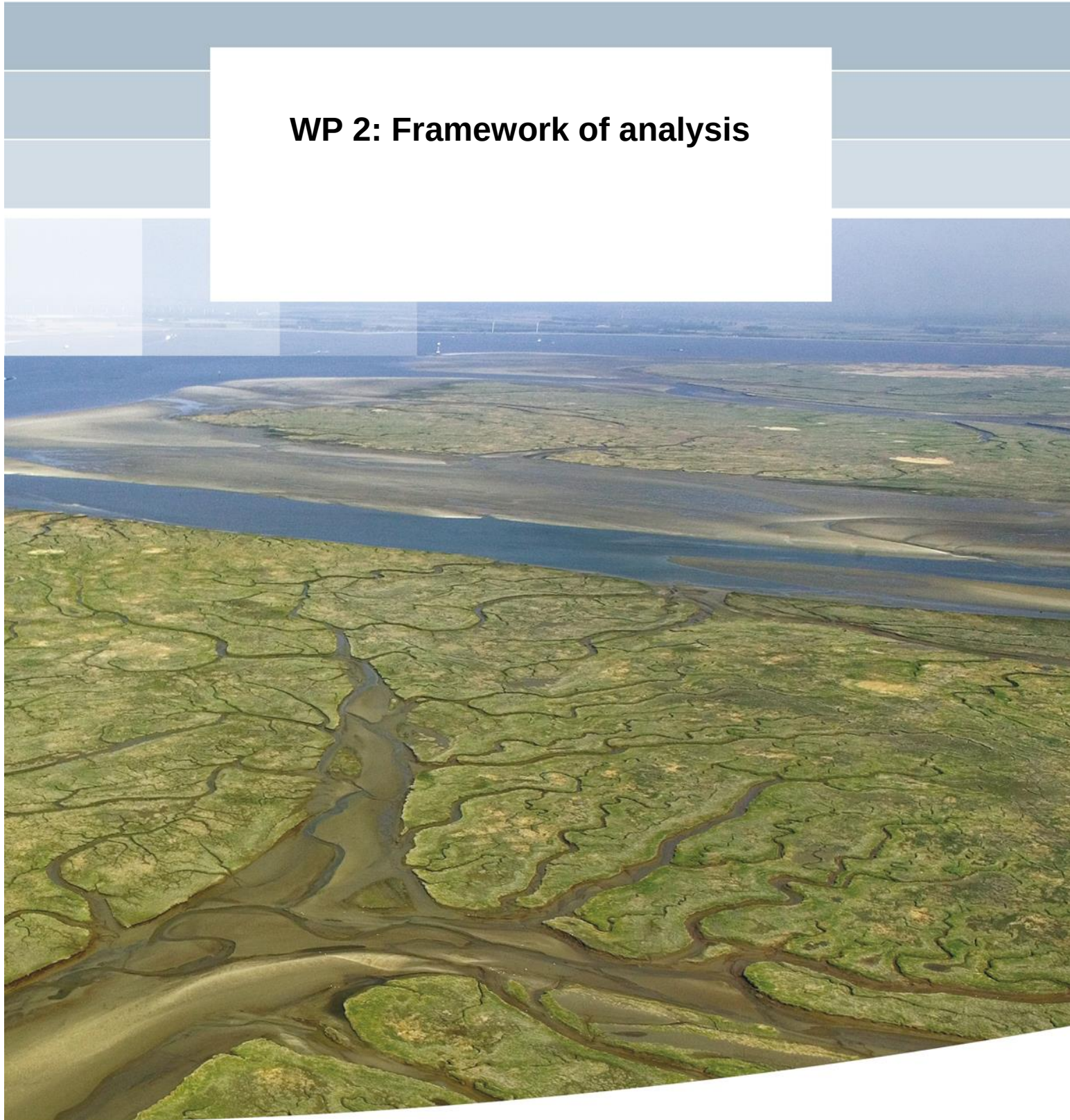


WP 2: Framework of analysis



WP 2: Framework of analysis

Hans Korving

Titel
WP 2: Framework of analysis

Project 11201843-006 **Kenmerk** 11201843-006-ZWS-0001 **Pagina's** 35

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	December 2019	Hans Korving		Frank den Heijer		Gerard Blom	

Status
definitief

Inhoud

1 Framework of Analysis	1
1.1 Aanleiding en aanpak	1
1.2 Generiek raamwerk	1
1.3 Ontwikkeling van tools voor asset management	2
1.4 Informatie-/datakwaliteitsmodel	4
1.5 ROBAMCI tools	7
1.6 Borging van tools en kennis	14
2 Ontwikkelingen fase 1	15
2.1 Generiek raamwerk	15
2.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel	16
2.3 ROBAMCI tools	17
3 Ontwikkelingen fase 2	19
3.1 Generiek raamwerk	19
3.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel	20
3.3 ROBAMCI tools	21
4 Ontwikkelingen fase 3	24
4.1 Generiek raamwerk	24
4.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel	24
4.3 ROBAMCI tools	25
5 Ontwikkelingen fase 4	28
5.1 Generiek raamwerk	28
5.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel	28
5.3 ROBAMCI tools	33
Bijlage(n)	
A Specificaties producten WP2	A-1
B QGIS tool voor gegevensinvoer	B-1
C Combineren van expertkennis en data	C-1

1 Framework of Analysis

1.1 Aanleiding en aanpak

Doel van werkpakket 2 'Framework of Analysis' is een generiek en samenhangend raamwerk van methoden, tools en best practices te ontwikkelen voor de voorbereiding van beslissingen op strategisch, tactisch en operationeel niveau over asset management van publieke infrastructuur in de GWW sector. Hiervoor is een algemeen raamwerk ontwikkeld, waarmee cases kunnen worden gestructureerd en besluitvorming over asset management kwantitatief kan worden onderbouwd. Dit raamwerk moet toepasbaar zijn voor infrastructuur in beheer van de overheid. Grondgedachte van ROBAMCI is namelijk dat veel asset en life-cycle management vraagstukken in de grond hetzelfde zijn, maar dat de toepassing kan verschillen. Bijvoorbeeld de levensduurverlenging van een rioolstelsel is in essentie niet anders dan van een dijkkring. Beide bestaan uit een netwerk dat is opgebouwd uit objecten die individueel en gezamenlijk een bepaalde functie vervullen.

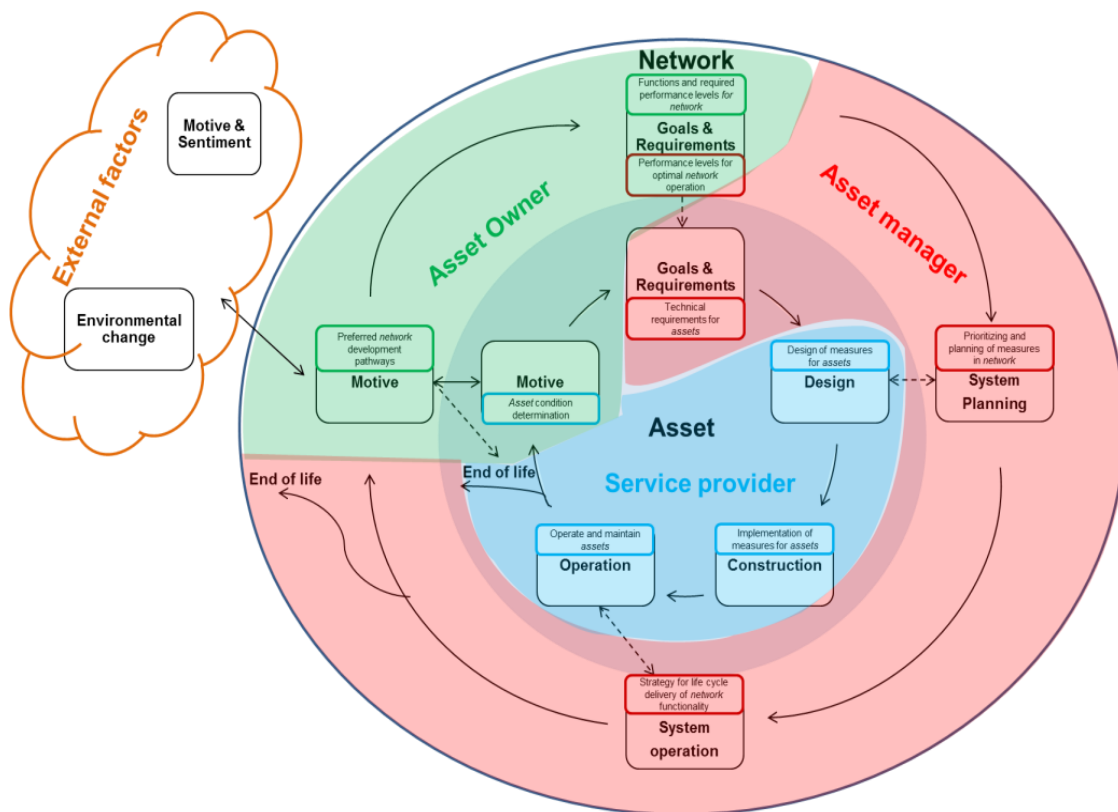
De ontwikkeling van het framework was een iteratief proces, waarbij voortdurend terugkoppeling vanuit cases gebruikt is om het inhoudelijk verder aan te scherpen. Hierbij is het zaak om de overeenkomsten tussen cases goed te kunnen herkennen en gebruiken, zodat ervaringen uit het ene toepassingsgebied benut kunnen worden in een andere toepassing. Op deze manier is in ROBAMCI een framework ontwikkeld dat aansluit op de beheerpraktijk en de diversiteit van publieke organisaties. Zo kan sturen op prestaties, risico's en kosten praktisch hanteerbaar worden gemaakt, los van de precieze organisatorische context.

De ontwikkeling van het framework is ingestoken vanuit de inhoudelijke kant, en niet vanuit het proces, wat vaak gebruikelijk is als een specifieke vraag centraal staat. Reden hiervoor is dat processen vaak beheerderafhankelijk zijn. Het doel van ROBAMCI is juist om methoden te ontwikkelen die beheerderonafhankelijk zijn. Daarmee verbindt ROBAMCI twee elementen die tot de directe verantwoordelijkheid van beheerders van infrastructuur behoren: de data die de toestand van de infrastructuur en het systeem beschrijven, en de te nemen beslissingen over onderhoud en ontwikkeling van die infrastructuur en het systeem.

1.2 Generiek raamwerk

Om de cases binnen ROBAMCI te faciliteren is een generiek raamwerk ontwikkeld. Dit raamwerk bestaat uit drie bouwstenen: (1) een lifecycle-schema, (2) een informatiekwaliteitsmodel en (3) rekentools voor kwantitatief life-cycle management. Het lifecycle-schema dient om het proces van life-cycle management voor de toepassing van publieke kritieke infrastructuur explicieter te maken. Het informatiekwaliteitsmodel is ontwikkeld om de rol van informatie in het beslisproces beter inzichtelijk te maken.

Het ontwikkelde raamwerk maakt het mogelijk om life-cycle management concreet kwantitatief handen en voeten te geven in ROBAMCI. Het life-cycle schema is weergegeven in Figuur 1.1. Hierin zijn zowel de life-cycle van individuele assets (binnenste ring) als die van netwerken (buitenste ring), en de domeinen van de verschillende rolhouders vertegenwoordigd (de vlekken in de figuur).



Figuur 1.1. ROBAMCI life cycle schema

1.3 Ontwikkeling van tools voor asset management

Belangrijk onderdeel van het raamwerk is een instrumentarium met generieke tools om asset management problemen kwantitatief te analyseren. Dit instrumentarium is gedurende de looptijd van ROBAMCI lerend ontwikkeld door tools te maken die passen bij de vragen uit de case studies en die vervolgens gelijk te gebruiken in diezelfde cases.

De grote uitdaging was om aan het eind van de rit een set generieke tools te hebben die helpen bij het oplossen van de diverse AM vraagstukken uit de GWW sector. Daarom zijn bij de start van fase 3 specificaties opgesteld waaraan de tools aan het eind van fase 4 moeten voldoen. Deze specificaties zijn opgenomen in bijlage A.

Het instrumentarium bestaat uit twee onderdelen:

- ROBAMCI tools. Een generieke schil waarin fysische modellen voor case-specifieke toepassingen gekoppeld kunnen worden om (1) de consequenties van veroudering, kosten en onzekerheden voor de besluitvorming over ingrepen probabilistisch te kunnen doorrekenen, (2) de planningsvolgorde van beheeracties geoptimaliseerd kan worden en (3) het effect van verschillende beheerstrategieën en/of toekomstscenario's onderling vergeleken kunnen worden op de kosten, prestaties en risico's.

- Informatiekwaliteitsmodel (IKM). Een tool waarmee de consequenties van beschikbaarheid en kwaliteit van data en informatie voor het levenscyclusbeheer in beeld gebracht kunnen worden. Om de consequenties van verschillen in kwaliteit en beschikbaarheid van data op de besluitvorming door te rekenen moet het IKM samen met de ROBAMCI tools ingezet worden.

