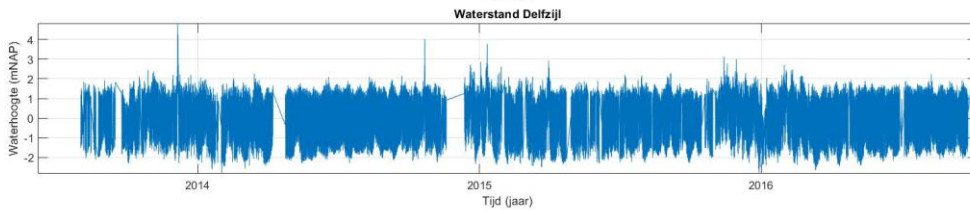
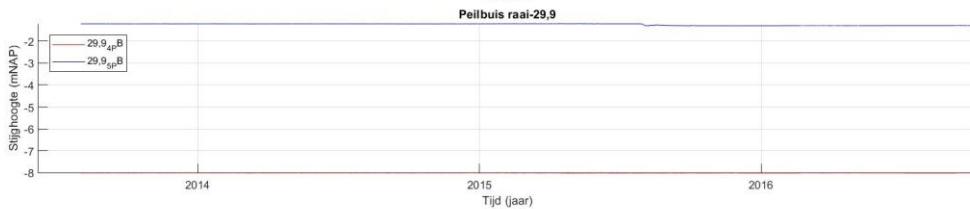
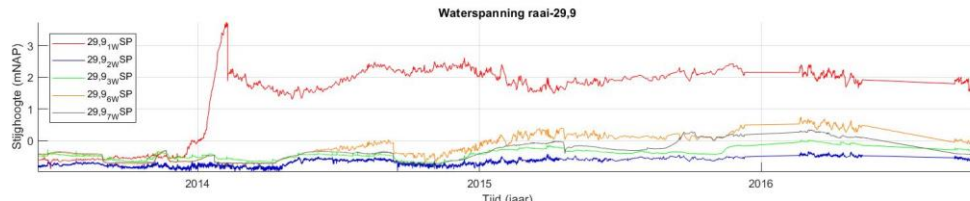
De relevante variabele is de freatische lijn. Niet alle waterspanningen representeren de freatische lijn. Omdat er misschien verbanden zijn te ontdekken tussen de verschillende waterspanningen, worden ze wel allemaal geplot. Vervolgens wordt de relevante waterspanningslocatie gekozen.

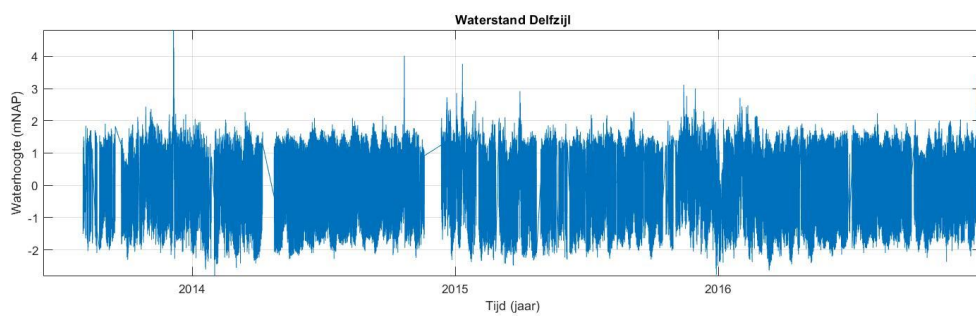
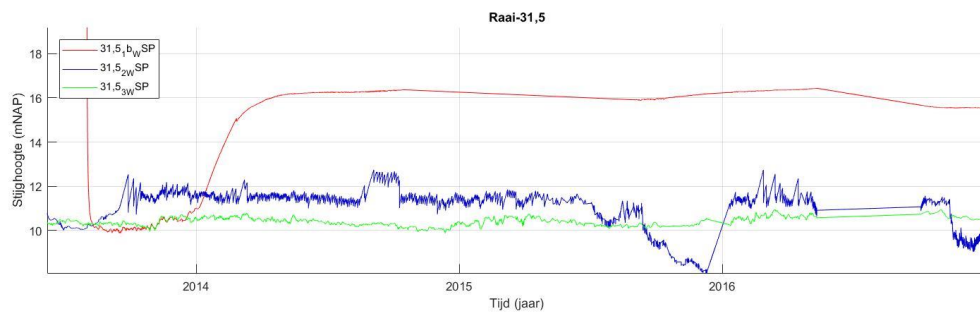
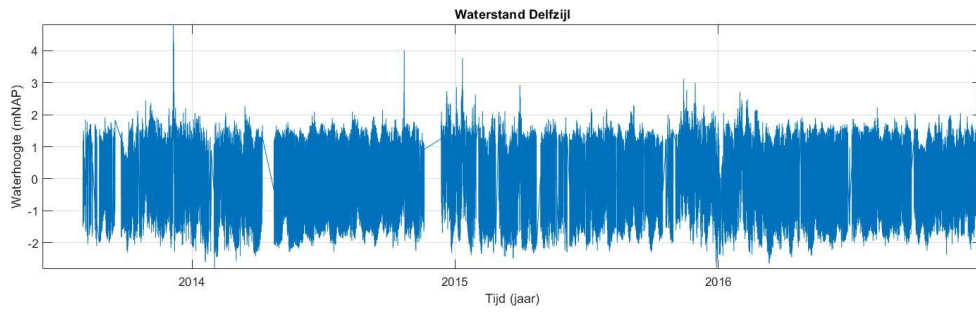
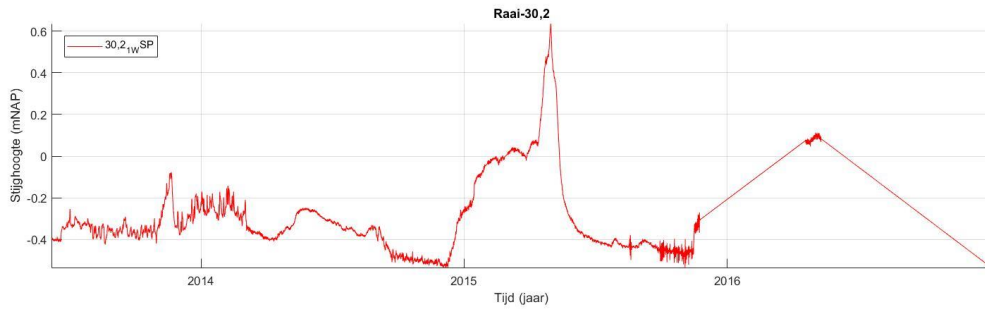
### Stap 3: Visualisatie en interpretatie

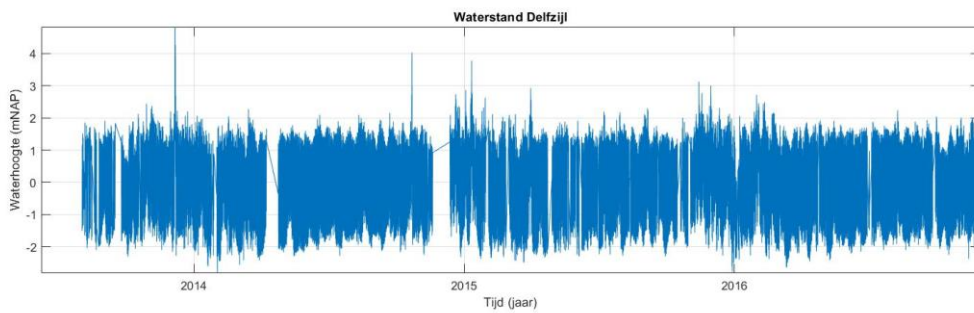
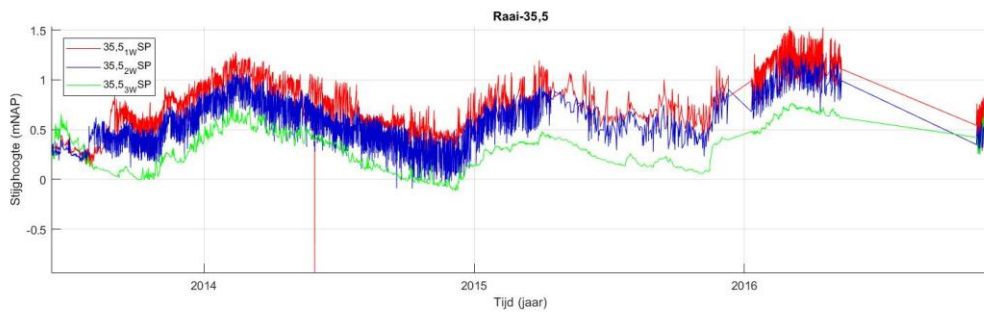
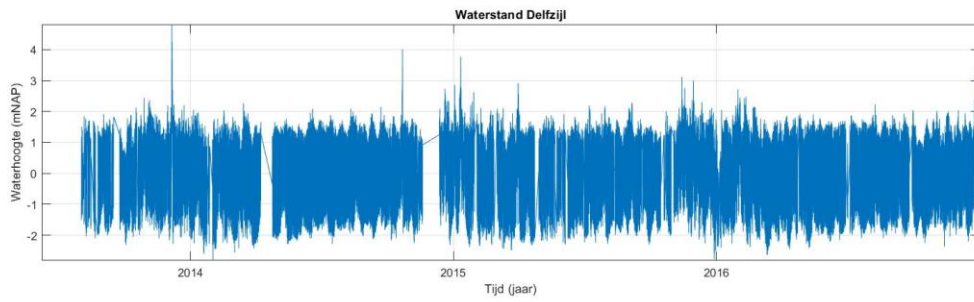
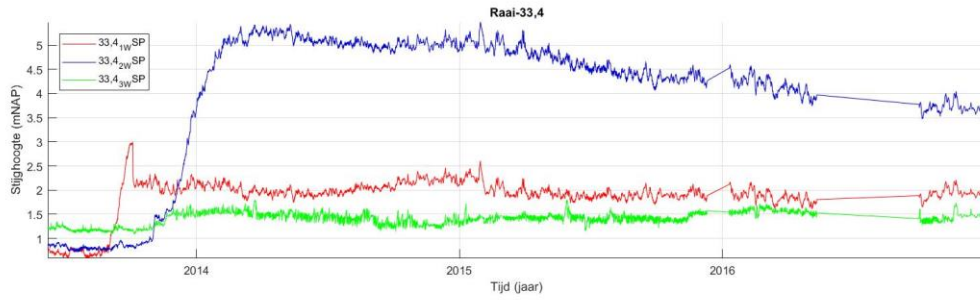
De data wordt in 3 fasen gevisualiseerd en geïnterpreteerd.

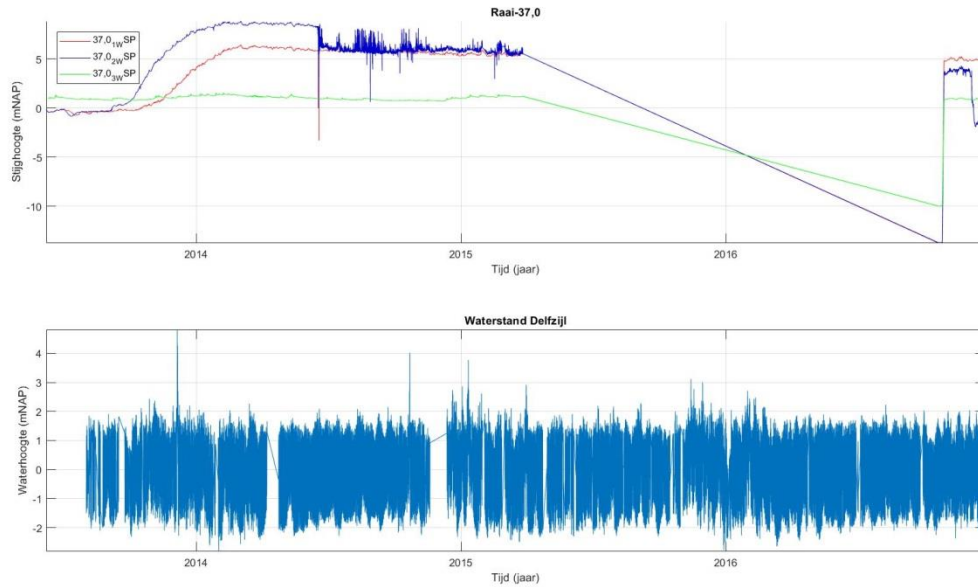
#### **Stap 3A: Visualiseer data**

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



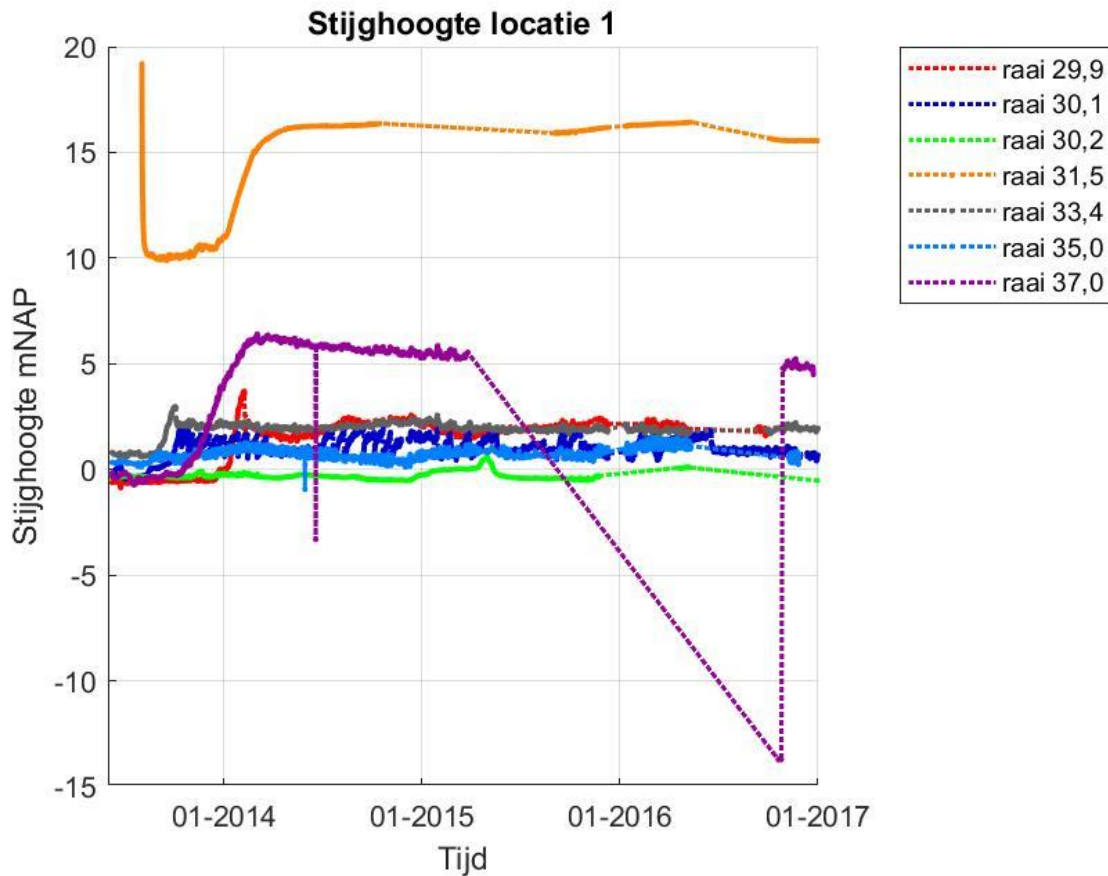






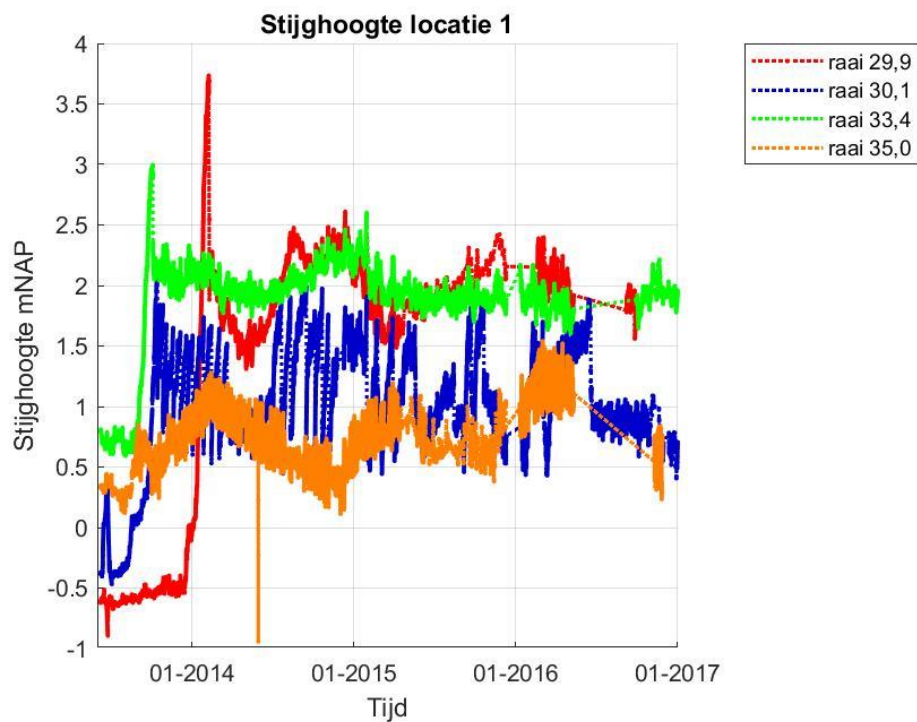
Door de visualisatie van de ruwe data wordt direct duidelijk dat er een aantal opvallende fenomenen zijn waargenomen. Zo is bijvoorbeeld bij raai 37,0 in 2016 een enorme dip te zien met een stijghoogte van NAP – 10 meter. Dit is erg onrealistisch, en dus waarschijnlijk een meetfout. In raai 30,1 is voor 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 18 Resterende waterspanningsmeters

### Stap 3B: Visualiseer data

In Figuur 18 is te zien dat nogal wat data mist in voornamelijk het laatste jaar van meten. Het percentage van beschikbare datapunten is samengevat in Tabel 6.