Met de ROBAMCI tools kan de invloed van veroudering van objecten, van beheermaatregelen en van onzekerheden op de systeemprestaties en kosten doorgerekend worden. Hierbij kunnen bestaande rekenmodellen (bijv. SOBEK) toegepast worden en kunnen consequenties doorvertaald worden naar de besluitvorming over interventies en strategieën.

De ROBAMCI tools moeten het gesprek tussen asset management op operationeel, tactisch en strategisch niveau faciliteren (Figuur 1.2). De belangrijkste kenmerken van asset management op deze drie niveaus zijn:

- Op operationeel niveau gaat het om beheeracties aan individuele objecten (of groepen objecten) om de invloed van veroudering van die objecten op het functioneren van het totale systeem binnen acceptabele grenzen te houden gegeven een bepaalde beheerstrategie. Hierbij kan rekening worden gehouden met onzekerheden in veroudering en systeemgedrag en toekomstige veranderingen in klimaat en/of omgeving.
- Op tactisch niveau gaat het om de optimale volgorde van beheeracties aan objecten in de tijd gegeven veroudering, onzekerheden, beheerstrategie en toekomstscenario. Optimaal is hierbij afhankelijk van de weging die een beheerder maakt. Bijvoorbeeld kan hierbij als maat gehanteerd worden hoeveel ‘spijt’ een beheerder heeft als een specifieke planningsvolgorde gekozen wordt bij alle beschouwde realisaties van de veroudering van de objecten. Zijn doel is dan minimalisatie van de verwachting van ‘spijt’. Er zijn ook andere wegen mogelijk.
- Op strategisch niveau gaat het om een afweging tussen verschillende beheerstrategieën en een beoordeling van de mate waarin een beheerstrategie rendeert onder verschillende mogelijk toekomstscenario's.



Figuur 1.2. Verbinden van niveaus van besluitvorming als aanleiding voor ROBAMCI

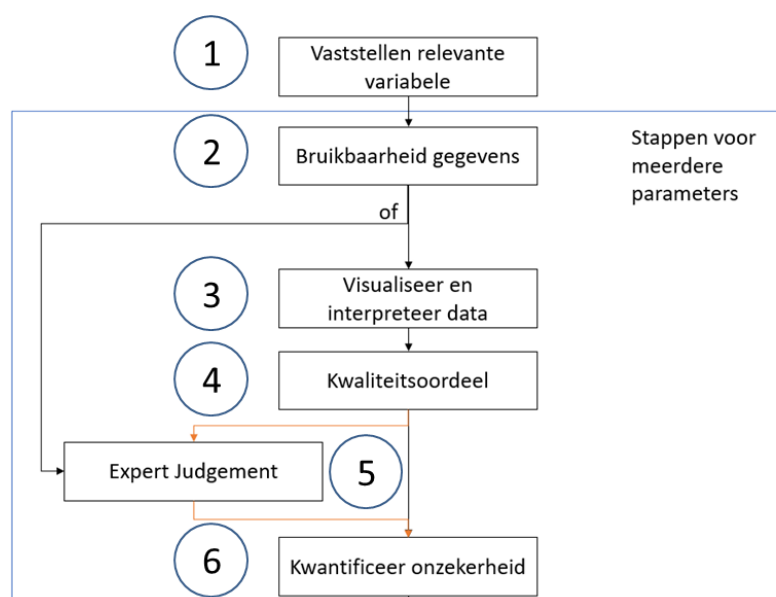
1.4 Informatie-/datakwaliteitsmodel

De basis voor het IKM is gelegd 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 is het conceptuele model toegepast op een concrete case (Van Stokkum, Pals, & Zomer, 2017). Helaas was het IKM voor deze specifieke case nog niet van veel toegevoegde waarde. Dit leerpunt is meegenomen bij de verdere ontwikkeling in fase 3. Daarnaast is in fase 3 de gebruikersvriendelijkheid van het IKM vergroot en de naam verandert in datakwaliteitsmodel (DKM), omdat dit de lading beter dekt (Rinsema, Pals, & Zomer, 2018). In fase 4 is het DKM worden uitgebreid met een module voor kosten-baten analyses, waarmee verschillende strategieën voor het verzamelen van aanvullende meetdata afgewogen kunnen worden.

Stappenplan DKM

Het DKM voorziet middels een stappenplan op een systematische manier de beschikbare data van een kwaliteitsoordeel. Het beoordelingsproces bestaat uit 6 stappen (zie Figuur 1.3). Dit proces verloopt als volgt:

1. Vaststellen wat de relevante variabelen zijn (stap 1).
2. Per variabele beoordelen of er bruikbare data aanwezig is (stap 2).
3. Beschikbare data visualiseren met behulp van een aantal eenvoudige methoden (stap 3).
4. Formuleren van een kwaliteitsoordeel over de data op basis van de visualisatie (stap 4). Hiermee wordt beoordeeld of de data betrouwbaar genoeg is om te gebruiken bij het vervolg.
5. Als er onvoldoende data beschikbaar is, of de data van onvoldoende kwaliteit zijn, dan wordt gebruik gemaakt van expert judgement (stap 5).
6. Kwantificeren van inputonzekerheid van de beschouwde parameter op basis van het kwaliteitsoordeel (stap 6). Met de ROBAMCI tools kan vervolgens de prestatie van het systeem of object berekend worden, inclusief de bandbreedte veroorzaakt door de onzekerheid in de data.



Figuur 1.3. Processchema Datakwaliteitsmodel (DKM)

Op basis van het kwaliteitsoordeel wordt bepaald of voor de invoer in de ROBAMCI tools nog aanvullende expertschattingen benodigd zijn. NB: als geen data beschikbaar is, dan wordt per definitie gebruik gemaakt van expertschattingen. Hieraan kan geen objectief kwaliteitsoordeel worden toegekend.

Kwaliteitsoordeel DKM

De kwaliteitsbeoordeling is gebaseerd op de criteria uit het Framework Dijk informatie (Wojciechowska, Klerk, der Hammen, & Pot, 2017)¹. Hiermee wordt een kwaliteitsoordeel over de data gegeven van 1 tot 5 sterren. De gehanteerde systematiek is uitgewerkt in Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Kwaliteitsoordeel data op basis van IKM/DKM

Kwaliteitslabel	Kwaliteitscriteria	Voorbeelden	Toepasbaarheid
1 ster	1. Onbetrouwbare meetmethode 2. Onvoldoende data 3. Geen ruimtelijke verdeling of te weinig metingen per dag 4. Alleen metingen onder 'dagelijkse' omstandigheden (3 meter onder MHW)	1. Een niet gevalideerde meetmethode zoals DDSC data voor een aantal raaien met extreme stijghoogten 2. Er is geen volledige dataset 3. Een boring om de 2 Km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk 4. DDSC data in de jaren 2014, 2015 en 2016	Data niet bruikbaar
2 sterren	1. Relatief grote stochastische afwijking ten opzichte van meegenomen waarden 2. Onbetrouwbare data	1. Zetting obv verschil tussen AHN2 en AHN3 (Rijnland case) 2. Er is een dataset zonder mogelijkheid tot validatie	Combinatie met expert meningen nodig

¹ Wojciechowska, K., Klerk, W., der Hammen, J., & Pot, R. (2017). Beoordelingsframework Dijkeninformatie. STOWA, RWS-WVL, HWBP.

Kwaliteitslabel	Kwaliteitscriteria	Voorbeelden	Toepasbaarheid
	3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 4. Alleen metingen onder 'dagelijkse' omstandigheden met een grote afstand tot maatgevende omstandigheden	3. Een boring om de 1 km dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk 4. DDSC data in de jaren 2014, 2015 en 2016	
3 sterren	1. relatief kleine stochastische afwijking ten opzichte van meegenomen waarden 2. Gevalideerde data 3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 4. Metingen waarvoor de 'dagelijkse' omstandigheden dicht bij de maatgevende omstandigheden liggen	1. Gevalideerde peilbuis-metingen 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 3. Een boring op 500 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk 4. Stijghoogtemetingen bij een regionale kering onder 'normale' omstandigheden	Data geeft bruikbare beschrijving van het systeem
4 sterren	1. Betrouwbare meting 2. Gevalideerde data 3. Beperkte ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 4. Meting onder bijna relevante omstandigheden	1. Golfhoogte metingen Noordzee RWS 2. DDSC data op zelfde punt in raai beschikbaar voor 3 jaren voor de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden 3. Een boring op 150 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk 4. Meting sinterklaasstorm DDSC	Data geeft goede beschrijving van het systeem
5 sterren	1. Betrouwbare meting 2. Uitgebreide datareeks beschikbaar 3. Goede ruimtelijke verdeling van meetpunten (voor zover relevant) 4. Meting onder relevante omstandigheden	1. Golfhoogte metingen Noordzee RWS 2. waterstand meting grote rivieren RWS 3. Een boring op 50 m dijk voor sterktebepaling voor piping voor een heterogene rivierdijk, waarbij de locatie van de boring goed is doordacht 4. Stijghoogte van een locatie waar zandmeevoerende wellen worden geconstateerd	Data geeft volledig inzicht in het systeem

DKM als input voor ROBAMCI tools

Nadat met het DKM de kwaliteit van de beschikbare informatie bepaald is, kan de invloed van deze datakwaliteit op de prestatie van het gehele systeem inzichtelijk gemaakt worden met de ROBAMCI tools. Als de spreiding van de prestatie van de asset groot blijkt te zijn, dan kan het de moeite waard zijn om de betrouwbaarheid van de data te vergroten.

Met behulp van een gevoeligheidsanalyse wordt beoordeeld voor welke parameter(s) het verhogen van de betrouwbaarheid uiteindelijk resulteert in een verbetering van systeemprestatie. Op basis van het kwaliteitsoordeel uit stap 5 van het IKM kan worden ingeschat of en hoeveel verbetering nog mogelijk is voor een bepaalde parameter.

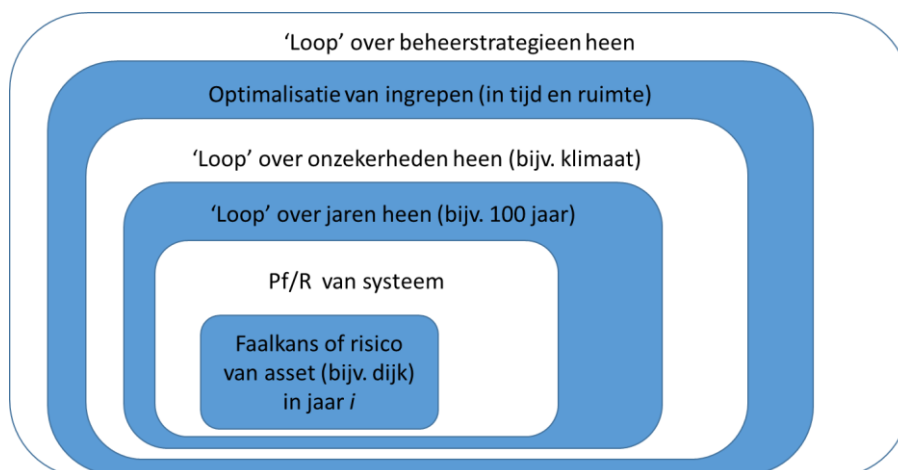
Kosten-batenanalyse DKM

Met behulp van een kosten-batenanalyse (KBA) kan tenslotte ingeschat worden of het de moeite loont om aanvullende informatie te verzamelen alvorens een besluit wordt genomen over een bepaalde ingreep. Hiervoor is in het DKM een systematiek uitgewerkt, waarbij drie mogelijke strategieën worden onderscheiden die ten grondslag kunnen liggen aan de KBA:

- **Bepaling van meetstrategie t.b.v. afwegingen over het investeringsmoment.** Met aanvullende informatie is de huidige staat van de asset wellicht anders dan gedacht waardoor ook het beste moment van de investering verandert. De afweging heeft betrekking op meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
- **Bepaling van meetstrategie t.b.v. afwegingen over toepassing van een strategie in de tijd.** Aanvullende informatie kan laten zien dat de degradatie van een object mogelijk sneller of juist minder snel gaat dan gedacht, waardoor de totale kosten over de beschouwde periode veranderen. De afweging heeft betrekking op meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
- **Optimalisatie van het uit te voeren onderzoek.** In de voorgaande strategieën is steeds sprake van een afweging t.a.v. meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset. In dit geval is er slechts één parameter die beschouwd wordt, bijvoorbeeld de ruimtelijke dichtheid van een sondeeronderzoek. Het betreft dan een economische optimalisatie die m.b.v. Bayesiaanse statistiek opgelost kan worden.

1.5 ROBAMCI tools

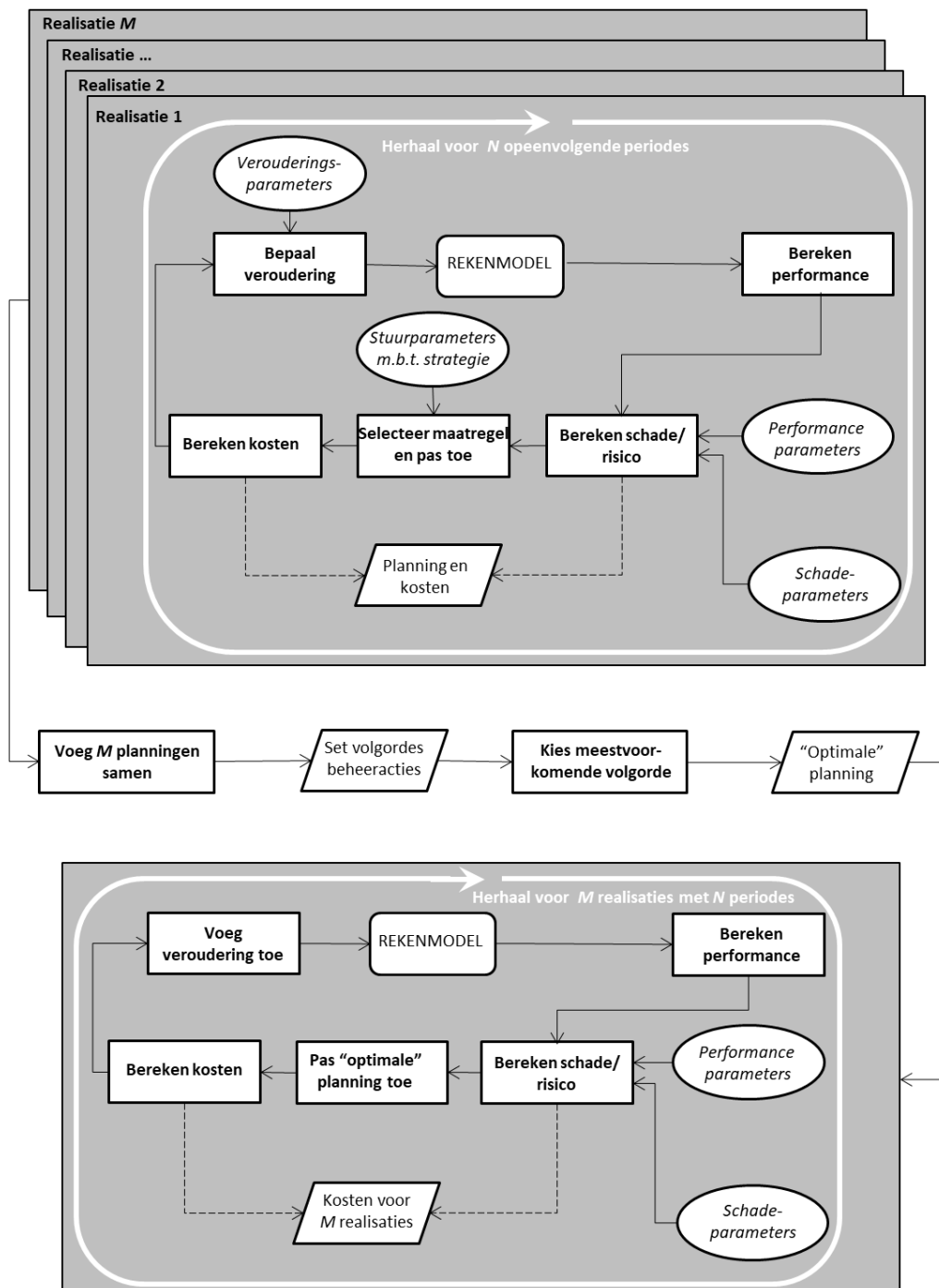
Onderstaand wordt de technische werking van de ROBAMCI tools toegelicht. Op hoofdlijnen moeten de ROBAMCI tools op verschillende schaalniveaus optimalisaties t.a.v. asset management kunnen uitvoeren (zie Figuur 1.4).



Figuur 1.4. Schaalniveaus in optimalisatie van asset management binnen ROBAMCI tools

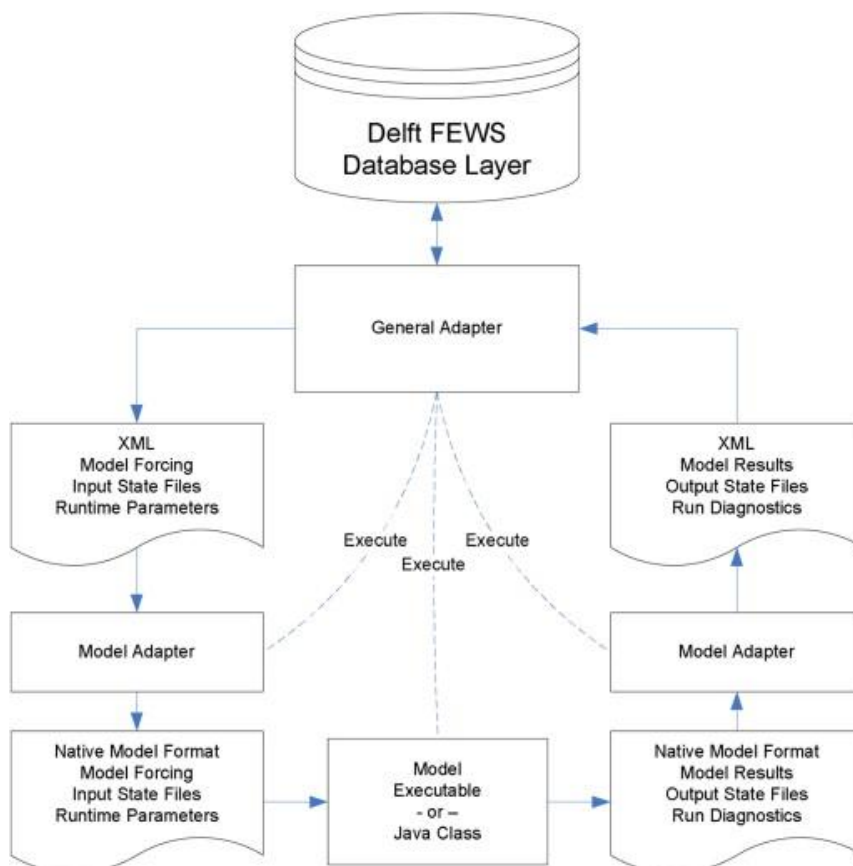
Opbouw ROBAMCI tools

De rekentools bestaat uit een algemeen en een specifiek deel. Het algemene deel betreft de risico analyse en de econometrische analyse. Dit deel faciliteert de probabilistische berekeningen over de levensduur, optimaliseert de planning van beheeracties in de tijd en zet de systeemprestaties onder verschillende beheerstrategieën en toekomstscenario's naast elkaar. Het specifieke deel betreft het fysisch systeemgedrag. Het berekent de momentane respons van het systeem onder bepaalde systeemcondities en belastingen. Het algemene deel noemen we hier de ROBAMCI tools, het specifieke deel het (reken)model. De algehele opzet van de ROBAMCI tools is weergegeven in Figuur 1.5.



Figuur 1.5. Opzet ROBAMCI tools

Voor de koppeling tussen het generieke en specifieke deel is een opzet gebruikt die vergelijkbaar is met FEWS. De uitdaging is ervoor te zorgen dat de modellen de juiste uitvoer geven waar het generieke deel mee overweg kan. De hoofdstructuur van de FEWS opzet is weergegeven in Figuur 1.6.



Figuur 1.6. Structuur van Delft FEWS. Modellen worden via adapters aan een centrale 'kern' gekoppeld (Werner et al., 2013)²

Per casus is een fysisch model beschikbaar. Dit model berekent op basis van een set invoergegevens de respons of prestaties van het systeem in een bepaalde verouderingstoestand. Bij prestaties moet gedacht worden aan waterstanden, dijkhoogtes of het risico (bedrag) van het door een dijkkring beschermd gebied. De systeemprestaties hebben betrekking op bepaalde functie of functies, bijvoorbeeld waterveiligheid of schoon water. De berekeningen worden in serie voor achtereenvolgende jaren uitgevoerd met als uitgangspunt een bepaalde snelheid van “veroudering” en mogelijk ook een bepaald toekomstscenario.

NB: de term “veroudering” moet gelezen worden als elke mogelijke exogene verandering die een bepaald verloop heeft in de tijd en van invloed is op de systeem- of objectprestaties. Het betreft dus niet alleen de veroudering van objecten, maar ook veranderingen in gebruik zoals zwaardere verkeersbelastingen of zeespiegelstijging

In de serie berekeningen voor achtereenvolgende jaren wordt een beheerstrategie toegepast, wat inhoudt dat maatregelen kunnen worden toegepast om te blijven voldoen aan de vereiste systeemfunctie(s). De keuze om wel of geen maatregel te treffen in een jaar gebeurt op basis van berekende systeemprestaties en stuurparameter(s) afkomstig uit de beheerstrategie. Een

² Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., & Heynert, K. (2013). The Delft-FEWS flow forecasting system. *Environmental Modelling & Software*, 40, 65–77. doi: 10.1016/j.envsoft.2012.07.010

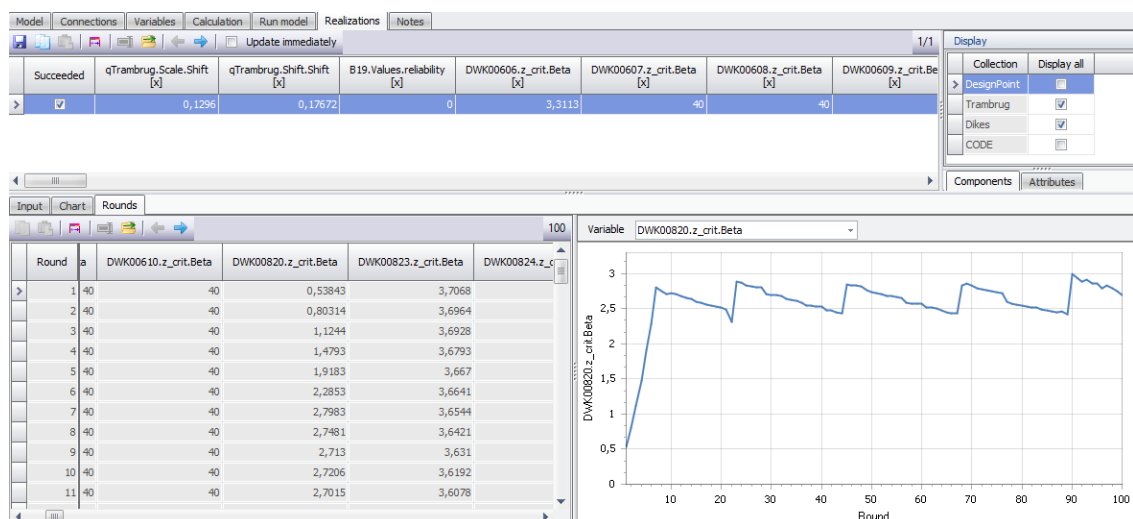
mogelijke stuurparameter is de waterstand voor een dijk, of de slibdikte waarbij gebaggerd moet worden, of het maximum risico van een door een dijkkring beschermd gebied.

Het nemen van een maatregel betekent voor het model dat de modelparameter die aan veroudering onderhevig is wordt aangepast (bijvoorbeeld een groter doorstroomprofiel door verkleinen van de sliblaagdikte). Welke maatregel wordt genomen, wanneer die wordt genomen, en de kosten die eraan verbonden zijn worden gedurende de reeks berekeningen vastgelegd.

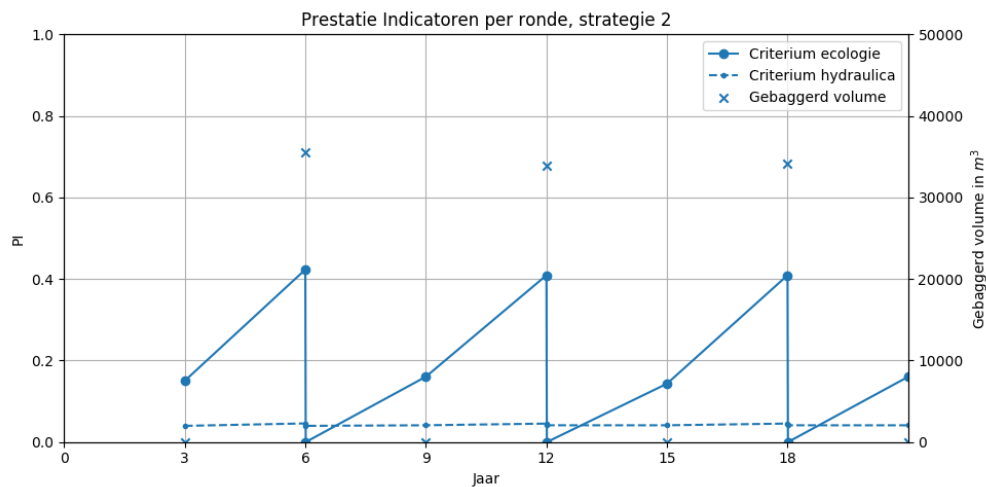
Integratie van veroudering en onzekerheden in de berekeningen

De berekeningen worden zoals al aangegeven een groot aantal keren herhaald om de “veroudering” in de tijd na te bootsen, bijvoorbeeld telkens voor een periode van één jaar een nieuwe berekening. Dit geeft een ‘film’ die bijvoorbeeld de toename van de risico’s weergeeft onder invloed van de veroudering van systeemonderdelen of de toename van systeembelastingen.