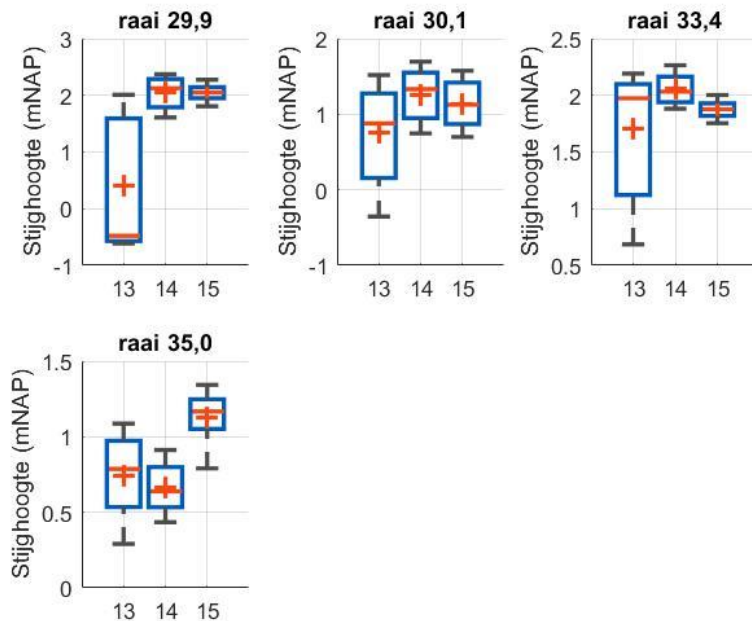
Tabel 6 Beschikbare data per raai<sup>1</sup>

	% 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

<sup>1</sup> 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%.

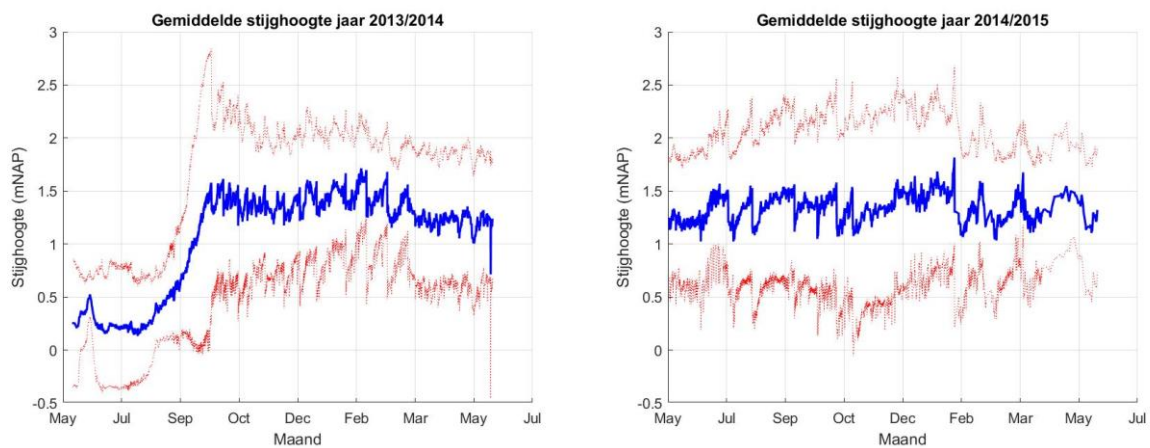


Tevens is te zien dat er een groot verschil zit in patroon tussen de verschillende meetreeksen. De boxplot van Figuur 18 is te zien in Figuur 19.

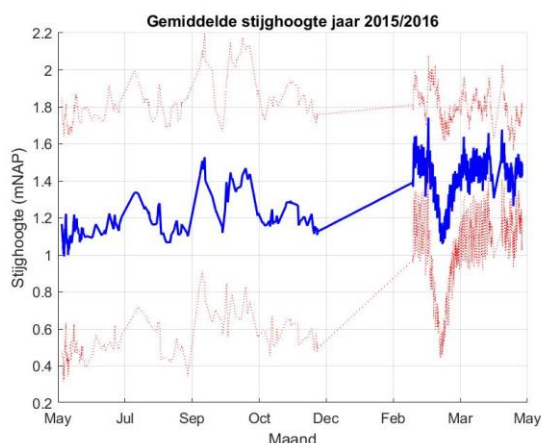


Figuur 19 Boxplot van data van locatie 1 per raai

Op basis van de boxplotten lijkt er een harde ondergrens te zijn voor raai 29,9 van NAP -0,8 meter. In Figuur 20 is de gemiddelde waarde over alle raaien geplot, inclusief de bandbreedte van de standaardafwijking.







Figuur 20 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 7. In het jaar 2013/2014 is de maximale waarde gemeten bij waterstand van 4,35 meter.

Tabel 7 Gemiddelde waarde en standaard afwijking van de piekwaarde per jaar

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

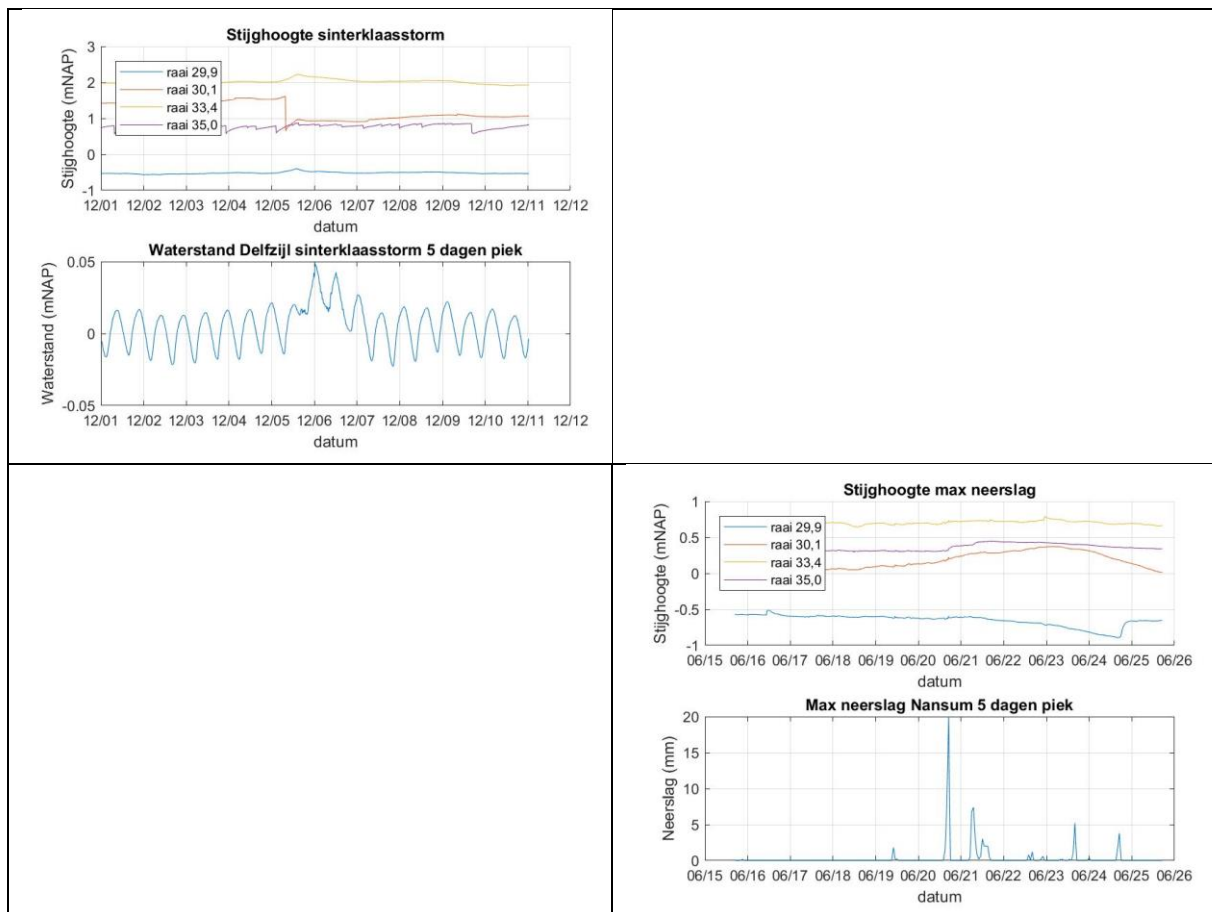
### Stap 3C: interpreteer data

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 sterrensysteem 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 systeem. 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 ROBAMCI-tools 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 de 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 21 (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018).



Figuur 21 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 22 (Zethof, Dupuits, & van Montfoort, 2018).



Figuur 22 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.

IKM

### Stap 1: Bepaal relevante variabele

De relevante variabele is bepaalt door het verouderingsmodel. Voor waterveiligheid wordt de veroudering beschreven door de zetting.

### Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

Het Hoogheemraadschap 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 2016). Wel heeft het Hoogheemraadschap een vuistregel voor de zetting in haar gebied.

### 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 23.



Figuur 23 verschilanalyse AHN2-AHN3

Op basis van bovenstaande figuur kan worden gesteld dat er ter hoogte van Alphen aan de Rijn (westelijk/link in de figuur) 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 (Figuur 19) waarin de zetting over de lengte van het traject is afgezet. De grafiek begint bij Alphen aan den Rijn (westelijk) waar de groeiende afstand richting het westen loopt.

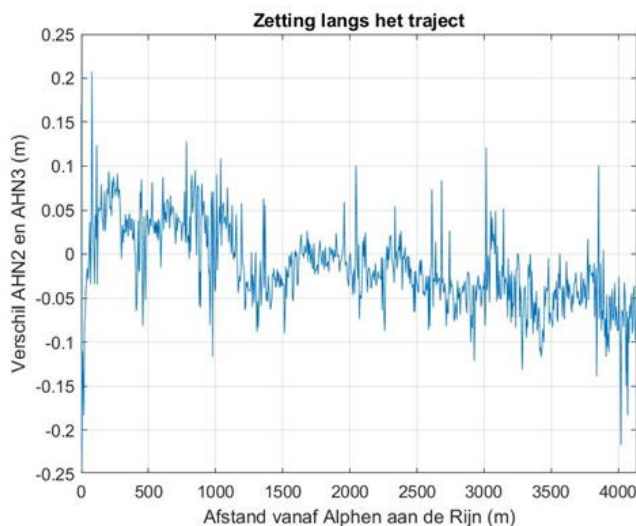
Er zijn een aantal uitschieters te zien, zowel positief (verhoging) als negatief (zetting). De verhoging is veroorzaakt door werkzaamheden als het vernieuwen van het asfalt of overig verstorend ingrijpen. Het is opvallend dat dicht bij Alphen aan den Rijn (bij afstand 0) zowel een grote negatieve piek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

Hierover is navraag gedaan bij de gemeente. Uit hun data blijkt inderdaad dat de eerste 1,2 kilometer is versterkt. Omdat op basis van deze data geen mate van zetting kan worden bepaald, wordt dit traject uitgesloten van verdere analyse.

Van nature is een stijging van de bodem in zettingsgevoelig gebied geen realistische verwachting. Aangenomen is daarom dat er menselijke ingrepen (primair) zijn geweest die de stijging tot gevolg hebben. De uitgevoerde versterkingen zijn 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 is de aanname gedaan dat alle negatieve waarden zettingen zijn, waar geen versterking heeft plaats gevonden. Tevens is deze data samengevat in Tabel 9.

	Totaal [m]
Gemiddelde	-0,042
Mediaan	-0,036
Std	0,031
5%	-0,004
95%	-0,091

Tabel 9: karakteristieken van gefilterde zettingsdata (2008-2014)

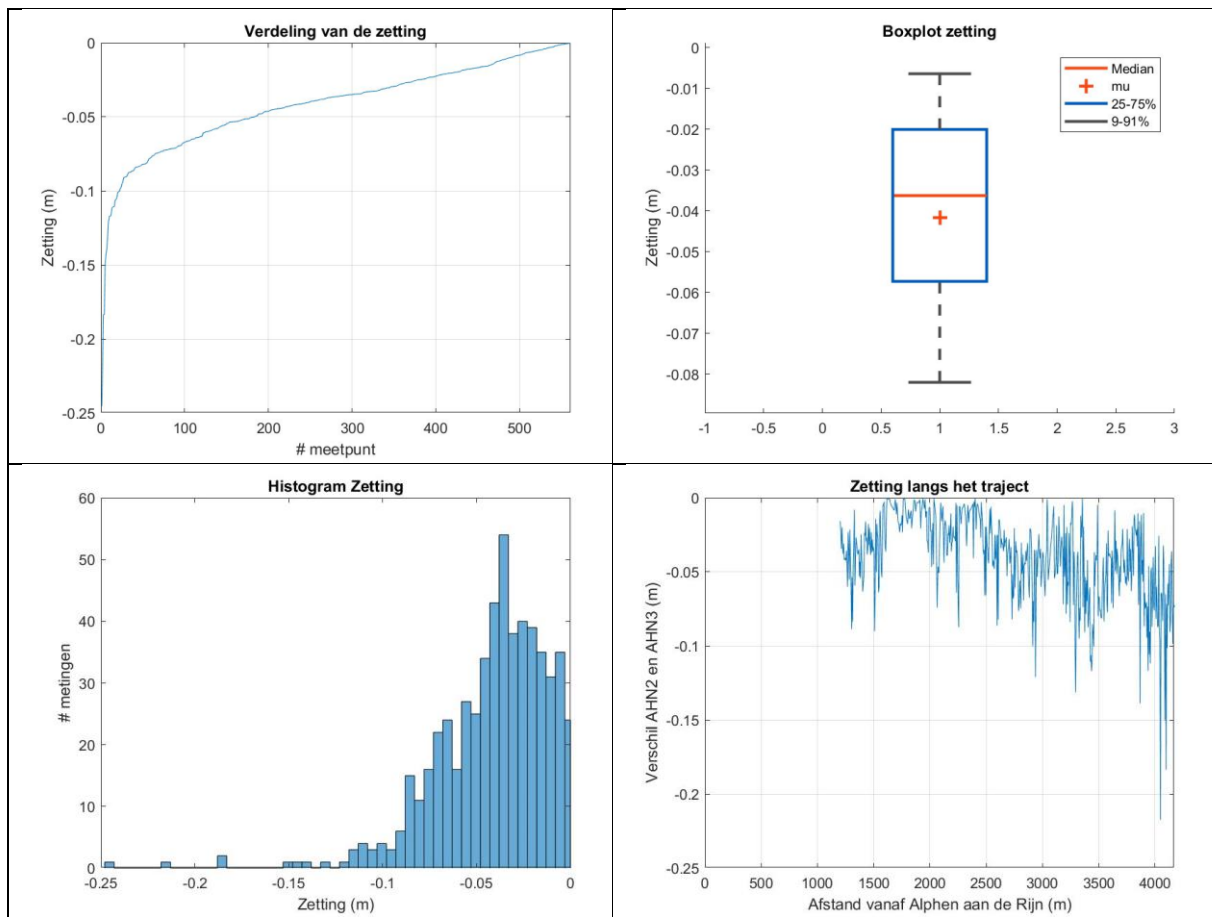


Figuur 24 Verschilanalyse AHN2-AHN3 uitgezet in grafiek

### Stap 3B: Visualisatie data

De gefilterde data is weergegeven in figuur 25D. De verdere visualisatie is uitgevoerd zowel in de vorm van een (cumulatieve)verdelingsgrafiek van de zetting (figuur 25A), als in een boxplot (figuur 25B) en als histogram (figuur 25C).





Figuur 25 A) Verdeling van de zetting in zettingsgebied; B) Boxplot van de zetting C) histogram van de zetting D) langsprofiel

### Stap 3C: Interpreteer data

De gemiddelde hoogteverandering van het traject is  $-0,016$  en de mediaan van deze verandering ligt op  $-0,02$ , waarmee geconcludeerd kan worden dat er over het algemeen sprake is van zetting op het traject Alphen aan den Rijn – Zwammerdam. Vanwege het gestelde criterium dat er geen sprake kan zijn van stijging is er gekozen voor een lognormale verdeling voor de zetting. Dit type verdeling van de hoogteverandering komt tevens visueel overeen met de verdeling en histogram uit figuur 25A en 25C.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel worden zettingsnelheden per jaar gebruikt.. Hierbij wordt aangenomen dat de zetting lineair heeft plaats gevonden.

Voor de berekeningen in het kader van het verouderingsmodel is in deze case alleen de zetting van belang. De zettingsnelheid van de gepresenteerde zettingsdata betreft  $0,7$  cm per jaar met een standaardafwijking van  $3,1$  cm op de zetting na 6 jaar. Om de standaarddeviatie van de zetting in jaar 0 te bepalen is het van belang is om te bepalen wat de standaardafwijking op de zetting moet zijn geweest om over een periode van 6 jaar tot een standaardafwijking  $3,1$  cm te komen.

Door middel van een Monte Carlo Analyse is het zettingsverloop over de betreffende 6 jaar gemodelleerd. Hieruit is gebleken dat wanneer men uit gaat van een lineair zettingsverloop, de standaard deviatie van de zetting een waarde van  $0,52$  cm moet hebben om in jaar 6 uit te komen op een standaarddeviatie van  $3,1$  cm op de dataset, welke gelijk is aan de gemeten dataset.

## Meetonzekerheid

Vanuit de kwaliteitscontrole van de AHN-data wordt aangegeven dat er een systematische meetfout van 3 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 over 6 jaar. Voor de meetfout is met behulp van een uniforme verdeling gemodelleerd welke gelijk is voor het gehele traject. Er is geen reden om aan te nemen dat dit type meetfout dichter bij 0 zit dan bij 3, waardoor niet voor een normale verdeling is gekozen.

Aangenomen is dat de spreiding in het eindsignaal (de gemeten zetting over 6 jaar) uit 2 componenten bestaat. Namelijk: 1) de spreiding veroorzaakt door variaties in de zettingsnelheid en 2) de meetfout. De componenten zijn weergegeven in de volgende vergelijking uitgedrukt in varianties ( $\sigma^2$ ):

$$\sigma_{\text{eindsignaal}}^2 = \sigma_{\text{zetting}}^2 + \sigma_{\text{meetfout}}^2$$

Zowel de spreiding op het eindsignaal (standaard deviatie van 3,1 cm), als de meetfout (-3 cm tot +3 cm) is bekend. De variantie in het eindsignaal is namelijk het kwadraat van de standaarddeviatie:  $3,1^2 = 9,61$ . De variantie op de meetfout kan bepaald worden aan de hand van de eigenschap van de uniforme verdeling, namelijk:  $\sigma^2 = 1/12(\text{bandbreedte})^2$  waardoor de variantie op de meetfout  $\frac{1}{12}(6)^2 = 3$  bedraagt. De standaarddeviatie van de zetting in het eindsignaal bedraagt dus:

$$\sigma_{\text{zetting}} = \sqrt{9,61 - 3} = 1,9 \text{ cm}$$

Over 6 jaar betekent dit, door lineair zettingsverloop, dat de standaarddeviatie een waarde van  $1,9/6=0,31$  cm aan neemt. Echter bedraagt dit de standaarddeviatie van de onderliggende normale verdeling. Deze wordt omgerekend omdat uit is gegaan van een lognormale verdeling voor de zetting. Voor het omrekenen wordt de volgende formule gebruikt:

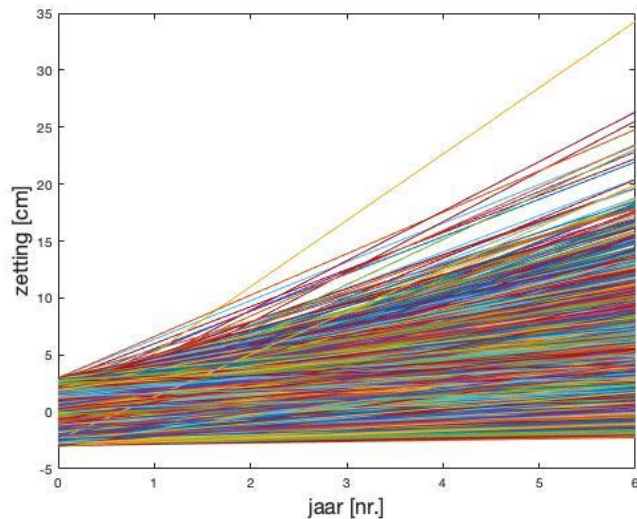
$$\sigma_{\text{lognormaal}} = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma_{\text{normaal}}^2}{\mu_{\text{normaal}}^2} + 1\right)}$$

$\sigma_{\text{lognormaal}}$  voor de zetting bedraagt dus:

$$\sigma_{\text{lognormaal}} = \sqrt{\ln\left(\frac{0,31^2}{0,7^2} + 1\right)} = 0,43 \text{ cm}$$

Deze waarde kan ter validatie tevens afgeleid worden met behulp van een Monte Carlo analyse waarbij de zetting over 6 jaar wordt gemodelleerd. Hiervoor is lineair zettingsverloop gemodelleerd, over een tijdsbestek van 6 jaar, waarvoor voor elke realisatie een mate van zetting is getrokken uit een lognormale verdeling. Daarnaast is over het zettingsverloop voor elke realisatie een random waarde tussen 3 en -3 toegevoegd om de meetfout te simuleren. Voor elke realisatie van zettingsverloop is voor het geheel een enkelvoudige bias toegevoegd voor de meetfout, omdat is aangenomen dat deze voor AHN2 (jaar 0) en AHN3 (jaar 6) niet cumulatief is. Deze gemodelleerde zetting over de betreffende 6 jaar is weergegeven in figuur 26, gebruik makend van 10000 Monte Carlo realisaties, waarbij elke lijn voor een zettingsverloop/realisatie staat.





Figuur 26 Monte Carlo simulatie zettingsverloop inclusief meetfout per zettingsverloop.

Om in jaar 6 op een vergelijkbaar eindsignaal, met een standaarddeviatie van 3,1 cm uit te komen (gelijk aan het gemeten eindsignaal in jaar 6), blijkt dat een waarde van 0,43 cm voor de sigma ( $\sigma$ ) van de lognormale verdeling van de zetting moet worden gefit (in combinatie met de gemiddelde jaarlijkse zetting van 0,7 cm). Deze komt overeen met de analytisch bepaalde waarde.

#### Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data en opgestelde grafieken wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

- 1. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data**  
Er is een tijdreeks van zetting samengesteld uit 2 datasets – dit is het minimum, en dus enigszins mager te noemen.
- 2. Uitschieters**  
Er zijn geen grote uitschieters aanwezig in de dataset. Wel is de eerste 1,2 kilometer van de analyse uitgesloten omdat hier een verbetering van de weg heeft plaats gevonden, waardoor de resulterende verandering van de hoogte niet alleen natuurlijk is ontstaan.
- 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 5 meter. Dit is inclusief de data waarbij de hoogte positief is (dus bij ophoging of iets dergelijks).  
De gemiddelde resolutie van de waarden waarbij de zetting negatief is, is 5,79 meter.
- 5. Kwaliteit meetmethode**  
De systematische meetfout is 3 centimeter per AHN meting.

De score voor de datakwaliteit is 2 sterren volgens de IKM methodiek. 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 expertdata gebruikt moet worden voor het meten van de prestatie van de asset. Op basis van de verschillen moet bepaald worden wat de input wordt voor de zetting.

### Stap 5: expert judgement

Als vuistregel in de hoogtetoets wordt een zetting van 1 cm/jaar gebruikt. Dit wordt gezien als maximale zetting (95% waarde). Deze vuistregel is afkomstig van het waterschap. Er is geen bandbreedte bekend op basis van expert judgement.

### 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, omdat er op natuurlijke wijze geen verhoging van de grond kan ontstaan, daarom is een lognormale verdeling voor de zetting aangenomen.

Er worden twee type onzekerheden geformuleerd en gebruikt in de vervolganalyse. De eerste is de onzekerheid van de dataset alleen (eindsignaal), het gemeten hoogteverschil over 6 jaar. De dataset heeft een gemiddelde verandering van 0,7 cm/jaar met een standaardafwijking van 0,5 cm/jaar.

Om ook de meetonzekerheid expliciet mee te nemen is het eindsignaal ontleed in de componenten meetonzekerheid en zetting. De gemiddelde waarde inclusief meetonzekerheid van de AHN-data is 0,7 cm/jaar met een sigma voor een lognormale verdeling van 0,43 cm/jaar.

### Toepassing IKM

Na de bepaling van de input de ROBAMCI-tools 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 IKM beschreven. De invoer voor de ROBAMCI-tools is te zien in Figuur 27.

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 27 Invoer ROBAMCI-tools

## Bijlage V: Mark-Dintel-Vliet boezem Waterschap Brabantse Delta

### Inleiding

Het Waterschap Brabantse Delta heeft binnen het Mark-Dintel-Vliet-systeem een flinke achterstand wat betreft het baggeren van het systeem. Dit betekent dat er veel meer bagger in het systeem aanwezig is dan gewenst. Dit heeft zowel voor de scheepvaart als voor de waterveiligheid implicaties.

Met behulp van het IKM is voor de Mark-Dintel-Vliet-boezem geanalyseerd waar de baggeraanwas het grootste is. Dit vindt plaats met behulp van Multibeam-metingen, uitgevoerd door het waterschap over de afgelopen jaren. Om een strategie te bepalen waarmee de hoeveelheid bagger in het systeem zo effectief mogelijk kan worden gereduceerd, wordt bepaald waar de baggeraanwas het grootste is.

### Toepassing Informatie Kwaliteits Model (IKM)

Het IKM bestaat uit verschillende stappen, die hieronder toegelicht worden en vervolgens toegepast zijn op de case Mark-Dintel-Vliet-systeem.

#### **Stap 1: Bepaal relevante variabele**

De relevante variabele voor het bepalen van de baggeraanwas per jaar is de bodemhoogte ten opzichte van NAP. Wanneer hier over meerdere jaren gegevens van beschikbaar zijn, kan dit vertaald worden naar een baggeraanwas per jaar.

#### **Stap 2: Beschikbaarheid gegevens**

In de case Mark-Dintel-Vliet heeft het Waterschap Brabantse Delta gegevens beschikbaar uit Multibeam-metingen uit de jaren 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013 en 2014. Er is niet elk jaar in het hele Mark-Dintel-Vliet systeem gemeten, maar in deze jaren is het hele systeem overal minimaal 2 keer bemeten, waardoor overal een baggeraanwas bepaald kan worden. Uiteraard zal de onzekerheid op locaties met minder metingen groter zijn dan op locaties met meer metingen.

Volgens gegevens van het waterschap is in het systeem niet gebaggerd sinds 2007, waardoor dit geen invloed kan hebben op de metingen en hier in de analyse geen rekening mee gehouden hoeft te worden.

#### **Stap 3: Visualiseer, kwantificeer en interpreteer data**

Het visualiseren en kwantificeren van de data is opgesplitst in 3 stappen, namelijk:

Stap 3A: het visualiseren van de ruwe data en het filteren van uitschieters

Stap 3B: het visualiseren van de resterende dataset

Stap 3C: het interpreteren van de data.

Deze zijn hieronder nader toegelicht.

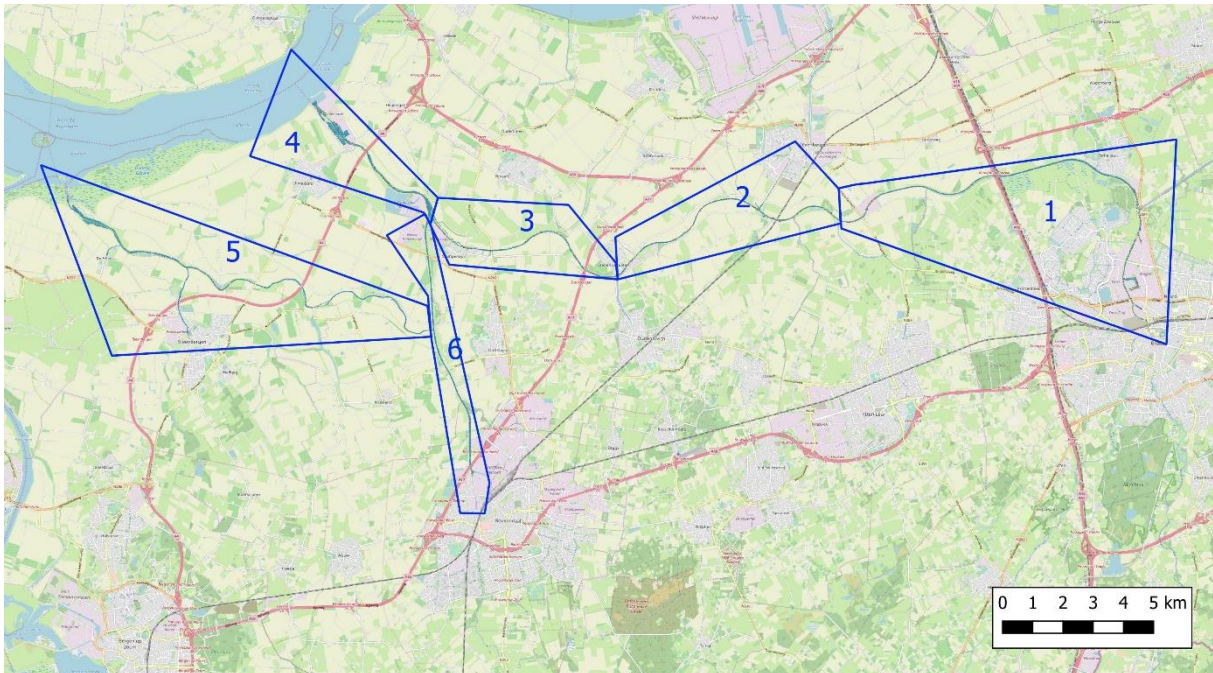
#### **Stap 3A: Plot ruwe data en filter op uitschieters**

De ruwe data is gevisualiseerd in GIS en gecontroleerd op uitschieters. Daaruit is gebleken dat er geen significante uitschieters aanwezig zijn. Hier en daar zijn wel uitschieters aanwezig, maar dit zijn slechts enkele punten op het totaal van miljoenen datapunten, waardoor dit geen invloed heeft op de resultaten. Daarom is er voor gekozen deze datapunten in de dataset te laten zitten en hier niet uit te filteren.

De beschikbare data is geplot en opgeknipt in 6 delen die zo veel mogelijk overeenkomen met betrekking tot hun eigenschappen en baggeraanwas. De deelgebieden zijn als volgt, zie ook Figuur 28:

1. Mark van Breda tot Leursche Haven
2. Mark van Leursche Haven tot Standaardbuiten (start Dintel)

3. Dintel van Standaardbuiten tot Mark-Vlietkanaal
4. Dintel van Mark-Vlietkanaal tot Dintelsas
5. Vliet van Mark Vlietkanaal tot Benedensas
6. Mark-Vlietkanaal



Figuur 28 – Deelgebieden

### Stap 3B: Visualiseren van resterende dataset

In stap 3A zijn geen significante uitschieters gevonden. Daarmee komt deze stap te vervallen.

### Stap 3C: Interpreten van de data

De data is geïnterpreteerd door een aantal stappen te volgen. Eerst zijn de Multibeam-metingen (hoge dichtheid puntmetingen) omgezet naar rasters (pixels). Daarmee wordt een vlakdekkend beeld verkregen en is het mogelijk de metingen uit de verschillende jaren kwantitatief te vergelijken.

Om de jaarlijkse baggeraanwas te kunnen bepalen zijn de verschillende ingemeten jaren met overlap in locatie, van elkaar afgehaald. Wanneer meerdere jaren tussen de metingen zit is hier rekening gehouden door het verschil te delen door het aantal jaren. Daarmee is voor elke set van twee metingen een baggeraanwas per jaar bepaald. Dit betekent dat er op locaties met meerdere ingemeten jaren, meerdere waarden voor de jaarlijkse baggeraanwas beschikbaar zijn. Een volgende stap is daarom het samenvoegen van de verschillende waarden in één ruimtelijke kaart laag. Wanneer er op locaties meerdere waarden voor baggeraanwas bepaald zijn (in de vorige stap), is op de betreffende locatie de mate van baggeraanwas gemiddeld. Deze bepaling van de baggeraanwas per pixel is omschreven in de onderstaande vergelijking (geldt voor elke pixel):

$$\text{Pixel baggeraanwas jaar}^{-1} = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \left( \frac{1}{N-j} \sum_{K=j+1}^N \left( \frac{h_k - h_j}{T_k - T_j} \right) \right) \quad (\text{Verg. 1})$$

Met:

$N$  = aantal multibeam metingen op pixel locatie = aantal kaartlagen per pixel locatie

$h$  = bodemhoogte [m NAP] op pixel locatie

$j, k$  = multibeam meting/kaartlaag nummer op chronologische volgorde  
 $T$  = jaartal van multibeam meting

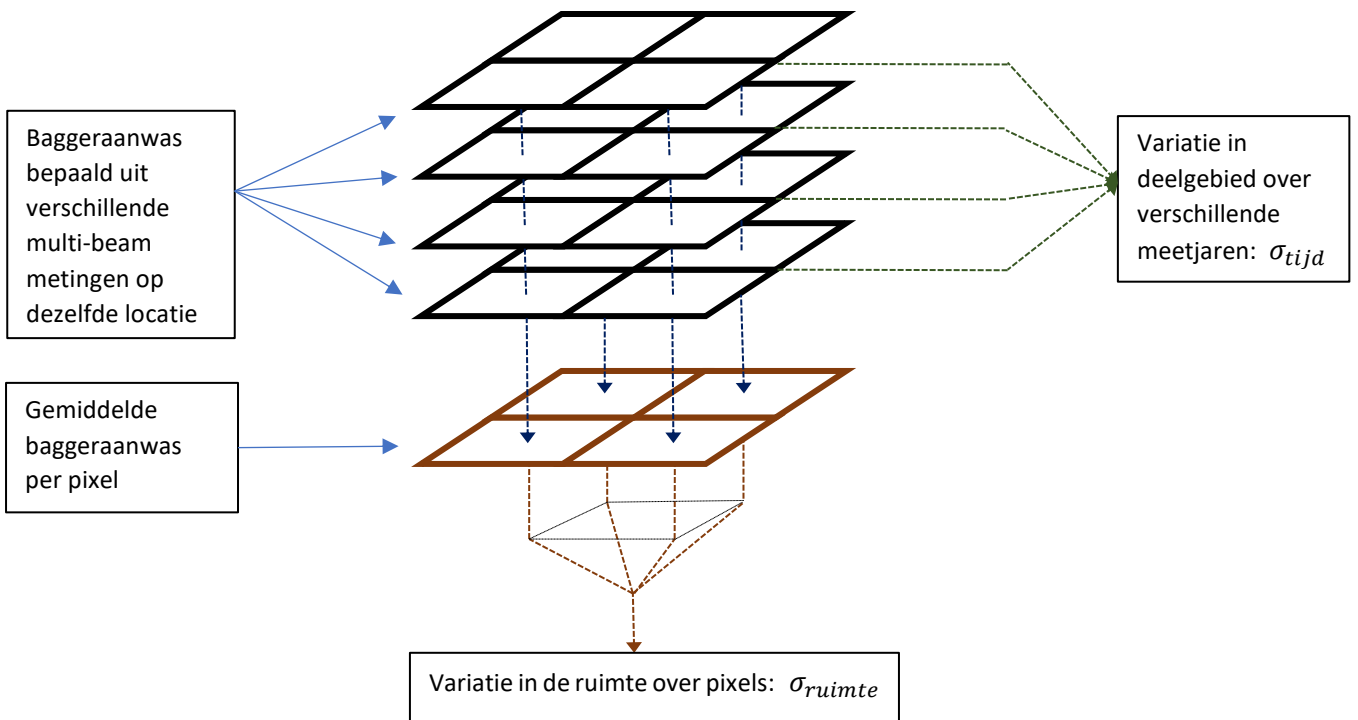
Op deze wijze is voor alle deelgebieden, vlakdekkend, een mate van baggeraanwas bepaald (Bijlage I). Het is goed te zien dat op sommige plekken zoals bochten zowel erosie als sedimentatie op treedt, zie figuur 29 ter plaatse van deelgebied 2. In figuur 29 is duidelijk te zien dat de mate van baggeraanwas een relatief grote mate van ruimtelijke spreiding kan hebben.



Figuur 29: ruimtelijk variatie in baggeraanwas als gevolg van erosie en sedimentatie in bochten

De mate van variatie in de baggeraanwas kan op verschillende manieren worden geïnterpreteerd, namelijk als ruimtelijke variatie en variatie in de tijd. Ruimtelijke variatie betreft variatie in baggeraanwas over verschillende plekken in het systeem, zoals erosie en sedimentatie (zoals weergegeven in figuur 29) maar ook als gevolg van andere invloeden zoals scheepvaart. Het betreft hier dus de variatie tussen de baggeraanwas per pixel (zoals bepaald in vergelijking 1). Daarnaast is er een variatie van baggeraanwas in de tijd. Dit is de variatie tussen baggeraanwas afgeleid uit verschillende jaren van metingen op dezelfde locatie. Deze twee variaties zijn schematisch weergegeven in figuur 30.





Figuur 30: schematische weergave van variatie in baggeraanwas bepaald over tijd en ruimte per deelgebied

Hierbij geldt:

$$\sigma_{ruimte} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \mu_b)^2}{n}}$$

Met:

$n$  = aantal pixels in deelgebied

$P_i$  = baggeraanwas op pixel

$\mu_b$  = gemiddelde baggeraanwas in deelgebied

En

$$\sigma_{tijd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (L_i - \mu_b)^2}{m}}$$

$m$  = Aantal kaartlagen (over tijd) met mate van baggeraanwas in deelgebied

$L_i$  = Gemiddelde baggeraanwas per kaart laag (over tijd) in deelgebied

De ruimtelijke standaarddeviatie  $\sigma_{ruimte}$  zegt in mindere mate iets over de onzekerheid in de bepaalde gemiddelde baggeraanwas in een gebied. De ruimtelijke variatie is namelijk inherent aan het natuurlijke systeem. Het zegt echter wel iets over hoe sterk de mate van baggeraanwas varieert in het deelgebied. Ter bepaling van de mate van onzekerheid in de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas per deelgebied, wordt de variatie in baggeraanwas over de tijd  $\sigma_{tijd}$  relevanter geacht ten opzichte van waterveiligheid.