De “veroudering” wordt verdisconteerd in verouderingsparameters in het model zoals slibaangroei per jaar of daling van de kruinhoogte van de dijk. Bij elke nieuwe tijdstap in de berekening wordt de veroudering verdisconteerd in een aanpassing van de verouderingsparameter, bijvoorbeeld toename van de sliblaagdikte. Vervolgens worden de systeemparementers berekend en kunnen maatregelen genomen worden aan objecten in het systeem om te blijven voldoen aan de vereiste systeemprestaties. De herhaling van de modelberekening wordt aangestuurd vanuit de ROBAMCI tools. In Figuur 1.7 en 1.8 voorbeelden van hoe de ontwikkeling van een parameter in de tijd inzichtelijk kan worden gemaakt. Dit is dan de ‘lifecycle-film’ van die parameter.

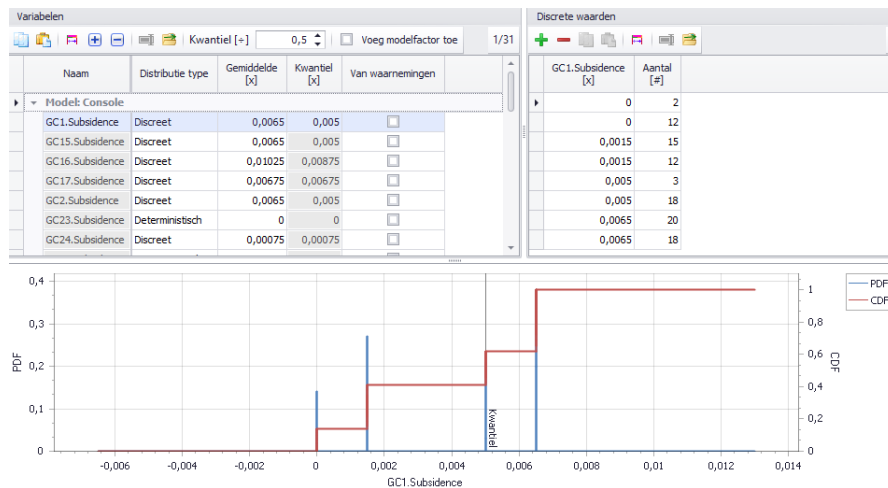


Figuur 1.7. Voorbeeldscherm ROBAMCI tools: tijdsverloop

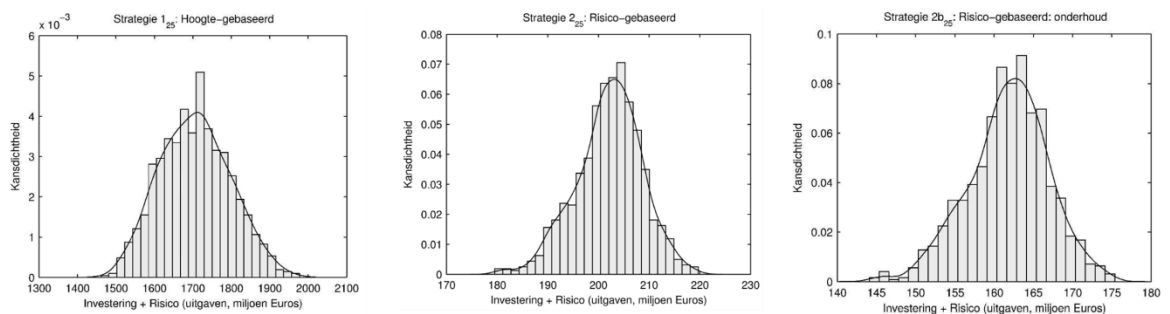


Figuur 1.8. Voorbeeld van tijdsverloop van systeemprestaties voor watersysteem bij bepaalde slibaanwas en baggeren met vaste frequentie van 1x per 6 jaar voor verschillende bedrijfswaarden

Er ook kan rekening worden gehouden met onzekerheden in de “veroudering” door bijvoorbeeld de verouderingssnelheid of de zeespiegelstijging als stochast in het model op te nemen. Om de invloed van onzekerheden te kwantificeren, wordt telkens opnieuw een random waarde van de stochastische parameter getrokken uit een kansverdeling. Bij iedere trekking wordt de eerder genoemde film opnieuw berekend. Figuur 1.9 toont hoe de onzekerheden worden verwerkt in de ROBAMCI tools. Figuur 1.10 laat zien een voorbeeld zien hoe de onzekerheden kunnen doorwerken in de uitkomsten van de ROBAMCI tools.



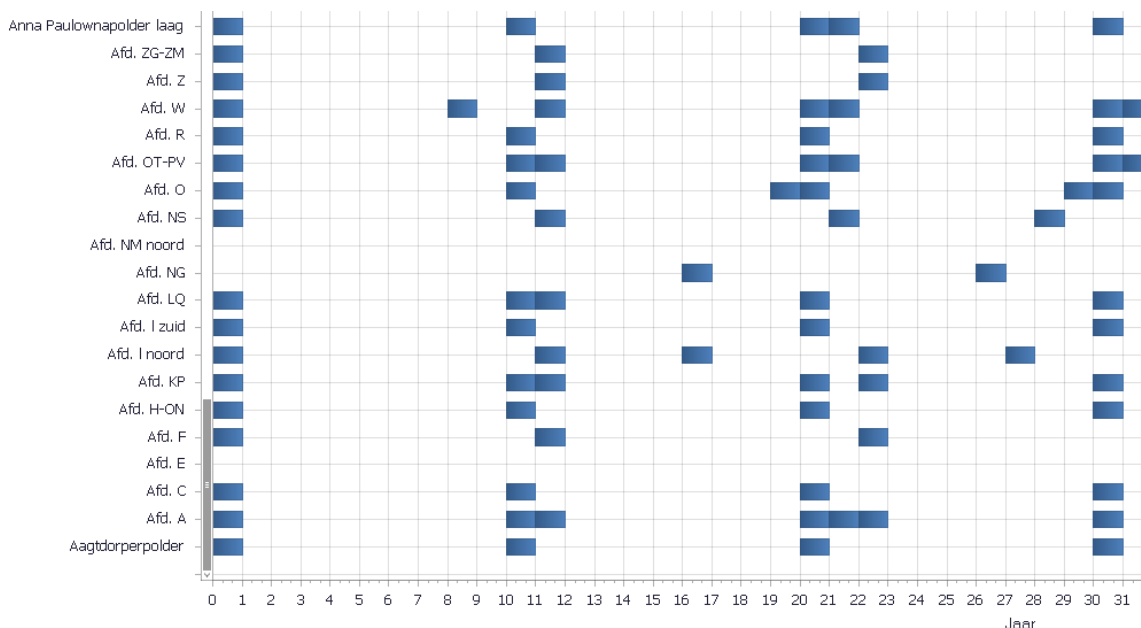
Figuur 1.9. Voorbeeldscherm ROBAMCI tools: onzekerheden



Figuur 1.10. Voorbeeld doorwerking van onzekerheden in verzakingsgraad van dijkstrekkings op kosten en risico's van drie verschillende beheerstrategieën (hoogte-gebaseerd, risico-gebaseerd op projectbasis en risico-gebaseerd op onderhoudsbasis) bij HHNK

Planning van ingrepen in de tijd

Uit de maatregelen die gedurende de reeks berekeningen voor alle tijdstappen in de beschouwde levensduur van het netwerk (= de film) en alle trekkingen uit de onzekere variabelen zijn vastgelegd, volgt een planning van de ingrepen en de bijbehorende kosten (incl. contante waarde). De planning bestaat uit een lijst met ingrepen in een bepaalde tijdsvolgorde. Een voorbeeld van een planning is gegeven in Figuur 1.11.



Figuur 1.11. Voorbeeldscherm ROBAMCI tools: planning

Als onzekerheden worden meegenomen, geeft dit verschillende planningen voor verschillende trekkingen van de onzekere variabelen. In de set planningen die daaruit ontstaat wordt gezocht naar de planningsvolgorde die over alle realisaties leidt tot een optimaal resultaat voor de assetmanager. Een manier van wegen is te zorgen voor de minste 'spijt' bij de asset manager over genomen beheerbeslissingen. Voor zover mogelijk wordt 'spijt' vertaald naar kosten. Idealiter zou hiervoor een optimalisatie over alle realisaties van de onzekere variabelen uitgevoerd worden. Dit is gezien de rekentijden (nog) niet haalbaar. Daarom is ervoor gekozen om de gemiddelde planning te beschouwen als de zo optimaal mogelijke volgorde.

1.6 Borging van tools en kennis

Een belangrijk aandachtspunt is het beheer van de software t.a.v. de inhoudelijke samenhang van de verschillende componenten en het inhoudelijk up-to-date houden van deze componenten. Momenteel is echter nog geen goede structuur beschikbaar om het beheer en onderhoud van de software in de toekomst te borgen.

Er worden inhoudelijk wel al onderdelen ingevuld. Als eerste wordt momenteel de 'bouwplaat' van de ROBAMCI tools vastgelegd. Daarnaast worden de volgende stappen voorgesteld:

- Validatie- en testrapportage en functionele beschrijving van de software.
- Regressietesten om aan te tonen dat de kwaliteit geborgd is.
- Globale beschrijving van de interne werking van de tools.
- Memo's e.d. over de aansluiting van de tools op de cases archiveren bij de cases.

2 Ontwikkelingen fase 1

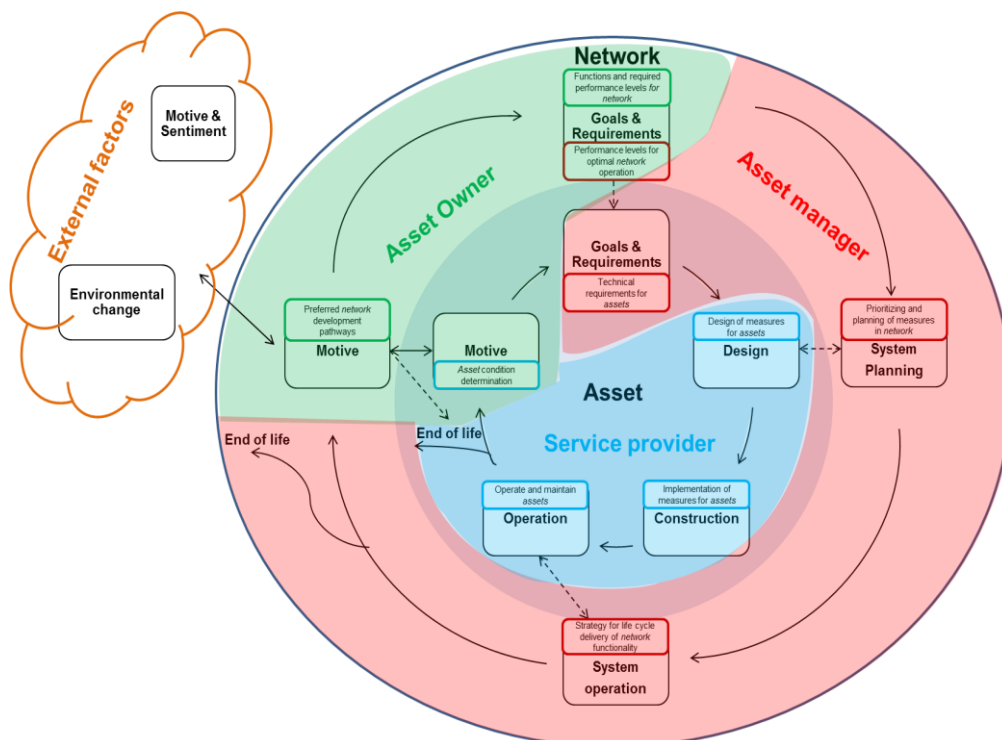
In fase 1 is het framework voor ROBAMCI ontwikkeld. Dit framework bestaat uit 3 hoofdonderdelen:

- Schema voor life-cycle management;
- Informatiekwaliteitsmodel;
- Rekentools voor kwantitatieve onderbouwing.

In fase 1 lag de focus lag op verkennen, resulterend in een literatuurstudie en een globale opzet voor het conceptueel kader. De onderdelen van het framework zijn in de vervolgfases van ROBAMCI als onderdeel van de case studies verder verbeterd en ingevuld. Onderstaand worden de verschillende onderdelen toegelicht.