In tabel 10 zijn per deelgebied waarden gegeven voor de gemiddelde baggeraanwas (in ruimte en tijd) met de bijbehorende ruimtelijke variatie en variatie over de tijd.

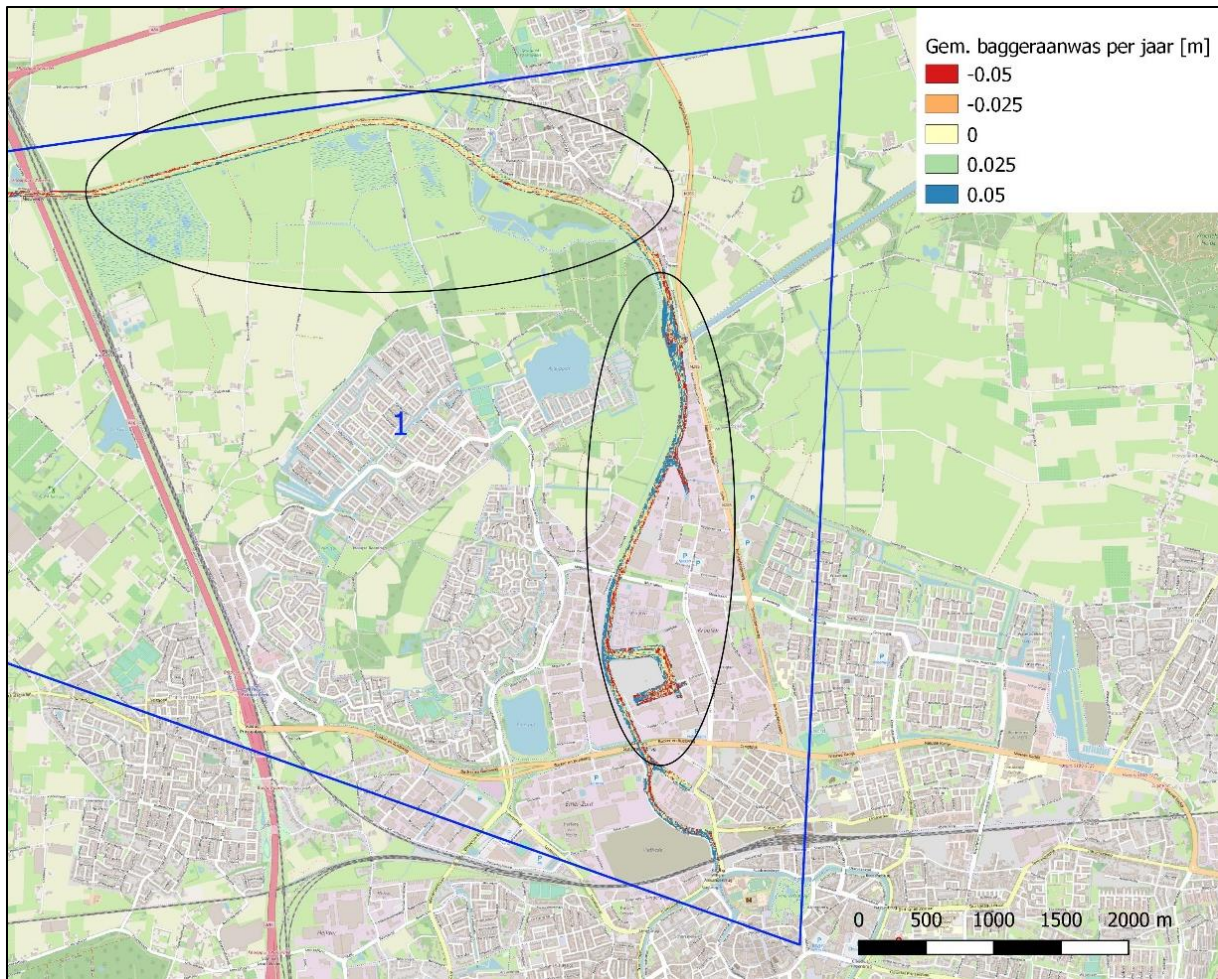
Tabel 10 – Gemiddelde baggeraanwas per jaar in deelgebieden met variaties

Deelgebied	Gemiddelde [cm/jaar]	Ruimtelijke standaarddeviatie [cm/jaar] $\sigma_{ruimte}$	Standaarddeviatie verschillende meetreeksen [cm/jaar] $\sigma_{tijd}$	Jaren metingen
1	1,91	10,53	2,8	2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013
2	0,18	10,80	0,93	2008, 2013, 2014
3	2,60	9,31	2,24	2008, 2009, 2010, 2011, 2013
4	1,57	6,45	2,13	2009, 2013, 2014
5	1,07	6,24	0,65	2010, 2011, 2014
6	1,63	3,81	-	2010, 2014

In de volgende paragrafen zal er gereflecteerd worden op de resultaten. Hierbij wordt eerst gereflecteerd op verschillende gemiddelden en vervolgens de variaties in ruimte en tijd.

#### Gemiddelden per deelgebied

In de tweede kolom van tabel 1, zijn gemiddelden gegeven voor de mate van baggeraanwas in de verschillende deelgebieden. De algemene verwachting is dat in bovenstroomse deelgebieden (deelgebied 1 en 2) een lagere mate van baggeraanwas zou plaats vinden dan in benedenstroomse gebieden. Dit is fysisch verklaarbaar door relatief hogere stroomsnelheden in bovenstroomse gebieden. Voor deelgebied 2 wordt er ook aan deze verwachting voldaan, met de laagste mate van baggeraanwas vergeleken met de overige deelgebieden. De gemiddelde baggeraanwas van deelgebied 1 voldoet hierbij niet aan de verwachtingen, echter is hier een mogelijke verklaring voor te vinden wanneer gekeken wordt naar verschillen in de mate van baggeraanwas tussen het beneden- en bovenstroomse deel van de aansluiting tussen de Mark en het Markkanaal, zie figuur 23.



Figuur 31: gemiddelde baggeraanwas in de Mark, boven- en onderstrooms van de verbinding met het Markkanaal

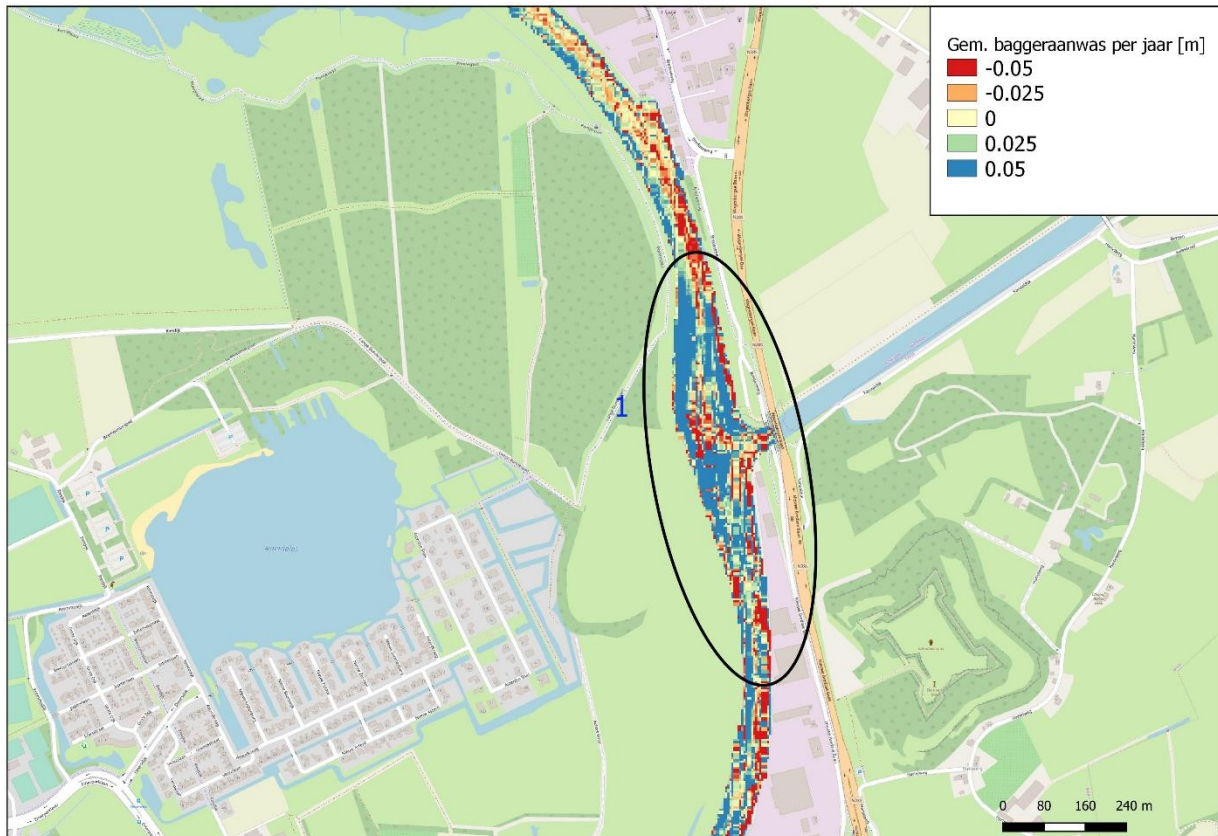
In Figuur 31 is duidelijk te zien dat benedenstrooms (noordelijk) van de aansluiting met het Markkanaal de mate van baggeraanwas relatief laag is vergeleken met het bovenstroomse (zuidelijke) deel. Hierbij voldoet het deel benedenstrooms van de aansluiting met het Markkanaal aan de verwachting van een lagere baggeraanwas ter plaatse van deelgebied 1. Het hoge gemiddelde in dit deelgebied wordt echter veroorzaakt door de watergang richting de haven/centrum van Breda. Het water uit het centrum komt hier terecht in een relatief grote vaargeul waardoor stroomsnelheden mogelijk afnemen, en daardoor de mate van baggeraanwas toe neemt. Na de aansluiting met het Markkanaal loopt het debiet, en als gevolg, de stroomsnelheid weer op waardoor er een duidelijk verschil ontstaat in baggeraanwas. Mogelijkerwijs heeft ook de scheepvaart zelf een invloed op de erosie en sedimentatie van de waterbodem.

De hogere mate van gemiddelde baggeraanwas in de benedenstroomse deelgebieden 3, 4, en 6 voldoen aan gestelde verwachtingen, echter geeft deelgebied 5 een lagere mate van baggeraanwas. Mogelijke oorzaak zou de relatief hoge stroomsnelheden in de Steenbergsevlief tijdens het doorspoelen in de zomer kunnen zijn, bij (tijdelijke) sluiting van Dintelsas, en er water wordt ingelaten vanuit Oosterhout. Tijdens een dergelijke situatie loopt de gemiddelde stroomsnelheid in het benedenstroomse deel van de Dintel terug naar 0 terwijl in de Steenbergsevlief stroomsnelheid tot 30 cm/s kan oplopen. Hierdoor zou de mate van baggeraanwas in de Steenbergsevlief mogelijk lager uit kunnen vallen dan in het benedenstroomse deel van de Dintel.



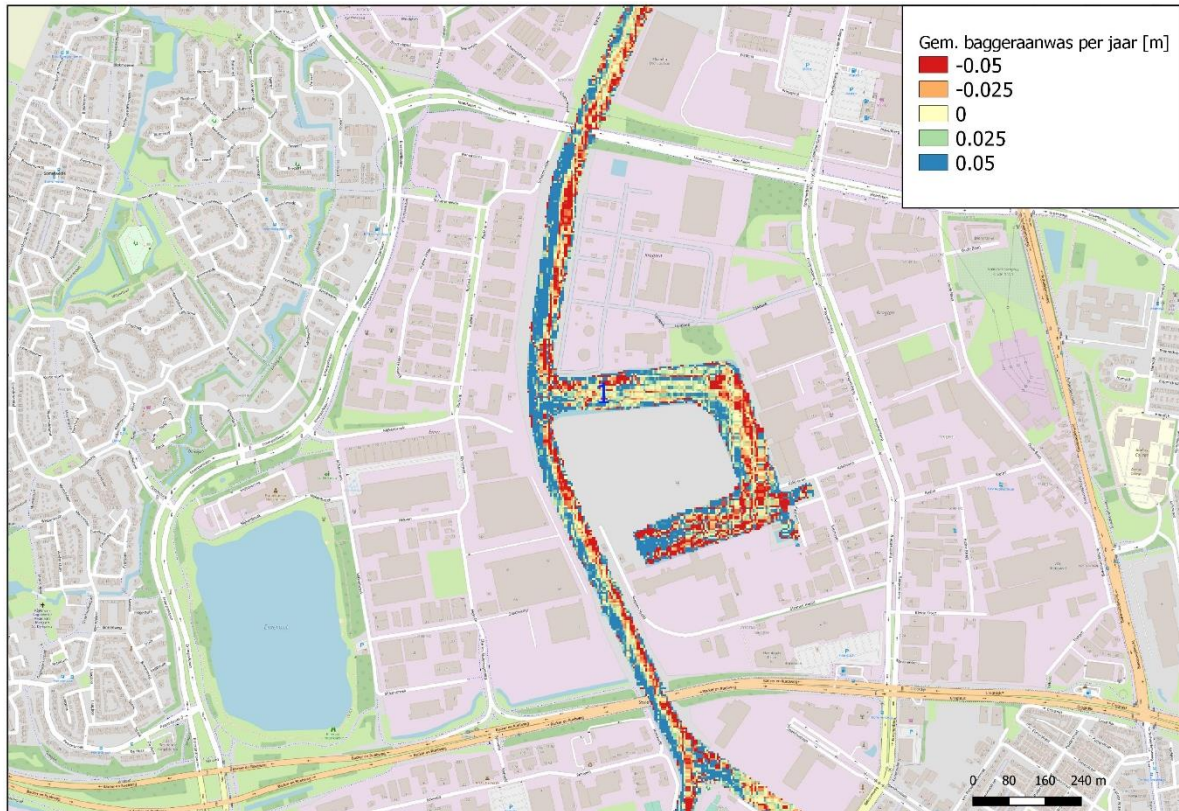
### Ruimtelijke variaties

In de derde kolom van tabel 9 is de ruimtelijke standaarddeviatie gegeven, welke een maat geeft voor de ruimtelijke variatie in baggeraanwas. Met name in bovenstroomse deelgebieden worden erg grote ruimtelijke variaties gevonden in de mate van baggeraanwas. Naast erosieprocessen door hogere stroomsnelheden in de bovenstroomse deelgebieden, speelt schepvaart hier waarschijnlijk een rol in. Met name in deze deelgebieden zijn er duidelijke vaargeulen te onderscheiden, zie figuur 32.



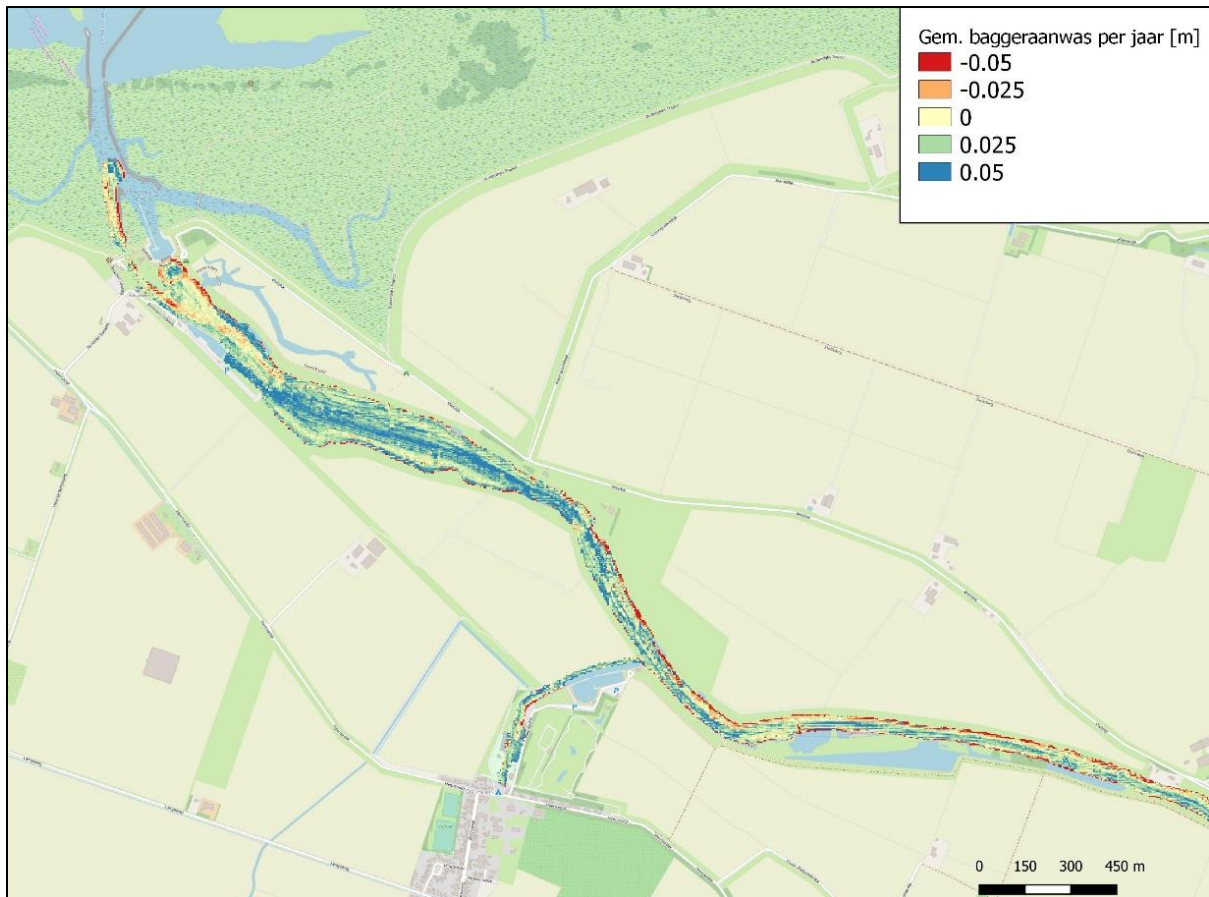
Figuur 32: sterke ruimtelijke variatie van baggeraanwas als gevolg van schepvaart

Wat tevens op te merken is, is dat over het algemeen aan rechter zijde (stroomafwaarts gezien) van de watergang meer erosie op treed dan aan de linker zijde. Dit is ook met name duidelijk te zien in bovenstroomse gebieden, zie figuur 33. Dit zou iets kunnen zeggen over de belasting van schepvaart, mogelijk als gevolg van een verschil in intensiteit of belading van schepen die stroom op- en afwaarts varen.