2.1 Generiek raamwerk

Het eerste onderdeel is een schema voor life-cycle management. Hierin worden de verschillende fasen van de levenscyclus, die nu vaak nog afzonderlijk beschouwd worden, geïntegreerd. Er is een verband gelegd tussen asset management van netwerken en individuele assets/objecten, en de verschillende rolhouders (asset eigenaar, asset manager en service provider) die in de levenscyclus een rol spelen, zie Figuur 2.1. Opgemerkt moet worden dat de scheiding tussen de verschillende rolhouders niet voor iedere casus hetzelfde ligt.



Figuur 2.1. Schema voor life-cycle management van infrastructuur

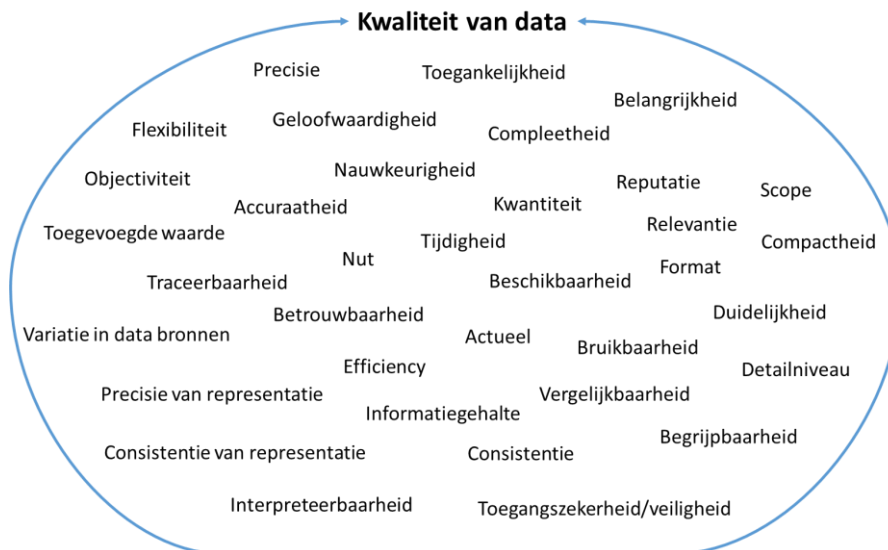
2.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel

Cruciaal in de implementatie van dit framework is de relatie tussen de verschillende fasen in de levenscyclus en met name de uitwisseling van informatie tussen deze fasen. Uit de literatuur blijkt dat dit vaak mis gaat. De oorzaak is dat vaak slechts een deel van de levenscyclus beschouwd. Daarnaast zijn er organisatorische belemmeringen, omdat teveel in hokjes gedacht wordt.

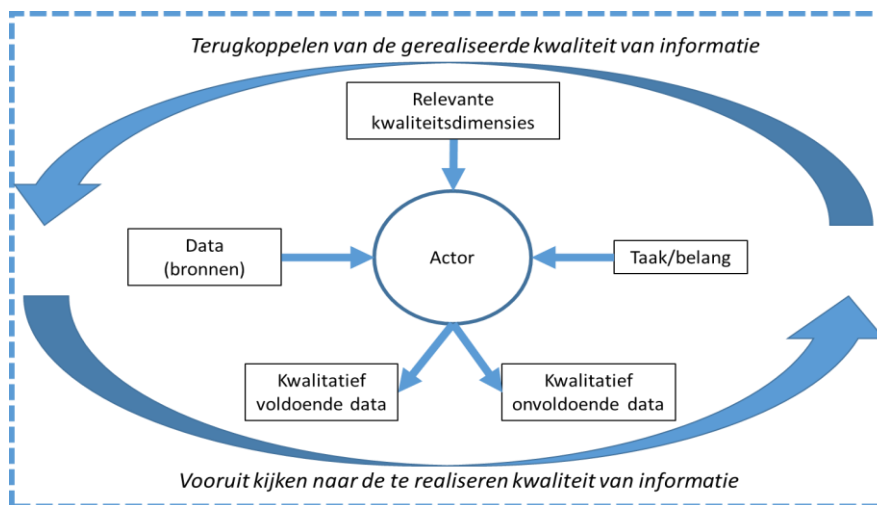
Om de uitwisseling en toepassing van informatie te stroomlijnen is als tweede onderdeel van het framework het InformatieKwaliteitsModel (IKM) ontwikkeld. Dit model is bedoeld voor het definiëren van eisen aan kwaliteit van informatie en het toetsen van informatiekwaliteit.

Het informatiekwaliteitsmodel is in fase 1 conceptueel uitgewerkt en heeft een plaats gekregen binnen het totale framework. Dit model kan dienen om de term 'data op orde', die vaak in relatie tot life-cycle management gebruikt wordt, handen en voeten te geven.

In Figuur 2.2 is een beeld gegeven van de verschillende dimensies van kwaliteit. Deze zijn te ordenen en toe te kennen aan verschillende fasen van de levenscyclus en verschillende beslisvraagstukken. Dit model kan bijdragen aan het beter integreren van verschillende fasen in de levenscyclus. In Figuur 2.3 is een algemeen processchema voor het beoordelen van informatiekwaliteit gegeven.



Figuur 2.2. Kwaliteitsdimensies van data



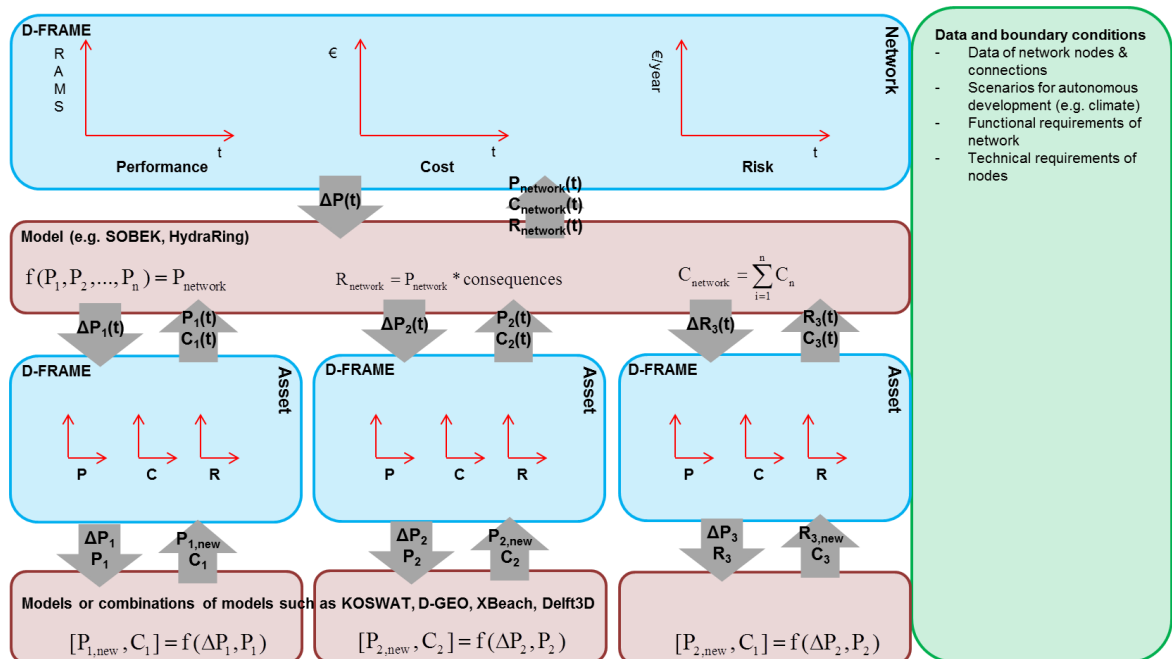
Figuur 2.3. Processchema voor het beoordelen van datakwaliteit

2.3 ROBAMCI tools

Blauwdruk voor kwantitatieve onderbouwing

Het derde onderdeel van het framework is een blauwdruk hoe life-cycle management (LCM) kwantitatief ondersteund kan worden. Dit is erop gericht om tools en modellen, die veelal al beschikbaar zijn, geïntegreerd inzetbaar te maken in een life-cycle management context. Figuur 2.4 geeft hier een eerste schets van.

Lifecycle analysis of network using D-FRAME



Figuur 2.4. Opzet life cycle management tool t.b.v. ROBAMCI fase 1.

Belangrijke element van deze blauwdruk is dat de indicatoren voor alle vraagstukken dezelfde zijn: prestaties, kosten en risico's. Verder is belangrijk dat de vraagstukken over de gehele levenscyclus worden bekeken. Dus voor alle indicatoren geldt dat de ontwikkeling in de tijd van belang is.

De blauwdruk beschrijft in hoofdlijn uit de integratie van drie analyses:

- technische toestand van infrastructuur / systeem en veroudering;
- risicoanalyse over de levenscyclus;
- econometrische analyse.

Toepassing in de cases

In fase 1 zijn de ROBAMCI tools toegepast in drie cases:

- Monitoring waterkering Noorderzijlvest (LiveDijk XL).
- Vervanging gemaal IJmuiden.
- Asset management Nederlandse kust.

3 Ontwikkelingen fase 2

In fase 2 zijn zowel het informatiekwaliteitsmodel als de ROBAMCI tools verder ontwikkeld. De tools zijn in een drietal cases toegepast, waarbij zoals verwacht voordeel behaald is door de generieke opzet. In de casus baggeren is het IKM toegepast, maar was dit niet erg succesvol, omdat de beschikbare data vrij snel werd geclassificeerd als onvoldoende van kwaliteit. Daarom wordt in het vervolg van ROBAMCI meer gefocust op het raadplegen van experts om informatie in te winnen, aangezien te verwachten is dat dit bij meer toekomstige cases het geval zal zijn.

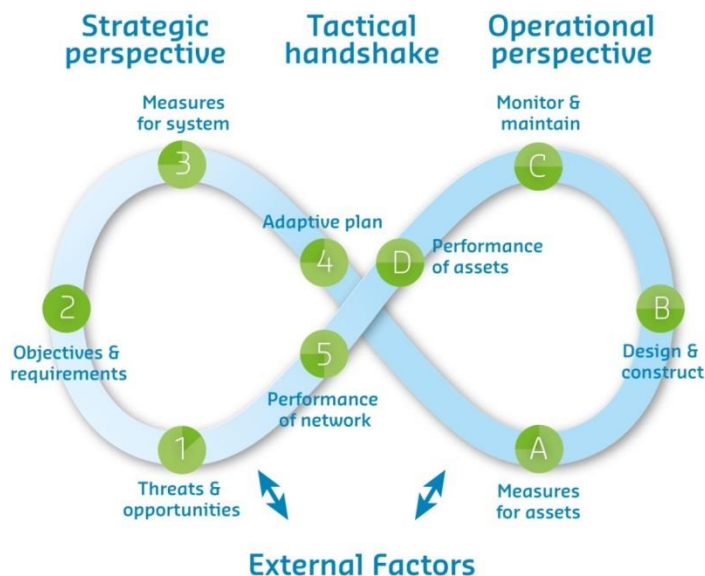
In fase 2 van ROBAMCI is de ontwikkeling van het Framework of Analysis voortgezet. Hierbij lag de focus op het verdiepen en met name ook het toepassen van het ontwikkelde framework. Daarnaast is in de plannen van alle cases zoveel mogelijk gepoogd het framework te volgen en de rekentools in te zetten.

De hoofdactiviteiten van fase 2 waren:

- Ontwikkelen van de ROBAMCI tools, en toepassing in cases.
- Ontwikkelen van het Informatiekwaliteitsmodel en toepassen in 1 van de cases.
- Aanscherpen van het framework.

3.1 Generiek raamwerk

Het conceptuele kader is (met name) op basis van literatuuronderzoek ontwikkeld in fase 1 van ROBAMCI. Het conceptuele kader is afdoende om de cases te positioneren en daarom is er niet veel extra aan ontwikkeld. Noemenswaardig om te melden is dat binnen het EU-project FAIR een vergelijkbaar schema is ontwikkeld (zie Figuur 3.1). Dit schema is specifiek gericht op (systemen van) waterkeringen, maar bevat veel van dezelfde ingrediënten en stappen.