Figuur 33: Erosie overwegend aan de rechter zijde van de watergang (stroomafwaarts gezien)

In benedenstroomse deelgebieden is de ruimtelijke variatie beduidend kleiner, maar nog steeds relatief groot vergeleken met de gemiddelde baggeraanwas. In de benedenstroomse deelgebieden hebben erosie/sedimentatie processen een grotere bijdrage in de ruimtelijke variatie ten opzichte van scheepvaart, in vergelijking tot bovenstroomse deelgebieden. Met name nabij de sluisen, waar de watergang breder wordt is duidelijk te zien dat stroomsnelheden afnemen, waardoor sedimentatie op treedt. In figuur 34 is de situatie nabij Benedensas weergegeven. Op deze kaart is duidelijk te zien dat de mate van baggeraanwas toeneemt nabij de verbreding van de watergang voor de jachthaven bij Benedensas. Dichter bij de sluis neemt de mate van baggeraanwas weer af, mogelijk als gevolg van hogere stroomsnelheden ter plaatse van de sluis.



Figuur 34: ruimtelijke variatie in baggeraanwas in benedenstroomse deelgebied nabij Benedensas

#### Variatie tussen verschillende metingen over tijd

In de vierde kolom van tabel 10 is de standaarddeviatie gegeven over de verschillende multibeam metingen in de verschillende deelgebieden. Dit geeft een mate van variatie in baggeraanwas per deelgebied over de verschillende jaren dat er gemeten is. Omdat in deelgebied 6 slechts 2 meetreeksen beschikbaar zijn is er maar een enkele gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bepaald, waardoor er geen standaardafwijking is bepaald voor dit deelgebied.

Het is op te merken dat ter plaatse van de watergang Mark en Dintel, de variaties over de tijd het grootst zijn. Een mogelijke verklaring voor de relatief grote veranderingen in baggeraanwas over de verschillende jaren is de gevoeligheid op hoge afvoerpieken in het systeem. Deze hypothese wordt ondersteund door het feit dat verschillen tussen basisafvoer en piekafvoer in de Mark en Dintel beduidend hoger zijn dan in de Steenbergsevliet en het Mark-Vlietkanaal<sup>2</sup>.

Echter, om iets te zeggen over de mate van onzekerheid op de gevonden gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas speelt ook het aantal metingen over de jaren een rol. In bepaalde deelgebieden zijn meer metingen verricht over de jaren dan in andere deelgebieden. Om een mate van onzekerheid aan te geven op de gevonden gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas spelen de volgende parameters een rol:

- De gevonden standaardafwijking over de verschillende metingen
- Het aantal vergelijkingen tussen de metingen over de jaren
- Gekozen betrouwbaarheidsniveau: 95% (meest gebruikelijke statistische waarde)

<sup>2</sup> Bron: Watersysteemanalyse Mark Dintel Vliet, Arcadis (2019)



Een betrouwbaarheidsinterval op de gevonden gemiddelde baggeraanwas is berekend aan de hand van de volgende formule:

$$BI_{95} = t \frac{\sigma_{tijd}}{\sqrt{m}}$$

Met:

$BI_{95}$  = 95% betrouwbaarheidsinterval

$t$  =  $t$  waarde uit de  $t$  – student verdeling

$m$  = Aantal kaartlagen (over tijd) met mate van baggeraanwas in deelgebied

Dit geeft de volgende betrouwbaarheden op de gemiddelde baggeraanwas per deelgebied weergegeven in tabel 11. De waarden in de tabel geven een bandbreedte rondom het gemiddelde (tabel 10) waarin de mate van jaarlijkse baggeraanwas per deelgebied zich met 95% zekerheid bevind.

Tabel 11: betrouwbaarheidsintervallen gemiddelde baggeraanwas

Deelgebied	$BI_{95} [\pm cm]$
1	1,55
2	2,30
3	1,60
4	5,29
5	1,61
6	-

Uit tabel 10 is af te leiden dat de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas in deelgebied 1, 3 en 5 met een overeenkomende mate van betrouwbaarheid bepaald kan worden. Voor deelgebied 2 en 4 is de gegeven bandbreedte groter als gevolg van minder metingen en grote veranderingen in baggeraanwas tussen verschillende jaren. In deelgebied 6 is geen betrouwbaarheid af te leiden omdat er maar een enkele waarde voor gemiddelde baggeraanwas is bepaald. Afwijkingen over de tijd zijn hierdoor niet beoordeeld in deelgebied 6.

#### Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel is voor de zes deelgebieden los van elkaar bepaald, omdat niet elk deelgebied even veel metingen heeft. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

5. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data
6. Uitschieters
7. Aantal datareeksen over vergelijkbare periode
8. Ruimtelijke verdeling van meetpunten
9. Kwaliteit meetmethode

Op basis van deze criteria wordt conform IKM een oordeel gegeven aan de datakwaliteit in de vorm van een aantal sterren.

#### Deelgebied 1

In deelgebied 1 zijn in 6 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 en 2013. In 2007 is in de metingen een kleine uitschieter waar te nemen. Er is geen verklaring gevonden voor deze uitschieter, maar deze omvat slechts een aantal datapunten waardoor de invloed op de analyse te

verwaarlozen is. Er is daarom gekozen om deze uitschieter te negeren. De datareeksen hebben niet allemaal dezelfde stukken bemeten, maar hebben wel veel overlap. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1% (Bodemrichtlijn, 2019). Het gevonden 95% betrouwbaarheidsinterval op de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bedraagt 1,55 cm. Daarmee wordt aan de data in deelgebied 1 een kwaliteitsoordeel van 4 sterren gegeven.

#### Deelgebied 2

In deelgebied 2 zijn in 3 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2008, 2013 en 2014. Deze datareeksen bevatten geen uitschieters. De datareeksen hebben niet allemaal dezelfde stukken bemeten, maar hebben wel veel overlap. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1% (Bodemrichtlijn, 2019). Het gevonden 95% betrouwbaarheidsinterval op de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bedraagt 2,30 cm. Door de hoge bandbreedte van het betrouwbaarheidsinterval in combinatie met de hoeveelheid metingen wordt aan de data in deelgebied 2 een kwaliteitsoordeel van 3 sterren gegeven.

#### Deelgebied 3

In deelgebied 3 zijn in 5 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2008, 2009, 2010, 2011 en 2013. Deze datareeksen bevatten geen uitschieters. De datareeksen hebben niet allemaal dezelfde stukken bemeten, maar hebben wel veel overlap. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1% (Bodemrichtlijn, 2019). Het gevonden 95% betrouwbaarheidsinterval op de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bedraagt 1,60 cm. Daarmee wordt aan de data in deelgebied 3 een kwaliteitsoordeel van 4 sterren gegeven.

#### Deelgebied 4

In deelgebied 4 zijn in 3 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2009, 2013 en 2014. De datareeksen hebben niet allemaal dezelfde stukken bemeten, maar hebben wel veel overlap. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1% (Bodemrichtlijn, 2019). Het gevonden 95% betrouwbaarheidsinterval op de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bedraagt 5,29 cm. Mede gezien de beperkte hoeveelheid metingen wordt aan de data in deelgebied 4 een kwaliteitsoordeel van 3 sterren gegeven.

#### Deelgebied 5

In deelgebied 5 zijn in 3 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2010, 2011 en 2014. De datareeksen hebben niet allemaal dezelfde stukken bemeten, maar hebben wel veel overlap. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1% (Bodemrichtlijn, 2019). Het gevonden 95% betrouwbaarheidsinterval op de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas bedraagt 1,61 cm. Gezien de redelijk beperkte hoeveelheid metingen wordt aan de data in deelgebied 5 een kwaliteitsoordeel van 4 sterren gegeven.

#### Deelgebied 6

In deelgebied 6 zijn in 2 jaren metingen uitgevoerd, namelijk 2010 en 2014. De beide datareeksen hebben het hele deelgebied bemeten. De ruimtelijke verdeling van de punten is zeer goed en gelijk over het hele gebied. De meetmethode is betrouwbaar met een nauwkeurigheid van circa 0,1%

(Bodemrichtlijn, 2019). Gezien de zeer beperkte hoeveelheid metingen wordt aan de data in deelgebied 6 een kwaliteitsoordeel van 2 sterren gegeven.

#### Stap 5: Expert judgement

Voor deze case is geen expert judgement toegepast. Daarmee komt deze stap te vervallen.

#### Stap 6: kwantificeer onzekerheid

Op basis van de multibeam metingen kunnen de ruimtelijke verschillen in baggeraanwas duidelijk in beeld worden gebracht. Daarnaast kan de gemiddelde mate van baggeraanwas over de afgelopen meetjaren nauwkeurig worden bepaald. Statistisch gezien is de data over het algemeen dus van goede kwaliteit. Men kan relatief nauwkeurig bepalen hoe het verloop in baggeraanwas zich heeft ontwikkeld over de afgelopen jaren. Echter, wanneer men een verwachte mate van baggeraanwas wil voorspellen, speelt kansrekening een rol. Door relatief grote veranderingen in baggeraanwas over de tijd, blijkt het voorspellen van de verwachte baggeraanwas over verschillende jaren gepaard te gaan met grote onzekerheden. 95% betrouwbaarheidsintervallen zijn dan ook ten minste in de orde grootte van een factor 2 groter dan de gemiddelde aanwas per jaar.

#### Conclusie en discussie

Uit de analyse zijn in de deelgebieden verschillende maten van gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas gevonden met verschillende maten van variatie in ruimte en tijd. Mogelijke verklaringen gegeven voor de gevonden resultaten zijn aannemelijk en blijken ook voor het waterschap herkenbaar.

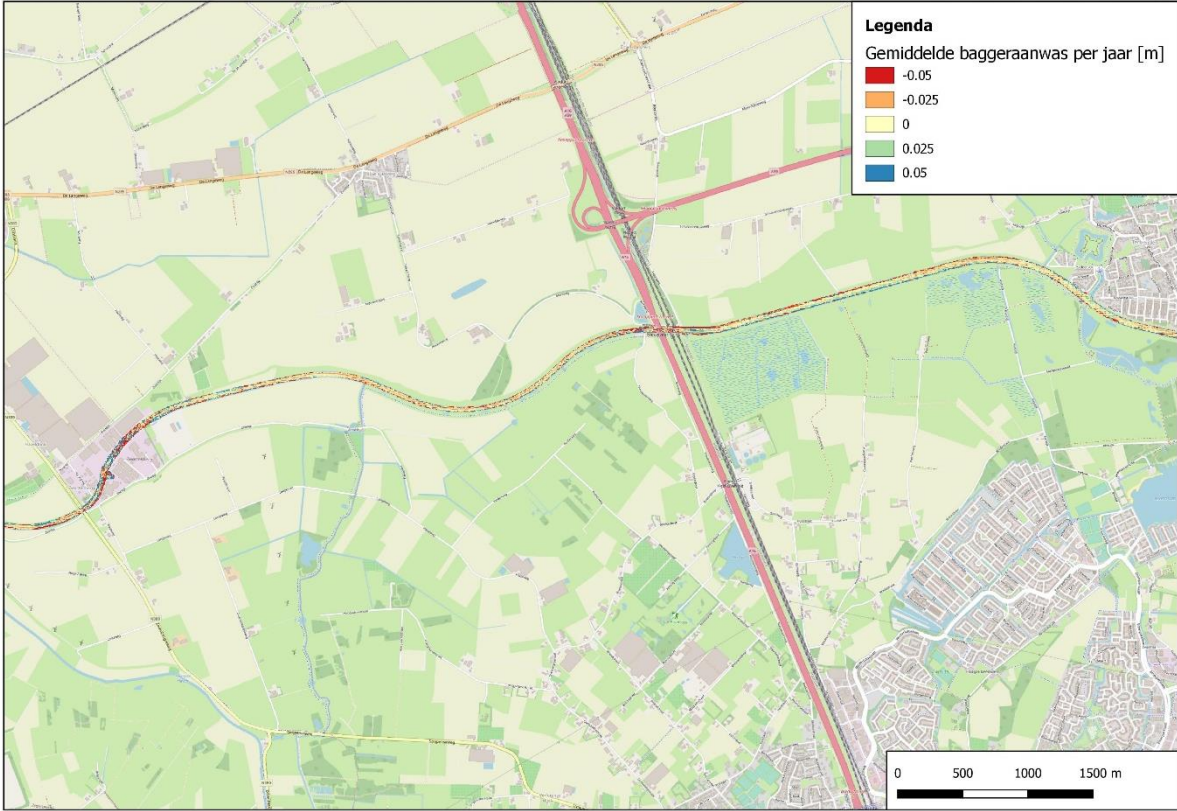
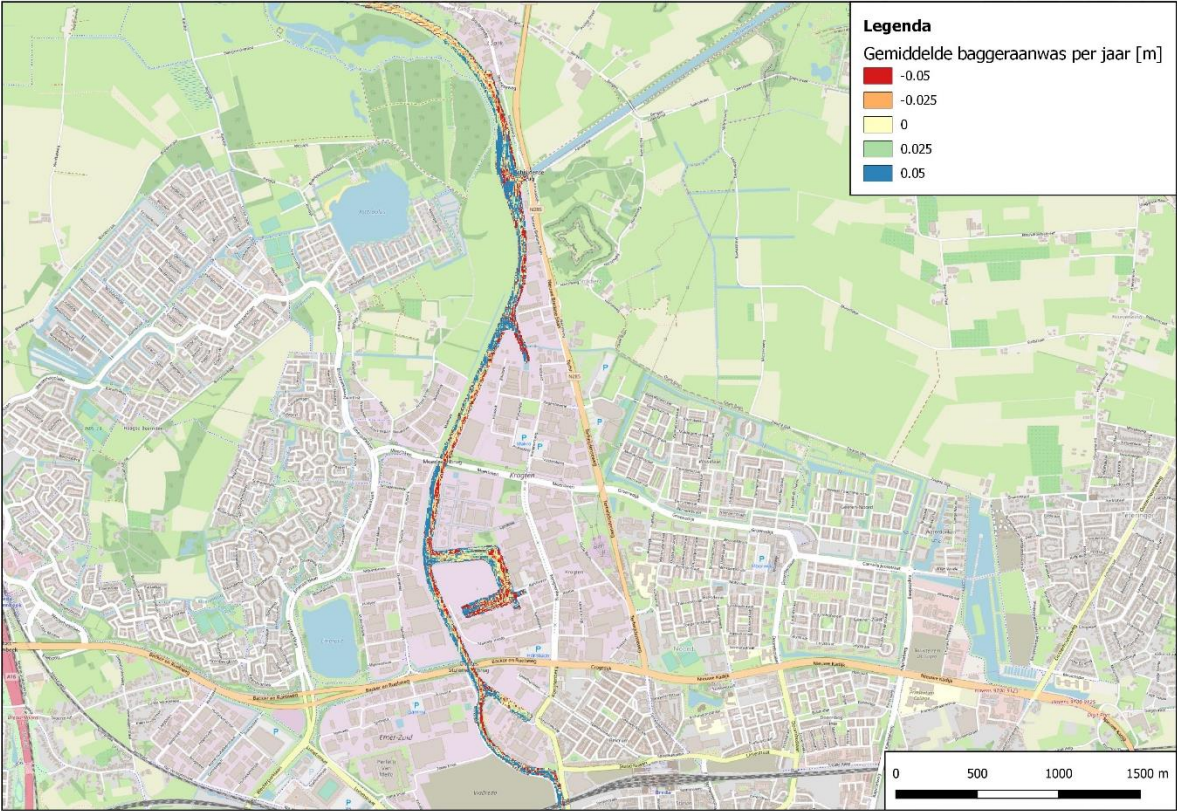
Wat betreft de betrouwbaarheid van de data, is in de toepassing van het IKM gebleken dat de kwaliteit van de data niet over de gehele Mark-Dintel-Vliet boezem gelijk is. Er zijn een aantal locaties waar de datakwaliteit goed is, maar ook een aantal locaties waar verbetering van de datakwaliteit mogelijk is. Over het algemeen geldt dat met een betere datakwaliteit de baggeraanwas nauwkeuriger en betrouwbaarder bepaald kan worden. In tabel 12 zijn de resultaten uit de analyse samengevat.

Tabel 12 – Samenvatting resultaten

Deelgebied	Gemiddelde [cm/jaar]	95% betrouwbaarheidsinterval [cm]	Kwaliteitsoordeel data
1	1,91	1,55	☆☆☆☆
2	0,18	2,30	☆☆☆
3	2,60	1,6	☆☆☆☆
4	1,57	5,29	☆☆☆
5	1,07	1,61	☆☆☆☆
6	1,63	-	☆☆