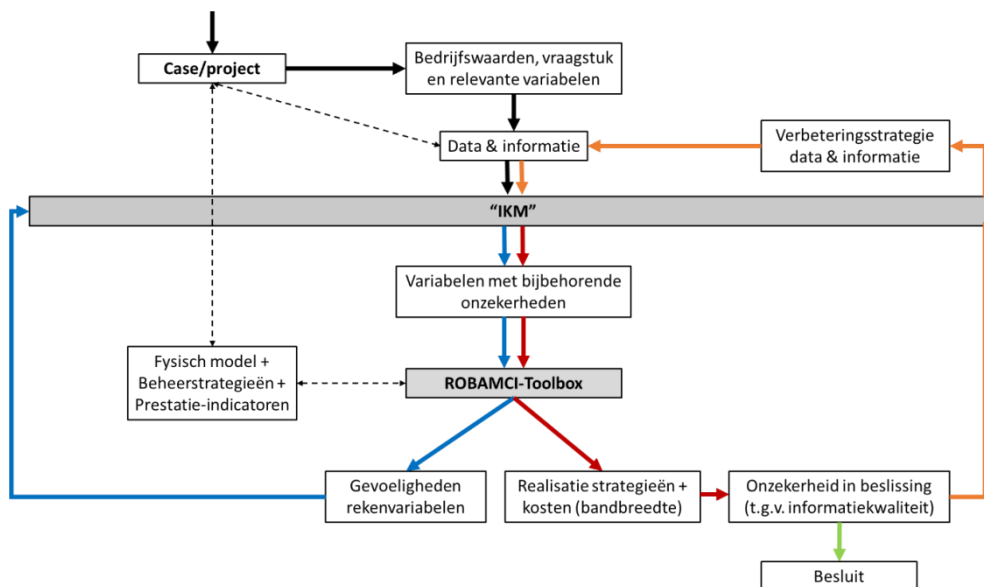
Figuur 3.1. Framework zoals ontwikkeld binnen EU Interreg FAIR. Zie voor meer informatie: www.northsearegion.eu/fair/

3.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel

In fase 1 is een inventarisatie gemaakt van de verschillende dimensies van informatiekwaliteit en is een start gemaakt met de ontwikkeling van een 'Informatiekwaliteitsmodel' (IKM). Er was bij afronding van die fase een literatuurstudie uitgevoerd met als resultaat een modelconcept. Er was nog geen sprake van een uitgewerkt model, concrete tools of een werkvorm. Ook heeft er in de eerste fase nog geen toepassing op praktische cases plaatsgevonden.

Ontwikkeling procesmodel

In fase 2 is het conceptmodel van fase 1 doorontwikkeld naar een uitgewerkt proces dat in combinatie met de ROBAMCI Tools in praktische cases kan worden toegepast. De nodige aandacht is besteed aan het positioneren van het IKM binnen ROBAMCI-casussen en het verbinden van het IKM met de ROBAMCI Tools. Uiteindelijk is het IKM gebruikt als een hulpmiddel om spreiding en onzekerheden in inputvariabelen van een fysisch model te kwalificeren en te kwantificeren als stochastische invoer. De ROBAMCI Tools kan een fysisch model hiermee probabilistisch doorrekenen. De inbedding van het IKM is weergegeven in Figuur 3.2.



Figuur 3.2. Positionering van het IKM binnen de ROBAMCI systematiek

In de praktijk zijn er grofweg 3 paden waarmee dit proces wordt doorlopen:

- Van case naar besluit



Bij dit pad wordt data en informatie beoordeeld met het IKM, vervolgens gebruikt in de ROBAMCI Tools, nader aangescherpt en vervolgens leidt deze tot een beslissing voor een assetmanagement vraagstuk.

- Van case naar aanscherping



In dit pad wordt de data en informatie direct als onvoldoende voor het besluit beoordeeld, deze moet eerst nader worden aangescherpt.

- Van case naar handelingsperspectief



In dit pad wordt data en informatie gebruikt als input voor een gevoeligheidsanalyse. Vervolgens kan aan de hand van de grootste gevoeligheden een handelingsperspectief worden afgeleid voor het inwinnen van waardevolle informatie.

Ondersteunende tools

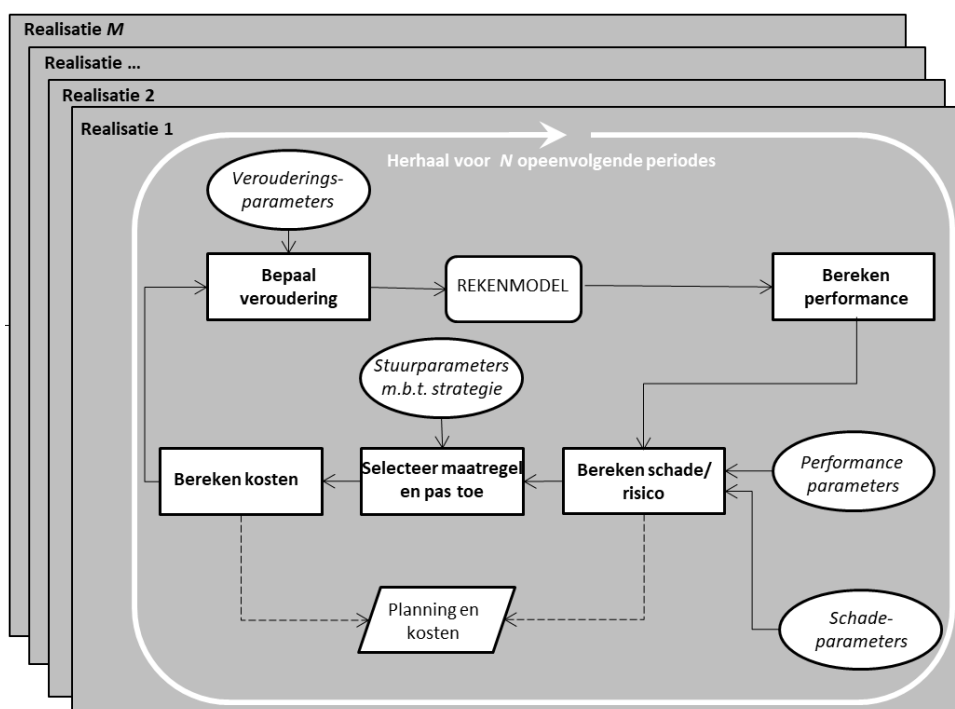
Als ondersteuning voor het IKM zijn verschillende tools ontwikkeld die de beoordeling van kwaliteit van data en informatie ondersteunen.

3.3 ROBAMCI tools

Het tweede onderdeel van het framework is het opzetten van een toolbox met generieke tools om vraagstukken met betrekking tot asset management kwantitatief te analyseren. In fase 1 is daarvoor een schematisch ontwerp gemaakt.

Probabilistische ToolKit (PTK)

Voor de bepaling van faalkansen in de ROBAMCI tools is de Probabilistic Toolkit (PTK) gebruikt. De PTK is een applicatie waarmee faalkansen kunnen worden berekend van constructies of systemen. Specifieke kracht van de PTK is dat probabilistische technieken makkelijk kunnen worden gebruikt in combinatie met een grenstoestandsfunctie die wordt beschreven door Eindige Elementen Modellen (EEM), bijvoorbeeld hydrologische of geotechnische rekenmodellen. De PTK bevat al technieken voor probabilistische berekeningen, en is ingericht op het eenvoudig maken en toevoegen van adapters voor nieuwe typen EEM modellen. Figuur 3.3 laat zien hoe de methodiek is ingevuld.



Figuur 3.3. Onderdeel ROBAMCI tools bedoeld om faalkansen te bepalen onder invloed van “veroudering” en bijsturing d.m.v. onderhouds- en beheermaatregelen

Tot op heden was het enkel mogelijk om aan de hand van kansverdelingen en een grenstoestandsfunctie (met daarin bijv. een analytische functie, of tabellen gebaseerd op een vooraf te draaien EEM-model) een momentane faalkans van een systeem te bepalen. Voor een asset management analyse is echter meer nodig, zo zijn de blokken “veroudering”, (beheers)kosten en risico toegevoegd. De term “veroudering” heeft betrekking op exogene invloeden die zorgen voor veranderingen in systeemprestaties zoals veroudering van onderdelen en toename van gebruik/belastingen.

Onderdelen ROBAMCI tools

Onderstaand worden de verschillende onderdelen van de ROBAMCI tools die zijn ontwikkeld in fase (1 en) 2 kort omschreven:

- Invoer
 - Bedrijfswaarden: bedrijfswaarden zijn de voor een beheerder belangrijkste waarden aan de hand waarvan hij een strategie en zijn prestaties beoordeelt.

Deze bedrijfswaarden kunnen worden ingevoerd/gekozen aan de hand van in- en uitvoerparameters van het model.

- Kansen: Aan de hand van een aantal events of kansverdelingen van de randvoorwaarden kan het model gedraaid worden.
- PTK
 - Model: het rekenmodel, in een aantal cases een SOBEK-model, wordt gebruikt om de systeemprestaties te berekenen. Deze is op generieke wijze gekoppeld aan de ROBAMCI tools. Belangrijk onderdeel gedurende de ontwikkeling was dat een SOBEK model vaak uit honderden knopen en takken bestaat, wat het toekennen en wijzigen van waarden aan variabelen in al die takken omslachtig maakt. En dit is nodig als er een strategie moet worden ingebracht of gewijzigd.
 - Veroudering: Een belangrijke aanpassing is dat de Probabilistic Toolkit in een 'loop' kan worden gedraaid. Hiermee kan een verloop van meerdere jaren worden doorgerekend. Door het sequentieel draaien van modellen kan eerst veroudering worden berekend, en vervolgens het effect op de prestatie (bijv. op basis van een SOBEK-model). In principe kan ieder willekeurig verouderingsmodel worden geïmplementeerd.
- Scripting/Beheertool
 - Beheerstrategie: De beheerstrategie omvat alle mogelijke ingrepen die als onderdeel van een strategie kunnen worden gedaan. Deze kunnen verschillende vormen hebben:
 - tijdsgebonden: bijv. "als $t=5$ voer actie X uit."
 - conditioneel op de prestatie: bijv. "als $P_f > 0.1$ voer actie Y uit."
 - conditioneel op een modelparameter: bijv. "als diepte op punt Sloot16_3.2km < 0.2 voer actie Z uit."
 De beheerstrategie wordt uitgevoerd met behulp van een aparte module die aansluit op de functionaliteiten van de PTK.
 - Schadefuncties en schade: om een risico te berekenen moeten ook schadefuncties worden toegevoegd, deze relateren modeluitvoer aan schade. Deze schade kan vervolgens worden berekend om zo samen met de ingevoerde kansen tot een risico te komen.
- Uitvoer
 - Beheerkosten: aan de hand van de uitgevoerde strategie en de genomen maatregelen worden beheerskosten berekend, dit is onderdeel van de Beheer Tool.
 - Risico: aan de hand van de schadeberekening en de ingevoerde kansen wordt een jaarlijks risico berekend.
 - Prestaties: ook kunnen diverse prestatie-indicatoren zoals faalkansen worden afgeleid uit de modelresultaten.

Toepassing in de cases

In fase 2 zijn de ROBAMCI tools toegepast in drie cases:

- Risicogestuurd rioolbeheer.
- Risicogestuurd baggeren.
- LCC gebaseerd beheren van regionale waterkeringen.

4 Ontwikkelingen fase 3

Ook in fase 3 zijn de ROBAMCI tools verder ontwikkeld. De focus lag op het generieker maken van de tools en het vereenvoudigen van het gebruik d.m.v. een gebruikersinterface voor gegevensinvoer. Daarnaast is het IKM verbeterd en concreter ingevuld dan in fase 2. Aan de hand van de ervaringen met de tools in fase 3 is een ontwerp gemaakt van het eindproduct.

4.1 Generiek raamwerk

In fase 3 is het conceptuele raamwerk opnieuw niet aangepast. Er is ook niet expliciet getoetst of het nog aansluit op de uitgevoerde cases in fase 2 en 3.

4.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel

Het kwantitatief onderbouwen van besluitvorming t.a.v. asset management wordt vaak gebaseerd op informatie afkomstig uit data. Een goed onderbouwde beslissing vereist kwalitatief goede data. Het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM) is ontwikkeld om te kunnen beoordelen of de data van voldoende kwaliteit is om een onderbouwde beslissing op te baseren. Met behulp van het IKM willen we het effect laten zien van verschillen in informatiebeschikbaarheid en kwaliteit op de besluitvorming rondom asset management.

Uitbreiding van het IKM

In fase 3 is het IKM verder ontwikkeld aan de hand van ervaringen uit de cases en is getracht het IKM gebruiksvriendelijker te maken. Als startpunt van de ontwikkeling van het IKM in fase 3 is een set vragen opgesteld waarop met behulp van het IKM zo objectief mogelijk antwoord gegeven moet kunnen worden:

- Helpt monitoring bij de besluitvorming over een AM vraagstuk?
- Wat zijn de belangrijkste stochasten voor het gemodelleerde systeemgedrag?
- Is er voldoende data beschikbaar om het vraagstuk te beantwoorden?
- 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?