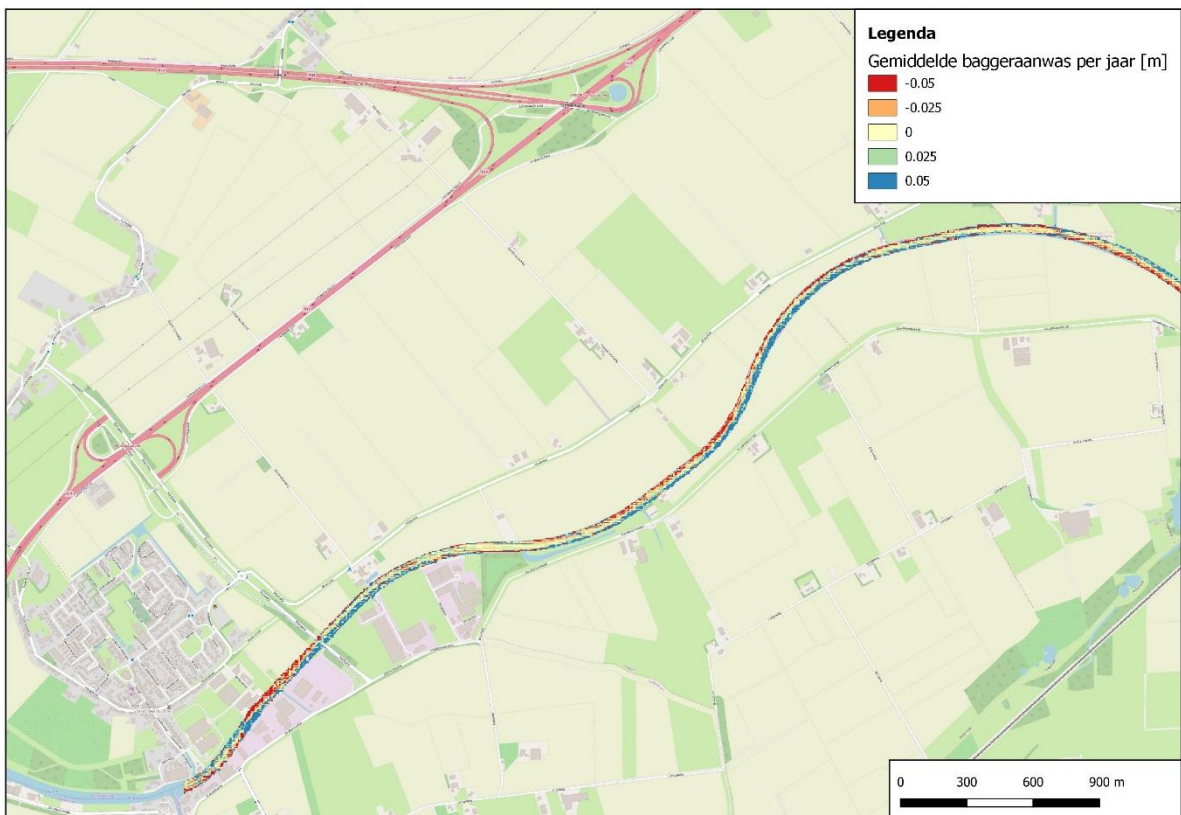
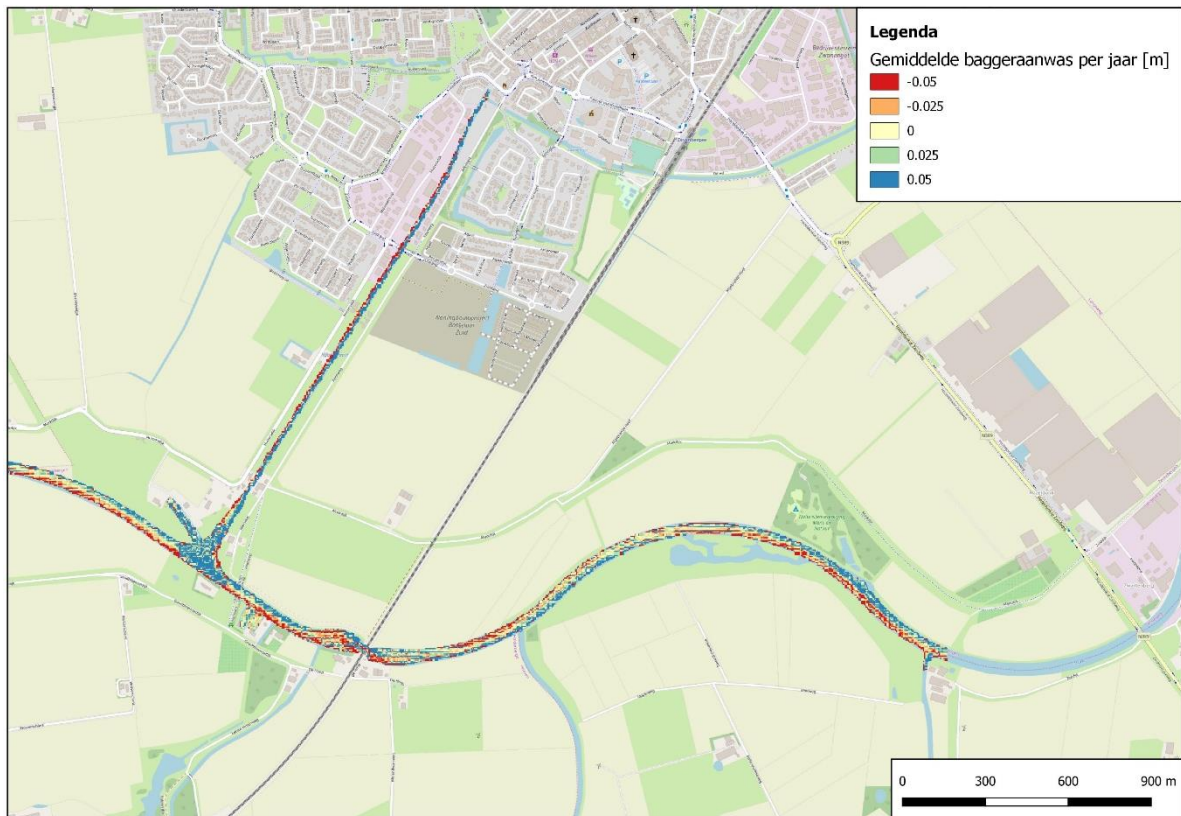
Om tot betrouwbaardere resultaten te komen kan op een aantal deelgebieden meer gemeten worden om de baggeraanwas nauwkeuriger te bepalen. Met name deelgebied 6 (Markvlietkanaal/Nieuwe Roosendaalsche Vliet), verdient daarbij extra aandacht, omdat daar nu slechts twee metingen beschikbaar zijn en dus maar een maal een mate van baggeraanwas bepaald kan worden. Veranderingen in de tijd kunnen hierdoor niet worden beoordeeld. De deelgebieden 2, 4 en 5 hebben ieder 3 metingen, maar deze beslaan niet het gehele deelgebied. Daarom verdienen ook deze deelgebieden aandacht, waarin met name voor deelgebied 2 en 4 het baggeraanwas verloop over verschillende jaren relatief onzeker is door grote afwijkingen over de tijd. Wanneer hier meer metingen beschikbaar zijn kan ook hier de jaarlijkse baggeraanwas nauwkeuriger en betrouwbaarder bepaald worden.

Bijlage I  
Deelgebied 1



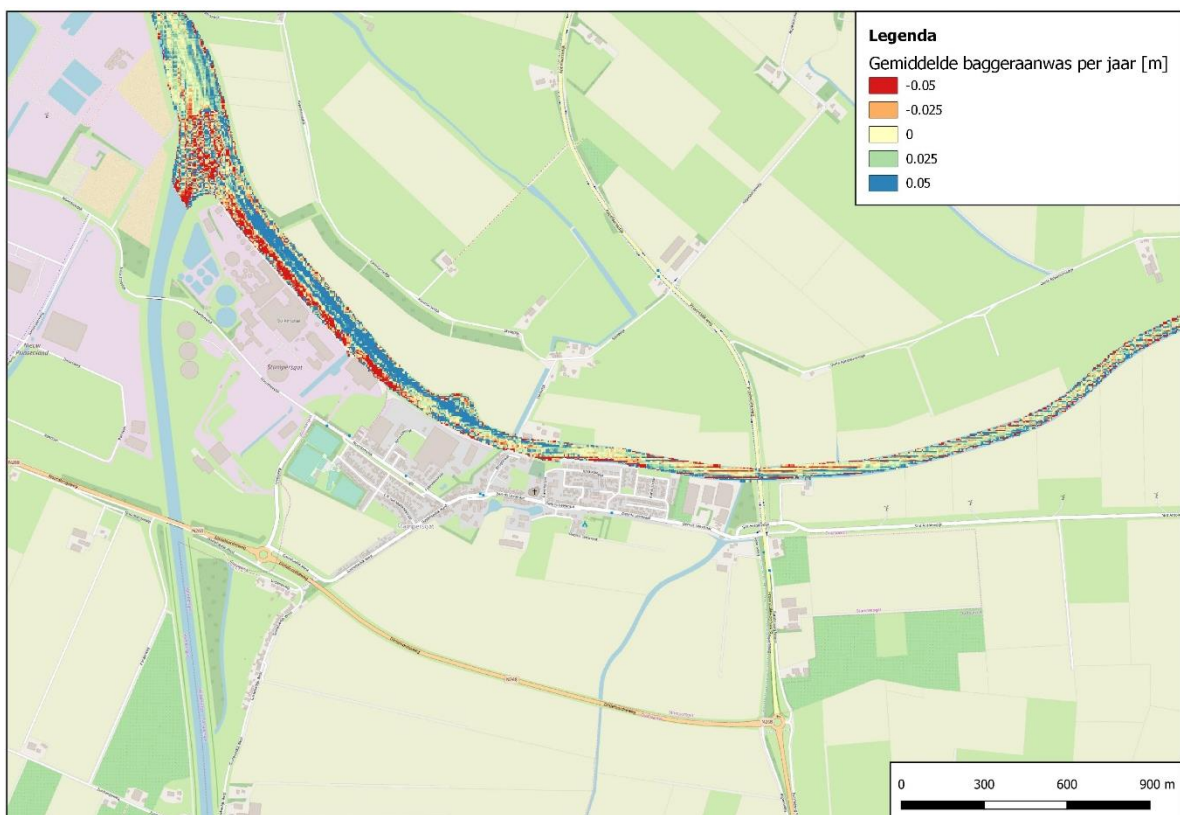
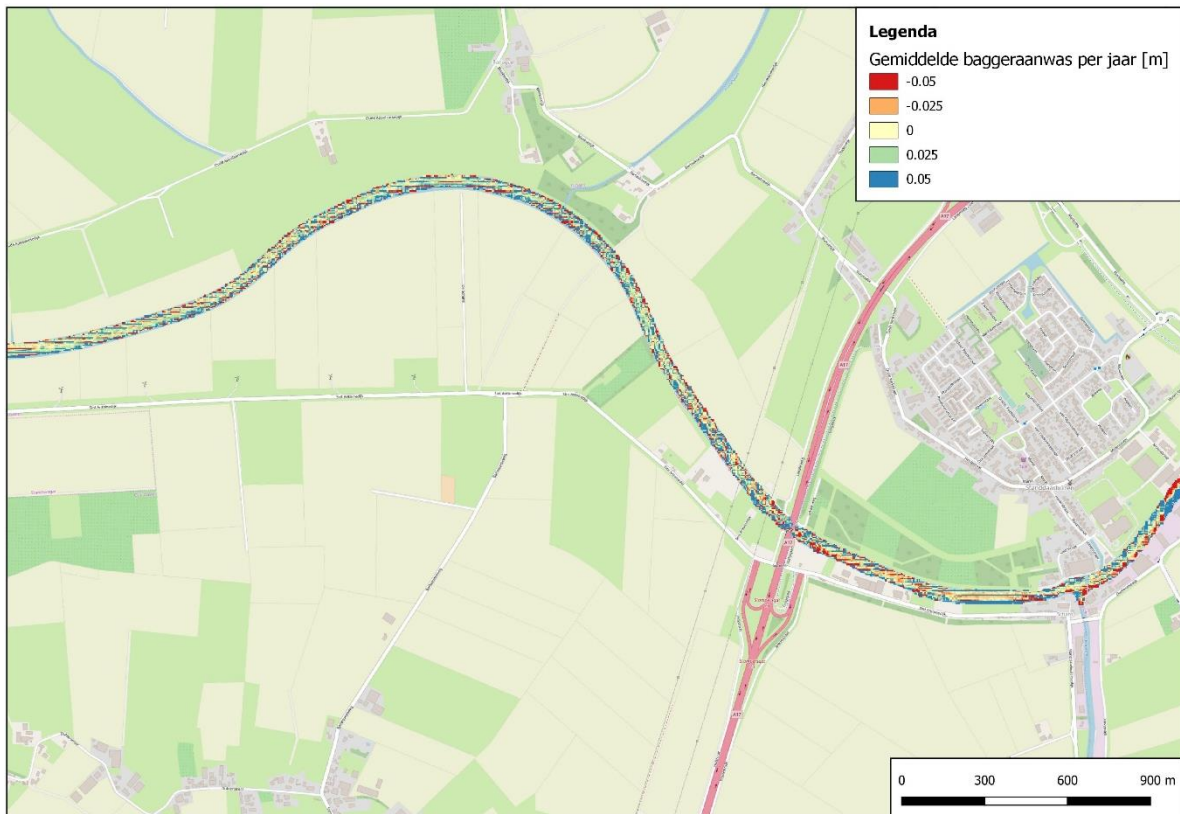


## Deelgebied 2

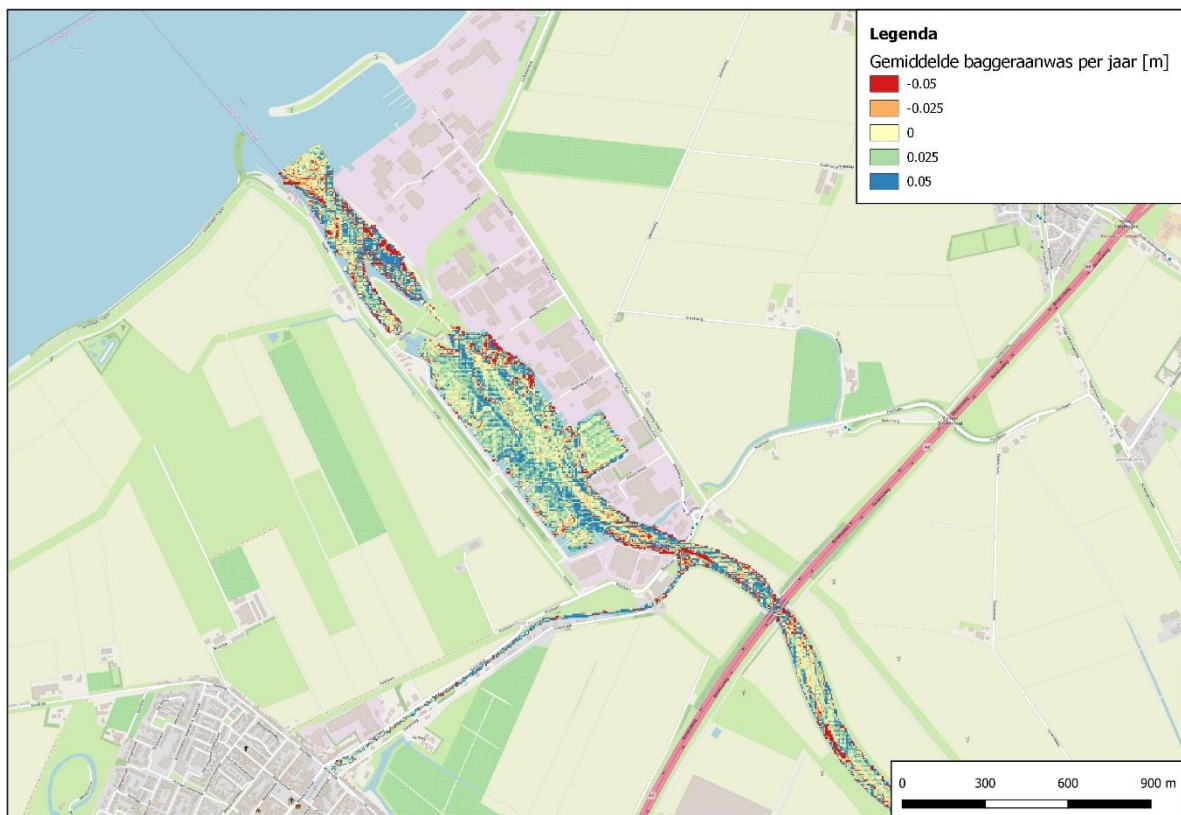
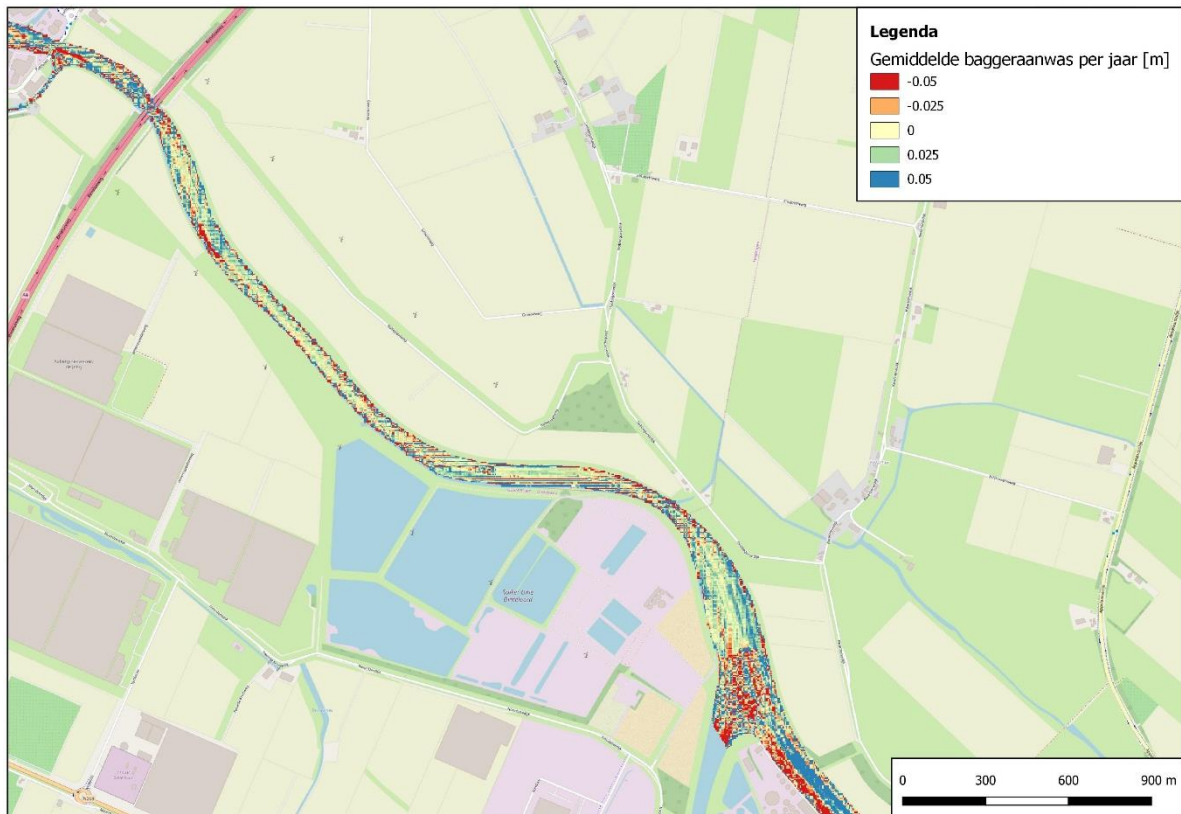




### Deelgebied 3

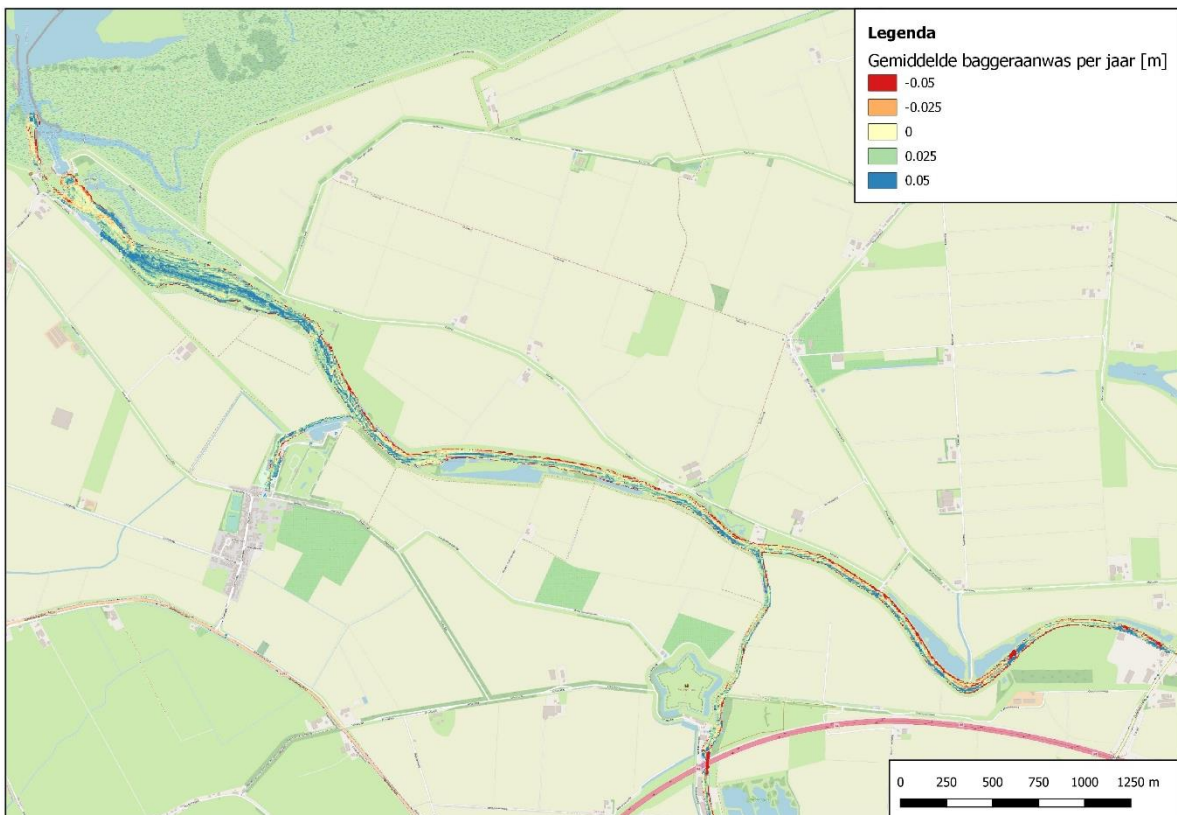
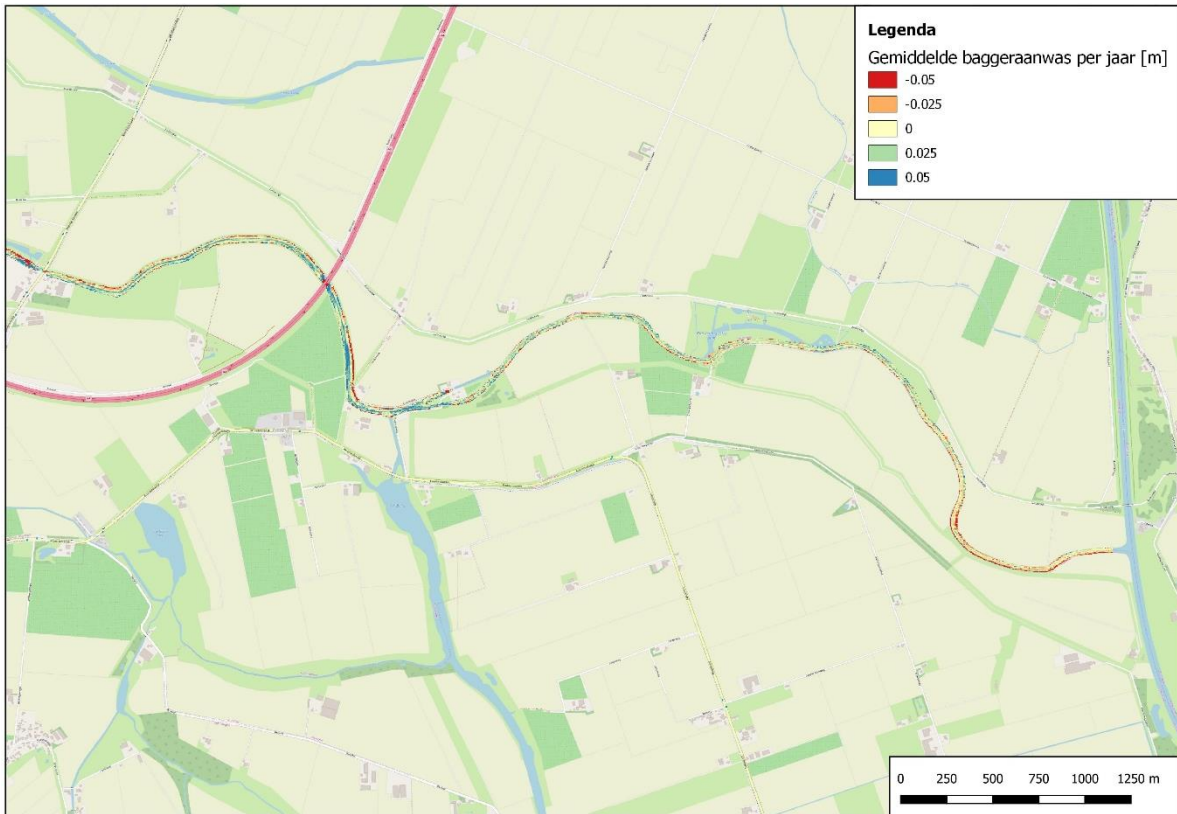


## Deelgebied 4

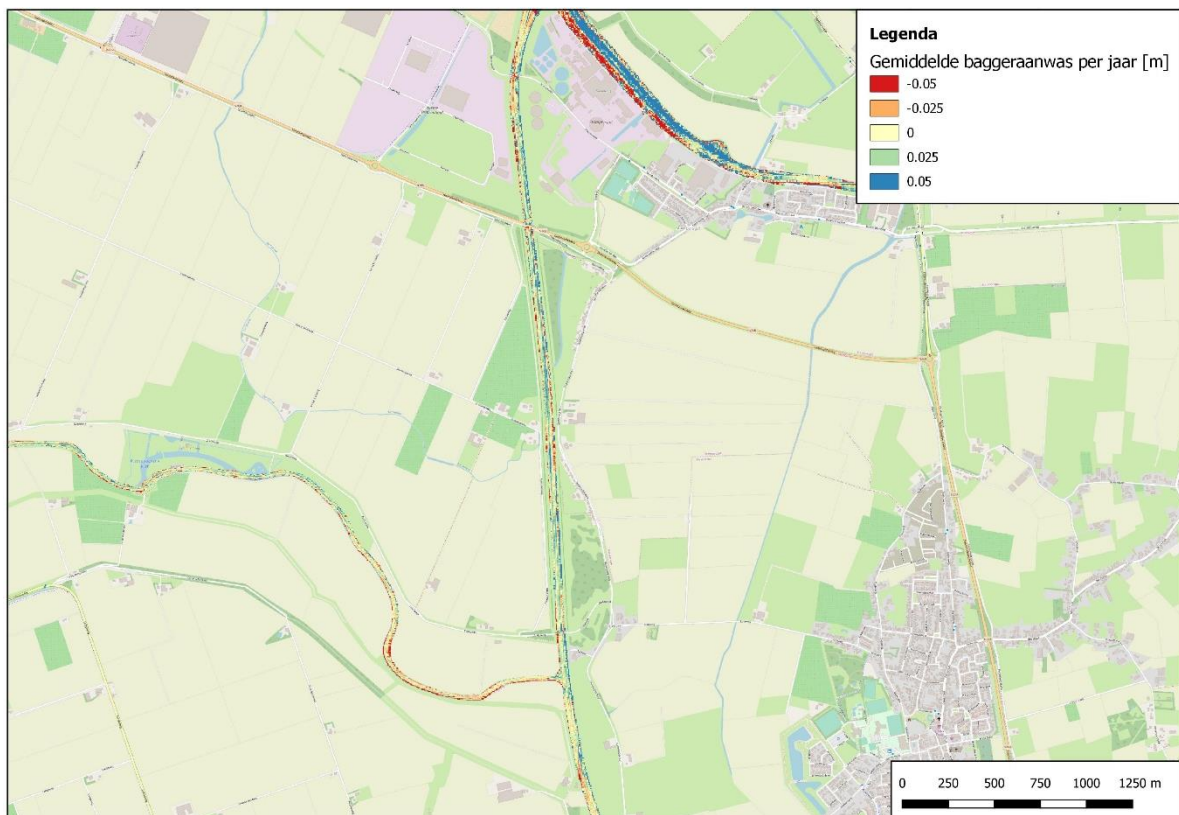
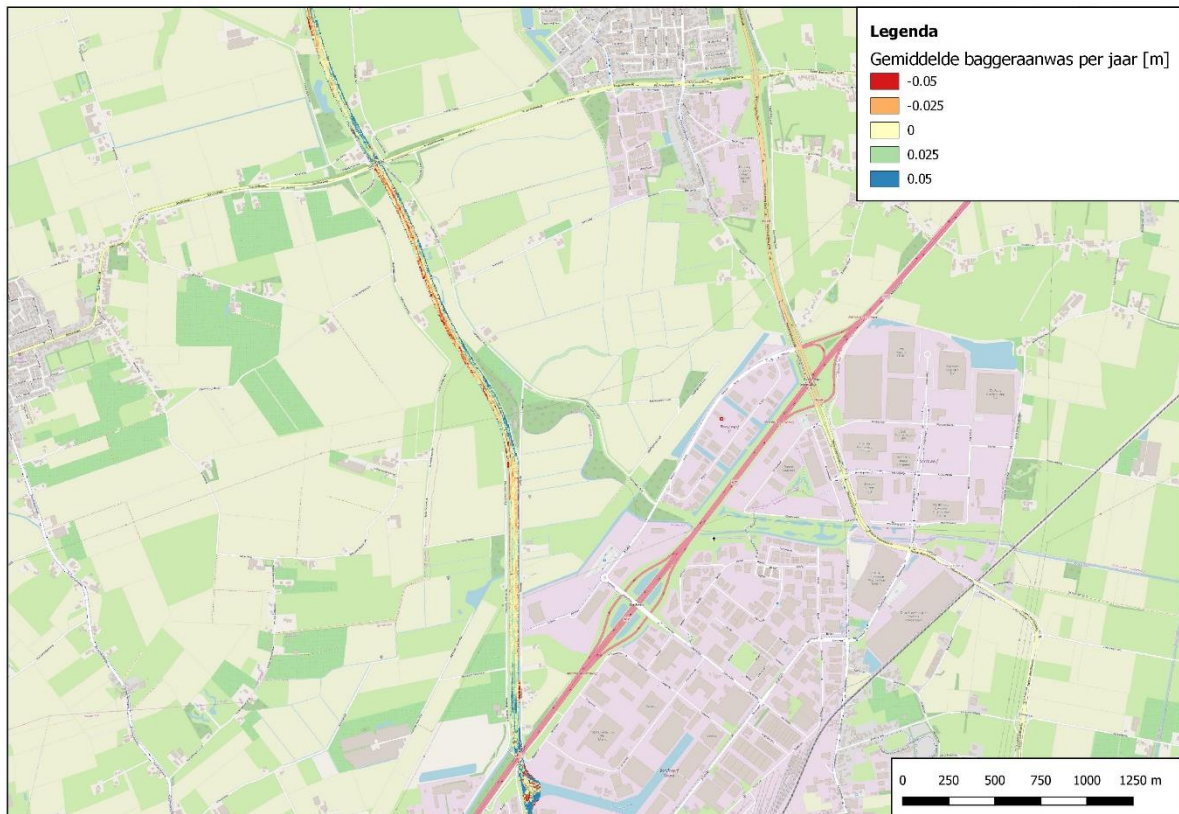




## Deelgebied 5



## Deelgebied 6



## Bijlage VI: Flexibele maatregelen Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

### Inleiding

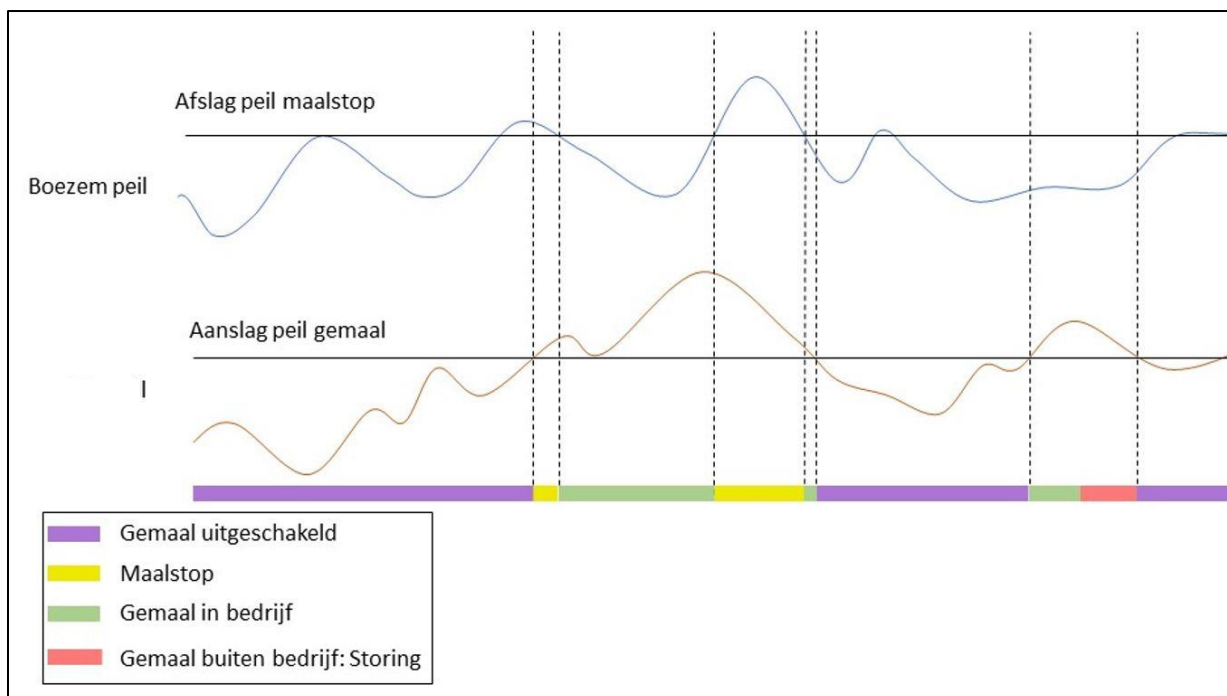
Poldergemalen vervullen een belangrijke functie om de impact van wateroverlast in het beheergebied van HDSR tijdens (hevige) neerslag binnen de berken te houden. Als onderdeel van het beantwoorden van de gestelde onderzoeksvragen is inzicht in de relatie tussen de onderhoudsstrategie en betrouwbaarheid van poldergemalen van belang. Op basis van data-analyse zijn betrouwbaarheden van poldergemalen in het Oude Rijn gebied afgeleid en is het IKM toegepast om de kwaliteit van de data te beoordelen.

### Toepassing IKM

#### Stap 1: Bepaal de relevante variabele

Ten behoeve van het bepalen van het effect van beheersmaatregelen, waaronder het effect van de inzet van flexibele maatregelen of het vergroten van gemaalcapaciteiten, is de parameter betrouwbaarheid van de gemalen geselecteerd om te analyseren met behulp van het IKM.

Onder betrouwbaarheid wordt verstaan: “Het in werking zijn van het gemaal, wanneer dit met betrekking tot peilbeheer noodzakelijk is”. Hiervoor is het van belang om te bepalen wanneer de gemalen in werking hadden moeten zijn, en wanneer dit wel of niet het geval is. Dit is te bepalen aan de hand van waterpeilen boven en benedenstrooms van het gemaal, streefpeilen en draaitijden van de gemalen. In figuur 30 is weergegeven op welke manier de verschillende variabelen relevant zijn.



Figuur 35: voorbeeld t.b.v. uitgangspunten voor draaitijden gemalen

In figuur 35 is te zien dat gesteld wordt dat het gemaal in werking dient te zijn wanneer het polderpeil zich boven het aanslagpeil van het gemaal bevindt, mits het peil in de boezem niet op een dergelijke hoogte bevindt zodat er een maalstop aannemelijk is. Voor de analyse zijn de gestelde criteria tevens weergegeven in een stroomschema (figuur 2, stap 3A).

Samengevat zijn dus volgende variabelen over een gegeven tijdreeks van belang voor de bepaling van de betrouwbaarheid in deze analyse:



- Polderpeil: waterpeil benedenstrooms van het gemaal over de tijd
- Boezempeil: waterpeil bovenstrooms van het gemaal over de tijd
- Streefpeil benedenstrooms van het gemaal (kan fluctueren over de tijd)
- Aanslagpeil van het gemaal
- Afslag peil bij maalstop
- Draaiduur van gemalen over de tijd

## Stap 2: Beschikbaarheid gegevens

Het Hoogheemraadschap heeft data van de draaiduur en omstandigheden (peilen) van 22 verschillende gemalen over de tijd beschikbaar gesteld, welke ongeveer 86,2 miljoen datapunten omvatten. Deze data betreft draaitijden in seconden, gemeten over elk kwartier, 10 jaar lang. Daarnaast zijn gelijktijdig metingen beschikbaar boven en benedenstrooms (op verschillende plekken) van het gemaal in combinatie met streefpeilen.

De beschikbare data is door het waterschap geverifieerd. Hierbij is aan elk datapunt een kwaliteitsvlag gekoppeld die de betrouwbaarheid van de verschillende datapunten aangeeft. Deze kwaliteitsvlaggen zijn onderverdeeld in: betrouwbaar, onbetrouwbaar en onwaarschijnlijk.

Na een *quick scan* van de data blijkt dat voor 2 gemalen data over draaitijden of waterhoogten mist, er is daarom gekozen om de analyse voor de 20 gemalen met complete datasets voort te zetten.

Ter bepaling van de betrouwbaarheid van de gemalen kan aan de hand van de beschikbare data afgeleid worden wanneer de gemalen in bedrijf zouden moeten zijn, en of dit ook daadwerkelijk het geval is. Om te bepalen bij welke waterstanden de gemalen zouden moeten draaien is gebruik gemaakt van expert schattingen. Hierbij zijn afstanden tot streefpolderpeil, waarbij het gemaal in werking zou moeten treden van belang, en omstandigheden waarin een maalstop zich kan voor doen door een te hoog boezempeil.

Door de combinatie van expert schattingen en grote hoeveelheden data van de gemalen wordt aan de eerste datavraag ten behoeve van de bepaling van betrouwbaarheid worden voldaan. In tabel 13 zijn de beschikbare gegevens voor de verschillende variabelen weergegeven.

Tabel 13: beschikbare gegevens per relevante variabele

Relevante variabele	Beschikbare informatie	Type
Polderpeil	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen per meetpunt in geval van meerdere meetpunten.	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Boezempeil	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen per meetpunt in geval van meerdere meetpunten.	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Streefpeil benedenstrooms	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag
Aanslagpeil van het gemaal	10cm + streefpeil	Expert schatting
Afslagpeil bij maalstop	-0,20m NAP	Expert schatting
Draaiduur van gemalen	10 jaar lang, elk kwartier een datapunt voor 20 gemalen, per pomp in geval van meerdere pompen	Sensormetingen met data kwaliteitsvlag

### Stap 3: Visualiseer, kwantificeer en interpreteer data

Het visualiseren en kwantificeren van de data is conform het IKM opgesplitst in 3 stappen, namelijk:

Stap 3A: het visualiseren van de ruwe data en het filteren van uitschieters

Stap 3B: het visualiseren van de resterende dataset

Stap 3C: het interpreteren van de data.