Systematiek voor kwaliteitsoordeel

In fase 3 is de kern van het IKM hernoemd naar het Datakwaliteitsmodel (DKM), omdat dit de lading beter dekt. Het DKM is bedoeld om de onzekerheid in data op een uniforme manier inzichtelijk te maken en te koppelen aan een specifiek AM vraagstuk. Hiervoor is het nodig om van die data informatie te maken. Dit betekent dat de data in de context van de toepassing wordt beoordeeld. Met het DKM wordt gegeven deze context de kwaliteit van de data in beeld gebracht. Vervolgens kan de invloed van deze datakwaliteit op de prestatie van het gehele systeem inzichtelijk gemaakt worden met de ROBAMCI tools.

Het stappenplan voor het kwaliteitsoordeel bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Vaststellen wat de relevante variabelen zijn.
2. Per variabele beoordelen of er bruikbare data aanwezig is.
3. Beschikbare data visualiseren met behulp van een aantal eenvoudige methoden.

4. Formuleren van een kwaliteitsoordeel over de data op basis van de visualisatie. Hiermee wordt beoordeeld of de data betrouwbaar genoeg is om te gebruiken bij het vervolg.
5. Als er onvoldoende data beschikbaar is, of de data van onvoldoende kwaliteit zijn, dan wordt gebruik gemaakt van expert judgement.
6. Kwantificeren van de onzekerheid in de beschouwde parameter op basis van het kwaliteitsoordeel. Dit wordt gebruikt als input voor de berekeningen met de ROBAMCI tools.

Dit kwaliteitsoordeel is gebaseerd op de criteria uit het Framework Dijk informatie (Wojciechowska, Klerk, der Hammen & Pot, 2017) ³. Conform dit framework wordt een kwaliteitsoordeel over de data gegeven van 1 (slecht) tot 5 sterren (uitstekend).

Meerwaarde van combineren van expertmeningen en data

De kwaliteit van informatie bepaalt in belangrijke mate de betrouwbaarheid van de uitkomsten. Vaak wordt voor AM vraagstukken gebruik gemaakt van òf (meet)gegevens òf expertkennis, maar niet van allebei tegelijk. In het kader van ROBAMCI is in beeld gebracht wat de meerwaarde is van het gebruiken van een combinatie van expertkennis en data. Dit is uitgewerkt voor een voorbeeld m.b.t. maaiveldzettingen in Muziekwijk, Almere.

Het doel van het combineren van expertkennis en data is een betere inschatting te kunnen maken van de veroudering van de netwerken en de objecten daarin. Dit is gedaan door de expertverwachtingen van de zettingen in Muziekwijk te updaten met metingen van putdekselhoogten. De methode van updaten maakt gebruik van Bayesiaanse statistiek, waardoor expliciet rekening kan worden gehouden met onzekerheid in de beschikbare gegevens.

De uitgebreide rapportage van dit onderdeel is opgenomen in Bijlage C. Hieruit wordt geconcludeerd dat een goed geïnformeerd expertoordeel kan helpen om de kansverdeling van de maaiveldzettingen in Muziekwijk wat beter te laten passen bij de werkelijkheid. Als de expertmeningen veel minder betrouwbaar zijn, dan helpt meetdata juist om de geschatte zettingen veel beter in te schatten.

4.3 ROBAMCI tools

De grote uitdaging van ROBAMCI is om aan het eind van de rit een set generieke tools te hebben die helpen bij het oplossen van de diverse AM vraagstukken uit de GWW sector. Om met de tools zo generiek mogelijk te maken, zijn bij de start van fase 3 specificaties opgesteld waaraan de eindproducten van het framework of analysis moeten voldoen.

Uitbreiding van de tools

In de eerste plaats zijn de nieuwe cases gekoppeld aan de ROBAMCI tools. Waar nodig zijn 'stekkers' gemaakt om de nieuwe cases te laten aansluiten op de tools. Enkele onderdelen uit de ROBAMCI tools die nog case-specifiek waren opgezet voor de cases uit fase 2 zijn voorzover mogelijk generieker gemaakt. Dit is gedaan aan de hand van de eisen en wensen

³ Wojciechowska, K., Klerk, W., der Hammen, J., & Pot, R. (2017). Beoordelingsframework Dijkeninformatie. STOWA, RWS-WVL, HWBP.

die komen uit de cases in fase 3. Om de ROBAMCI tools operationeel te houden voor de cases in fase 3 zijn bugs verholpen en kleine verbeteringen doorgevoerd in de software code.

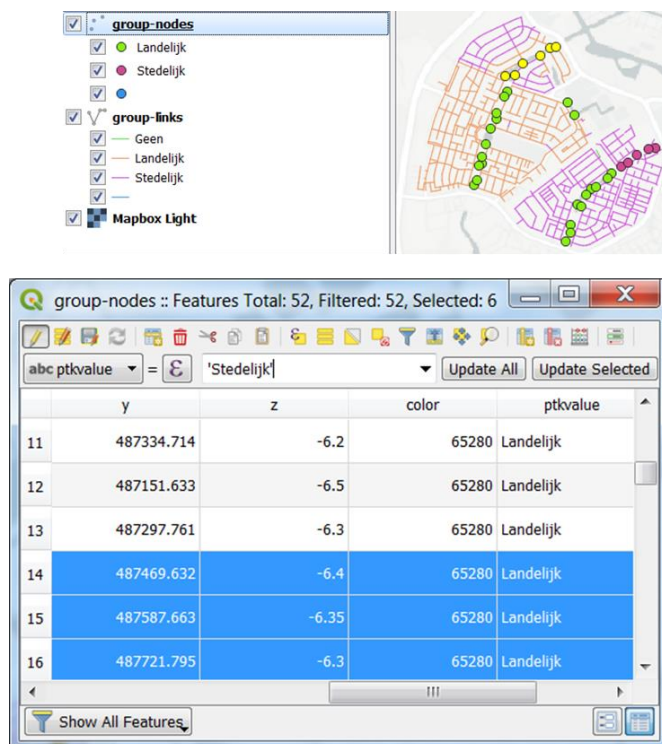
De ROBAMCI tools zijn op het onderdeel PTK (Probabilistische Toolkit) op verschillende facetten uitgebreid (o.a. tijd-as in risicobepaling en interventies in systeemtoestand tijdens berekening). Ook is een generieke schil gebouwd waarop nieuwe cases kunnen aansluiten. In principe kunnen alle numerieke modellen worden aangesloten. De aansluiting vindt op twee manieren plaats, namelijk de aansluiting van de invoer- en uitvoergegevens en de aansluiting van het rekenmodel.

Gebruikersinterface voor ruimtelijke gegevensinvoer

Aan het eind van fase 2 hadden de tools nog sterk het karakter van een expert tool. Daarom is in fase 3 de gebruiksvriendelijkheid verbeterd aan de hand van gebruikerservaringen. De focus lag hierbij op een handige manier om gegevens over het netwerk of object te kunnen invoeren in de ROBAMCI tools.

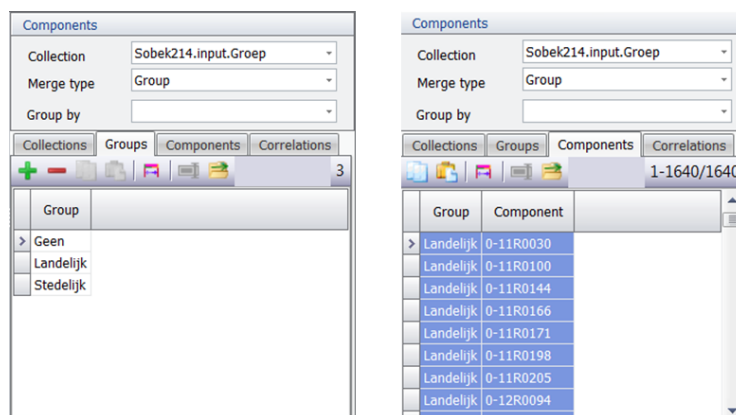
Voor de gebruikersinterface voor ruimtelijke gegevensinvoer is een Proof of concept ontwikkeld t.b.v. de case 'Vervuiling riolering Almere' uit fase 2. Omdat de wensen voor gegevensinvoer zeer case specifiek kunnen zijn, is gekozen voor een oplossing waarbij het netwerk of object eenvoudig geëxporteerd kan worden naar QGIS. Vervolgens kunnen in QGIS selecties gemaakt worden en kenmerken (bijv. verouderingssnelheden) toegevoegd worden om die daarna weer te exporteren naar de ROBAMCI tools.

Om de export en import te faciliteren zijn twee Python scripts ontwikkeld: *ptk_to_gis.py* en *gis_to_ptk.py*. De eerste transformeert de gegevens van PTK format naar GEOJSON, de tweede van GEOJSON terug naar PTK format. Een voorbeeld van de aanpassing van eigenschappen van systeemonderdelen in QGIS is weergegeven in Figuur 4.1.



Figuur 4.1. Voorbeeld gegevensbewerking in QGIS

Het stappenplan voor ruimtelijke gegevensinvoer via QGIS opgenomen in Bijlage B. De gepresenteerde aanpak werkt voor tweekoloms variabelen (object met eigenschap). In het uitgewerkte voorbeeld zijn dit rioolputten met als kenmerk landelijk of stedelijk, maar hier kan dus ook een ander type object met een bepaalde eigenschap gekozen worden (Figuur 4.2).



Figuur 4.2. Voorbeeld tweekoloms variabele (rioolput met kenmerk landelijk of stedelijk gebied)

Toepassing in de cases

De ROBAMCI tools zijn in fase 3 toegepast voor de volgende cases:

- Risico-gestuurd beheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen
- Regionale waterkering Rijnland (met verschillende functies en beheerders)

5 Ontwikkelingen fase 4

5.1 Generiek raamwerk

In fase 4 is het conceptuele raamwerk niet meer aangepast. Voor de uiteindelijke opzet van het raamwerk wordt verwezen naar Hoofdstuk 1.

5.2 Informatie-/datakwaliteitsmodel

Kosten-batenanalyse in het DKM

In fase 4 is het DKM uitgebreid met een module voor kosten-baten analyses (KBA). Hiermee kunnen verschillende strategieën voor aanvullend meten worden afgewogen, bijvoorbeeld het verzamelen van aanvullende informatie om de betrouwbaarheid van het oordeel te vergroten, het introduceren van een alternatieve inspectiemethode, of het uitvoeren van een ingreep in het systeem om het risico van falen te reduceren. Met een KBA wordt een kwantitatieve inschatting gemaakt van de kosten en de baten van een strategie. Hoe meer informatie bekend is, hoe beter de inschatting wordt.

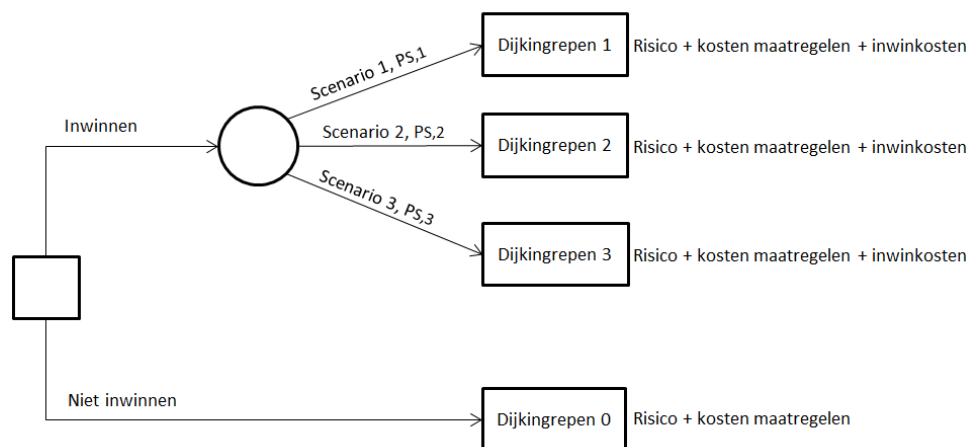
In het DKM is een systematiek uitgewerkt voor kosten-batenanalyses. Er worden drie mogelijke situaties onderscheiden die ten grondslag kunnen liggen aan de KBA om te bepalen of aanvullend meten de moeite loont:

1. Bepaling van meetstrategie t.b.v. afwegingen over het investeringsmoment. De afweging heeft betrekking op meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
2. Bepaling van meetstrategie t.b.v. afwegingen over toepassing van een strategie in de tijd. De afweging heeft betrekking op meerdere parameters die bepalend zijn voor de prestatie van de asset.
3. Optimalisatie van het uit te voeren onderzoek. In dit geval wordt slechts één parameter beschouwd.

Om de KBA te kunnen uitvoeren wordt voor de te beschouwen situatie een basisscenario geformuleerd. De alternatieven worden afgezet tegen dit basisscenario. De gedetailleerde uitwerking van de kosten-batenanalyse is afhankelijk van de case. Als bijvoorbeeld een (in tijd) gefaseerde strategie wordt afgewogen, kan tevens na elke stap de kosten-batenanalyse worden geactualiseerd op basis van nieuwe informatie. Hiermee wordt stapsgewijs de kosten-batenanalyse steeds kwantitatiever. Dat kan betekenen dat een vooraf bedachte strategie niet volledig wordt uitgevoerd, omdat de verwachte baten niet groot meer zijn.