#### **Stap 3A: Plot ruwe data en filter op uitschieters**

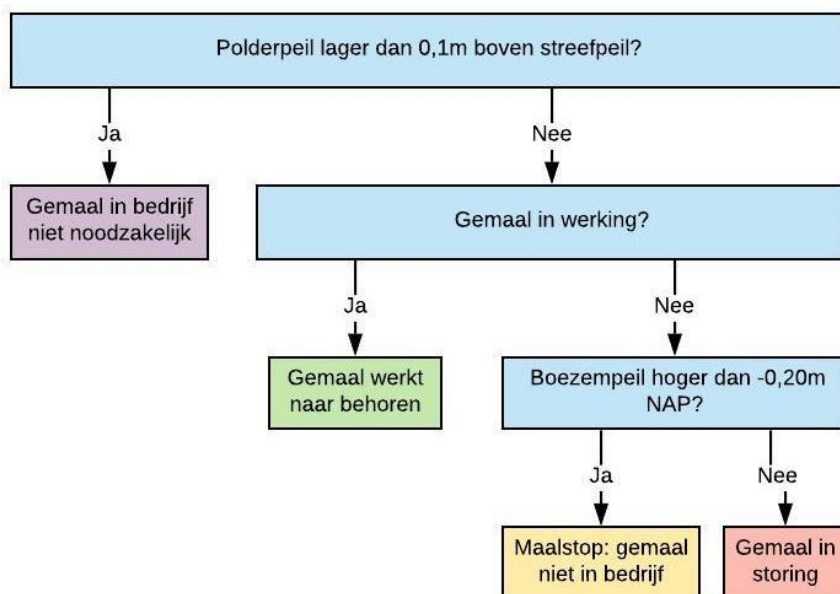
Door de grote hoeveelheid data is de ruwe data zelf niet duidelijk te visualiseren. Voor visualisatie dient de data te worden gefilterd. Het filteren van de dataset kan bij de beschikbare dataset worden uitgevoerd op basis van de kwaliteitsvlaggen per meetpunt. In de analyse is enkel gebruik gemaakt van de tijdstappen waar zowel voor de waterpeilen beneden- en bovenstrooms als de draaiduur van het gemaal de kwaliteitsvlag “betrouwbaar” hebben (zie stap 2). Wanneer in een tijdstap één van de drie parameter niet betrouwbaar kan worden afgeleid, is deze uitgesloten in de analyse. Voor de 20 gemalen is in tabel 14 het aantal tijdstappen gegeven waarbij voor alle benodigde parameters waarden met de kwaliteitsvlag “betrouwbaar” zijn gevonden.

Gemaal	Tijdstappen met voldoende betrouwbare data
Barwoutswaarder	162405
Grechtkade	92252
Groot Hekendorp	128254
Haanwijk	128349
Kamerik	185754
Lange Wiede	170905
Meijerpolder	171038
Middelland	175079
Molenvliet	142406
Noord Linschoten	235335
Noordzijderpolder	171446
Oud Kamerik	29194
Oudeland en Indijk	129365
Overvliet	90535
Rapijnen	188449
Rietveld	129110
Snel en Polanen	128070
Snelrewaard	171203
Westeinde van Waarder	181259
Zegveld	142044

Tabel 14: Aantal tijdstappen met betrouwbare data

Op basis van de tijdstappen met betrouwbare data is bepaald of een gemaal wel of niet aan heeft moeten staan en of deze daadwerkelijk aan heeft gestaan om overtollig water weg te pompen. Om dit schematisch weer te geven is in figuur 36 een stroomschema te zien met de criteria voor verschillende uitkomsten.





Figuur 36: stroomschema bepaling storingsen

Na de analyse van de betrouwbare data (volgens kwaliteitsvlaggen) zijn de gevonden waarden voor de verschillende gemalen weergegeven in tabel 15. Hierbij geven de waarden het aantal datapunten weer (elk datapunt is een waarde per kwartier) welke voldoen aan de criteria zoals aangegeven in het stroomschema.

Gemaal	Polderpeil > dan 10cm+ streefpeil	Gemaal tevens in werking	Buiten werking maar boezempeil > -0,2m NAP (maalstop)	Gemaal toch uit (storing)
Barwoutswaarder	225	225	0	0
Grechtkade	0	0	0	0
Groot Hekendorp	5	4	0	1
Haanwijk	143	87	0	56
Kamerik	608	486	0	122
Lange Wiede	402	401	0	1
Meijerpolder	109	131	0	58
Middelland	3	2	0	1
Molenvliet	239	229	0	10
Noord Lindschoten	996	464	175	357
Noordzijderpolder	244	244	0	0
Oud Kamerik	162	46	0	116
Oudeland en Indijk	946	58	0	888
Overvliet	110	73	0	37
Rapijnen	481	370	109	2
Rietveld	79	62	0	17
Snel en Polanen	440	428	0	12
Snelrewaard	80	29	51	0
Westeinde van Waarder	128	111	0	17
Zegveld	204	176	0	28

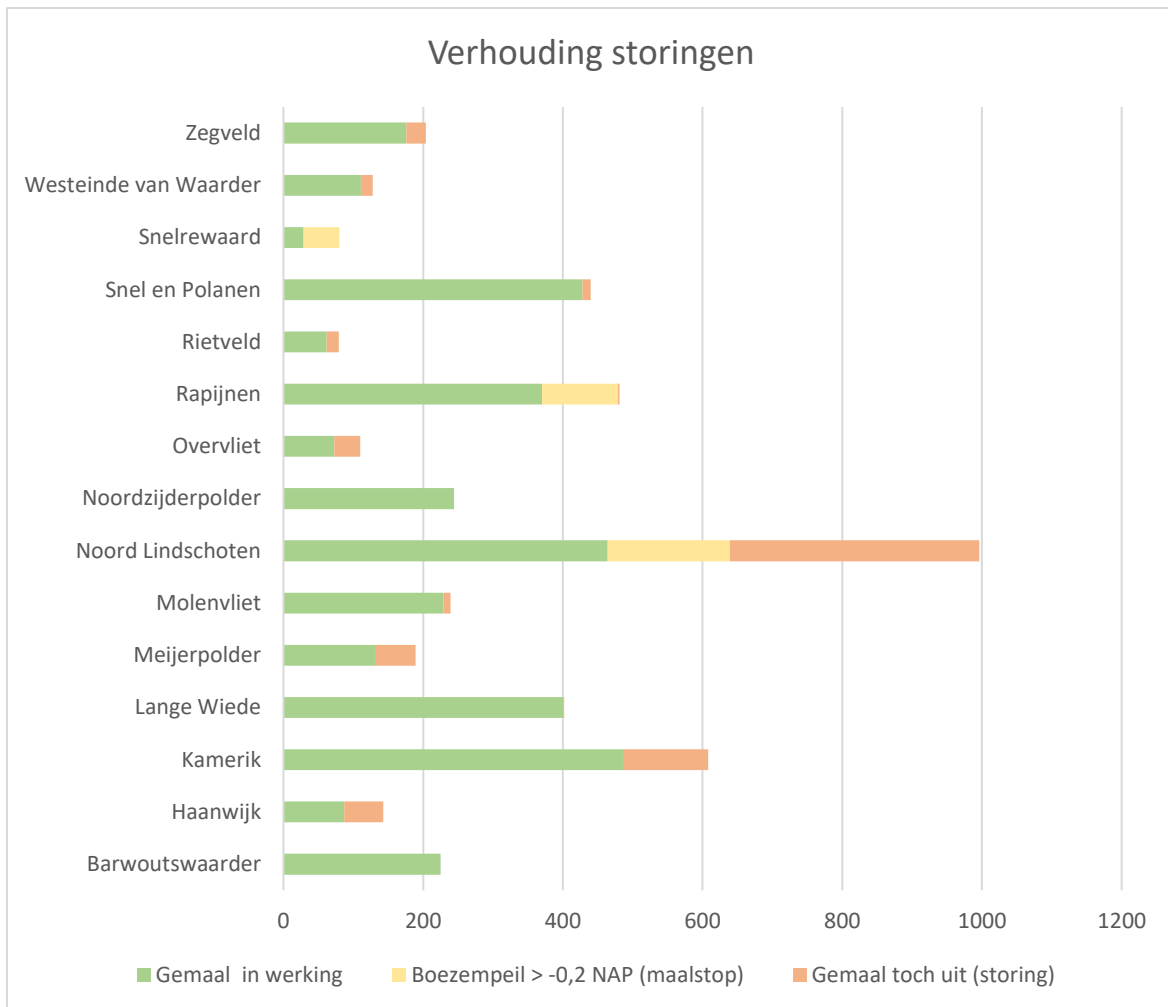
Tabel 15: datapunten uit de uitvoering van de analyse o.b.v. gestelde criteria

Onderdeel van stap 3A is het uitschieten van uitschieters. Uit deze analyse is te zien dat voor een aantal gemalen uitzonderlijk weinig datapunten een polderpeil hoger dan 10cm + streefpeil hebben. Oorzaak hiervoor zouden kunnen zijn dat het gemaal eerder aan slaat dan bij 10cm + streefpeil waardoor het waterpeil nabij het gemaal niet vaak tot boven het criterium stijgt. Hierin zijn gemalen Grechtkade, Groot Hekendorp en Middelland de uitschieters met slechts enkele datapunten waarbij het polderpeil groter is dan 10cm + streefpeil. Deze gemalen zijn daarom niet gebruikt in de vervolgstappen van de analyse.

Tevens is te zien dat gemaal Oud Kamerik en Oudeland en Indijk extreem vaak buiten werking zijn in verhouding tot het polderpeil. Voor gemaal Oudeland en Indijk is dit te verklaren door de plaatsing van de sensor voor bepaling van het polderpeil. Deze bevindt zich in de gebruikte dataset namelijk op enige afstand van het gemaal, waardoor er een vertekend beeld kan ontstaan. Gemaal Oud Kamerik valt met name op door het relatief lage aantal bruikbare datapunten (minder dan 10% van het beschouwde tijdvak). Op basis van deze gegevens is gekozen om ook deze gemalen niet mee te nemen in de analyse uitgevoerd in de vervolgstappen.

***Stap 3B: Visualiseren van resterende dataset.***

In stap 3B van het IKM is de dataset gevisualiseerd, waarbij de uitschieters uit de dataset zijn gefilterd (zie het staafdiagram in figuur 37). In het staafdiagram zijn de verhoudingen te zien tussen de verschillende hoeveelheden datapunten waarbij het gemaal aan, uit of in maalstop staat. In het algemeen is te zien dat de bepaalde draaitijden minder zijn dan totale jaarlijkse draaitijden. Deze bedragen namelijk gemiddeld enkele honderden uren tot 1000 uur per jaar. Meest voor de hand liggende oorzaak hiervoor is dat gemalen over het algemeen eerder in werking treden dan 10cm boven het streefpeil. Echter geeft het uitgangspunt van 10cm+streefpeil wel inzicht in het gedrag van de gemalen tijdens meer kritieke omstandigheden, welke voor deze analyse relevant wordt geacht.



Figuur 37: staafdiagram gefilterde data

### Stap 3C interpreteren van de data

Om de betrouwbaarheid van de verschillende gemalen te bepalen is vastgesteld welke tijd het gemaal (conform de gestelde criteria) in storing staat, in verhouding tot het aantal beschouwde datapunten waar het gemaal in werking is geweest en in werking had moeten zijn.

$$Betrouwbaarheid = 1 - \frac{T_{storing}}{T_{draaiuren} + T_{storing}}$$

Voor de verschillende gemalen zijn betrouwbaarheden gevonden op basis van de gestelde criteria en weergegeven in tabel 16 (let op, dit zijn waarden gebaseerd op de tijdstappen waar voldoende data aanwezig is, dit geeft echter naar rato wel de betrouwbaarheid).

Gemaal	Gemiddelde uren storing per jaar	Gemiddelde draaiuren per jaar	Betrouwbaarheid [%]
Barwoutswaarder	0	532	100
Haanwijk	1,4	1270	99,89
Kamerik	3,1	1031	99,70
Lange Weide	0,3	1190	99,97
Meijerpolder	1,5	1053	99,86
Molenvliet	0,3	1208	99,98

Noord Linschoten	8,9	672	98,69
Noordzijderpolder	0	512	100
Overvliet	0,9	162	99,45
Rapijnen	0,1	587	99,98
Rietveld	0,4	316	99,87
Snel en Polanen	0,3	917	99,97
Snelrewaard	0	436	100
Westeinde van Waarder	0,4	965	99,96
Zegveld	0,7	682	99,90

Tabel 16: betrouwbaarheden o.b.v. beschikbare betrouwbare datapunten

De gevonden waarden geven een gemiddelde waarde voor de betrouwbaarheid van 99,8% , wat betekent dat de gemalen gemiddeld 0,2% van de tijd niet hebben gedraaid de afgelopen 10 jaar terwijl dit op basis van de waterpeilen boven en onderstroom wel gewenst was geweest. De standaarddeviatie op de betrouwbaarheid van de gemalen bedraagt 0,34%.

Met name gemaal Noord Linschoten geeft een lage betrouwbaarheid in verhouding tot andere gemalen. Dit gemaal is echter in 2018 vervangen. Mogelijk is de lage betrouwbaarheid in de afgelopen 10 jaar mede oorzaak om over te gaan tot het vervangen van het gemaal. Een ander gemaal met een lagere betrouwbaarheid is gemaal Overvliet, dit gemaal betreft een van de kleinere boezemgemalen in het systeem. Wanneer gemaal Noord Linschoten buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde betrouwbaarheid 99,9% met een standaarddeviatie van 0,15%.

Daarnaast is het opvallend dat een drietal gemalen op basis van de data en criteria, tijdens maatgevende omstandigheden niet in storing hebben gestaan de afgelopen 10 jaar. Het betreft hier gemalen Barwoutswaarder, Noordzijderpolder en Snelrewaard.

#### Stap 4: Kwaliteitsoordeel

Op basis van de interpretatie van de data en opgestelde grafieken wordt een kwaliteitsoordeel gevormd. Het kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op 5 criteria:

##### 1. Beschikbaarheid van data; Tijdreeks aanwezig in, of samen te stellen uit beschikbare data

De beschikbare data betreffen tijdreeksen van 10 jaar voor 22 gemalen waarvan er 20 voldoende meetpunten hebben om de benodigde parameters af te leiden. Tevens is elk datapunt voorzien van een kwaliteitsvlag welke aangeeft of het een betrouwbare meting betreft. Voor het vaststellen van criteria voor het aan en afslaan van gemalen is gebruik gemaakt van expertschattingen.

##### 2. Uitschieters

Na de eerste analyse blijkt dat de waarden voor 5 gemalen dermate afwijken van de overige gevonden waarden en het verwachtingspatroon, dat deze als uitschieters zijn geïdentificeerd. Oorzaken voor dergelijke anomalieën zijn terug te herleiden naar plaatsing van sensoren, tekort aan betrouwbare datareeksen en gebruikte criteria voor het aan/afslaan van het gemaal.

##### 3. Aantal datareeksen over vergelijkbare periode

Voor de analyse zijn na filtering, datasets van 15 gemalen gebruikt, welke zich over een vergelijkbare periode strekken.

#### **4. Ruimtelijke verdeling van meetpunten**

De verschillende datareeksen betreffen allemaal boezemgemalen die zich verdeeld bevinden over het Oude Rijn gebied.

#### **5. Kwaliteit meetmethode**

Doordat er per datapunt een kwaliteitsvlag bekend is, kan er een hoge mate van betrouwbaarheid aan de gebruikte meetpunten worden toegekend. Echter door aanvullend gebruik van expert schattingen kunnen onnauwkeurigheden ontstaan.

De score voor de datakwaliteit van de tijdreeksen is 4 sterren volgens de IKM methodiek. Echter moet opgemerkt worden dat voor het aanslag/afslagpeil van het gemaal gebruik is gemaakt van expert schattingen. In het IKM is bepaald dat bij een score van 4 Sterren de data een goede beschrijving geeft van het systeem. Echter door het gebruik van expertschattingen zullen de afgeleide betrouwbaarheden in combinatie met expert meningen moeten worden geïnterpreteerd.

#### **Stap 5: expert judgement**

In de analyse is reeds gebruik gemaakt van expert judgement ter bepaling van de criteria over omslagpunt wanneer de gemalen uit of aan zouden moeten staan. Hoewel voor het aan en afslagpunt een schatting is gemaakt, is op basis van deze waarden wel iets te zeggen over de mate van stilstand van gemalen wanneer het in bedrijf zijn van het gemaal gewenst is.

#### **Stap 6: kwantificeer onzekerheid**

Wanneer gekeken wordt naar uitkomsten van de analyse zijn er tussen de gemalen onderling een aantal grote verschillen te vinden, de grootste uitschieter betreft echter een gemaal die reeds is vervangen (Noord Linschoten). Deze uitschieters zorgen voor een grote standaarddeviatie van 0,34% op de betrouwbaarheid terwijl de storingstijd gemiddeld slechts 0,2% bedraagt (variatiëcoëfficiënt van 1,7). Wanneer gemaal Noord Linschoten echter buiten beschouwing wordt gelaten, stijgt de gemiddelde betrouwbaarheid naar 99,9% met een standaardafwijking van 0,15%.

#### **Conclusie en discussie**

Voor de meeste gemalen waarvoor data beschikbaar is gesteld, is een betrouwbaarheid afgeleid aan de hand van de gestelde criteria. Echter voor enkele gemalen bleek de kwaliteit van de data ontoereikend om een betrouwbaarheid af te leiden, en zijn daarom niet mee genomen in de analyse. Een voordeel van de toegepaste data is het feit dat elke meetwaarde reeds (door het waterschap) is gevalideerd en een kwaliteitsvlag toegekend heeft gekregen. Hierdoor kon relatief eenvoudig onderscheid worden gemaakt in toepasbare en foutieve datapunten. Dit komt te goede voor de kwaliteit van de data die is gebruikt in de analyse waardoor de datakwaliteit 4 sterren heeft gekregen conform het IKM.

De betrouwbaarheid is bepaald aan de hand van het niet in werking zijn van het gemaal tijdens omstandigheden waarbij het polderpeil zich meer dan 10cm boven het streefpeil bevind. Het is echter mogelijk dat een gemaal vaker in storing heeft gestaan bij omstandigheden waar het polderpeil zich binnen de 10 cm marge heeft bevonden. Deze storingen zijn buiten beschouwing gelaten omdat expliciet is gezocht naar de mate van storing tijdens extreme omstandigheden.

Ter bepaling van de criteria voor het in- of buiten werking zijn van het gemaal is gebruik gemaakt van expert judgement (van het waterschap). In de voorliggende analyse moest dus gebruik worden gemaakt van deze expert judgement in combinatie met data analyse. Wanneer men de mate van storingen van de gemalen exact wil afleiden, zal gebruik moeten worden gemaakt van geïnterpreteerde data; bijvoorbeeld in de vorm van overzichten van storingen die door de beheerder wordt bijgehouden. Deze vorm van geïnterpreteerde data is op dit moment niet beschikbaar.