Met behulp van een beslisboom (Figuur 5.1) kunnen meerdere scenario's worden afgewogen. Per scenario worden de verwachte baten (baten minus kosten) geschat, samen met de kans dat dit scenario voorkomt. Een beslisboom kan niet alleen gebruikt worden om afwegingen te maken over het juiste investeringsmoment (situatie 1), maar ook afwegingen over toepassing van een strategie in de tijd (situatie 2). De analyse wordt dan toegepast om de kosten over de beschouwde periode te bepalen. Dan moeten toekomstige kosten gecorrigeerd worden voor de inflatie. Dit wordt gedaan met behulp van jaarlijks equivalente kosten. De equivalente kosten worden bepaald door de totale kosten per strategie te delen door een annuïteitenfactor die

hoort bij de periode waarin de strategie wordt uitgevoerd. Hierbij moet rekening worden gehouden met de periode waarin de kosten worden gemaakt. Bij de economische optimalisatie van een enkele onderzoeksmethode (situatie 3) kan een zogenaamde Bayesiaanse analyse gebruikt worden. Een dergelijke analyse is te complex voor het kader van dit rapport. Informatie hierover en een voorbeeld van een toepassing kan worden gevonden in Schweckendieck (2014)⁴.



Figuur 5.1. Voorbeeld van een beslisboom (Wojciechowska, Klerk, der Hammen & Pot, 2017)⁵

Evaluatie van de toepassing van het DKM in de cases

De toepassing van het DKM in een drietal cases is geëvalueerd: (1) waterkering Noorderzijlvest, (2) regionale kering Rijnland, (3) baggeren Hollandse Delta, (4) toekomstbestendige Mark-Dintel-Vliet boezem (Brabantse Delta) en (5) flexibele maatregelen als aanvulling op regulier beheer (HDSR).

Voor de case **waterkering Noorderzijlvest** is het DKM toegepast op data van 4 raaien, uit het DDSC. De data bestaat uit stijghoogtemetingen op 4 locaties in de raai. Voor deze case is de stijghoogtedata beschouwd die de freatische lijn in de kering representeert. De beschouwde data krijgt een kwaliteitsoordeel van 2 sterren, omdat er is beperkte data per seizoen beschikbaar is, er zijn veel onverklaarbare uitschieters en er een beperkte ruimtelijke spreiding is verdeling is over het gebied. De score is 2 in plaats van 1 ster, omdat het mogelijk is om 3 seizoenen te distilleren uit de dataset en daardoor onderlinge vergelijking van seizoenen mogelijk is. Om de data daadwerkelijk te kunnen gebruiken, zou expert judgement toegevoegd moeten worden voor validatie.

De case **regionale kering Rijnland** heeft betrekking op een stuk kade die is afgekeurd i.v.m. onvoldoende sterkte. Om onderhoudsstrategieën met elkaar te kunnen vergelijken is een verouderingsmodel opgezet met bijbehorende kostenfunctie. In dit model is de zetting de enige tijdsafhankelijke variabele die invloed heeft op de macrostabiliteit binnenwaarts en de hoogtetoets. De zetting is met het DKM beschreven. Voor de beschrijving van de zetting is AHN data gebruikt, specifiek het verschil tussen AHN2 en AHN3 gedeeld door de tijdsperiode

⁴ Schweckendieck, T. (2014). On Reducing Piping Uncertainties. Delft: TU Delft.

⁵ Wojciechowska, K., Klerk, W., der Hammen, J., & Pot, R. (2017). Beoordelingsframework Dijkeninformatie. STOWA, RWS-WVL, HWBP.

tussen beide metingen. De AHN data krijgt een kwaliteitsscore van 2 sterren omdat de meetmethode een grote foutmarge heeft ten opzichte van de gemeten verschillen en er slechts 1 tijdreeks te maken valt van beide datasets. Hierdoor kunnen gemeten meetwaarden niet gevalideerd worden met andere data. De berekende gemiddelde zetting is voorgelegd aan experts van het hoogheemraadschap. Omdat zij de waarde herkennen uit de praktijk, wordt de definitieve kwaliteitsscore van de zettingsdata 3 sterren.

In de case **baggeren Hollandse Delta** is onderzocht of er minder kan worden gebaggerd binnen de randvoorwaarden die het waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer stellen. De bepalende parameter is de baggeraanwas per jaar per onderdeel van het watersysteem. Om de baggeraanwas te bepalen is een database met IDEOMA-baggerprofielen beschikbaar. Deze database bevat een groot aantal profielen opgebouwd uit peilingen van de vaste bodem en bovenkant sliblaag. De IDEOMA-profielen bleken niet bruikbaar voor het kwantificeren van de baggeraanwas per tijdseenheid per locatie, omdat er geen tijdreeksen voor een locatie in de database zitten en deze hier ook niet uit konden worden afgeleid. Daarom heeft de data uit de IDEOMA profielen een kwaliteitsscore van 1 ster gekregen en is voor de berekeningen met de ROBAMCI tools gebruik gemaakt van expert meningen om de baggeraanwas per jaar te bepalen. Wellicht is er een mogelijkheid om de datareeks toch om te zetten naar bruikbare tijdreeksen, zoals door Waterschap Hollandse Delta is gedaan. Daarvoor is de beschikbare data per watergang samengenomen, waarna trends zijn geanalyseerd in de baggeraanwas. Deze analyse is echter binnen de case zelf niet uitgevoerd.

In de case **Toekomstbestendige Mark-Dintel-Vliet boezem** is onderzocht welk onderhoud het beste toegepast kan worden voor het Mark-Dintel-Vliet systeem: baggeren of keringen ophogen. Daarbij is rekening gehouden met de functies water keren en scheepvaart. Er 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 heeft in het Mark-Dintel-Vliet systeem een achterstand in de baggeropgave. Met het DKM is in deze case gekeken naar de beschikbare data over de baggeraanwas. Dit bestaat uit multibeam data die jaarlijks wordt verzameld, maar niet elk jaar dezelfde trajecten beschouwd. Uit de metingen is de gemiddelde netto baggeraanwas per jaar bepaald. Hoervoor is het Mark-Dintel-Vliet systeem opgedeeld in 6 sectoren aan de hand van de karakteristieken van de watergangen. Van elke sector is een gemiddelde baggeraanwas per jaar bepaald en de ruimtelijke en temporele afwijking. De ruimtelijke variantie zegt wat over de variatie van de baggeraanwas in de betreffende sector. De temporele variantie zegt wat over de variatie van de baggeraanwas over de tijd. Dit is een goede maat voor de betrouwbaarheid van de bepaling van de baggeraanwas per jaar. Hoe lager deze is, des te kleiner de verschillen in baggeraanwas per jaar zijn. Vanwege de wisselende beschikbaarheid van data per sector heeft elke sector een eigen beoordeling voor de betrouwbaarheid gekregen. Het maken van een kosten baten analyse t.a.v. meer of beter meten was niet goed mogelijk, omdat de benodigde gegevens niet voorhanden waren.

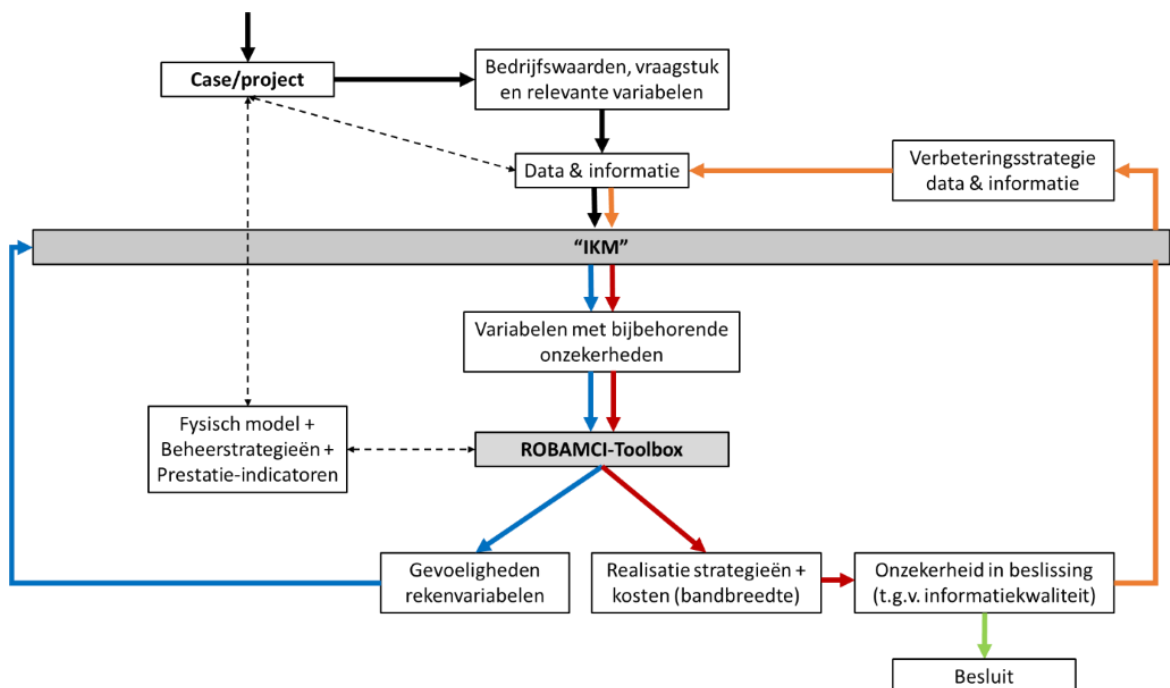
De case **Flexibele maatregelen als aanvulling op regulier beheer** (HDSR) beschouwt de mogelijke inzet van flexpompen en flexbarriers (om stukken polder onder water te zetten) in geval van extreme neerslag. Met het DKM is de betrouwbaarheid van de bestaande gemalen geanalyseerd. Voor de analyse zijn verschillende datareeksen gebruikt per gemaal (polderpeil, boezempeil, streefpeil, aanslagpeil gemaal, afslagpeil bij maalstop en draaiuren). Er bleven 15 gemalen over met voldoende data, zowel wat betreft hoeveelheid als betrouwbaarheid. Uit de

data is afgeleid wanneer een gemaal had moeten draaien, maar dit niet deed. Daaruit blijkt dat alle gemalen, met uitzondering van één, een betrouwbaarheid hebben van meer dan 99,99%. De betrouwbaarheid van de data wordt hoog ingeschat en de datakwaliteit is bepaald op 4 sterren. Het betrouwbaarheidsoordeel van de data kan nog verhoogd worden als de aan- en afslagpeilen van de gemalen nauwkeuriger bepaald worden. Omdat het onderzoek gericht was op de technische haalbaarheid en effectiviteit van verschillende maatregelen is aan kosten en baten van betere of andere data geen aandacht besteed.

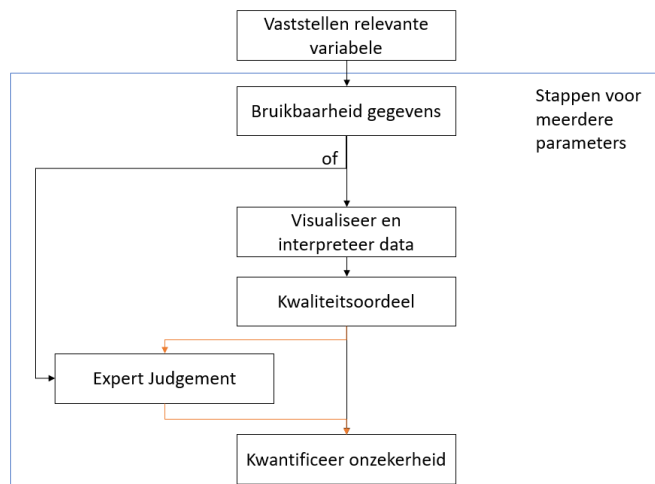
Werken met het DKM in de praktijk

Op basis van de ervaringen met het DKM in de cases is een kwalitatieve evaluatie gemaakt van de toepassing in de praktijk. Hieruit zijn een aantal handreikingen en tips voor toepassing van het DKM gedestilleerd die onderstaand zijn uitgewerkt.

De basis van het DKM vormt het proces dat is weergegeven in Figuur 5.2. De figuur laat zien hoe het IKM past binnen het gebruik van data en informatie in de besluitvorming. Hieruit blijkt dat onzekerheden in data en informatie doorwegen in onzekerheid van het besluit dat genomen wordt. In Figuur 5.3 is het proces vertaald in een aantal stappen die doorlopen moeten worden. Onder deze figuur zijn alle processtappen kort beschreven.



Figuur 5.2. Plaats van het IKM in gebruik van data en informatie voor besluitvorming



Figuur 5.3. Stappen in het 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 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 paragraaf 2.6. Het kwaliteitsoordeel wordt daarmee deels afhankelijk van de persoon die dit oordeel velt. 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.

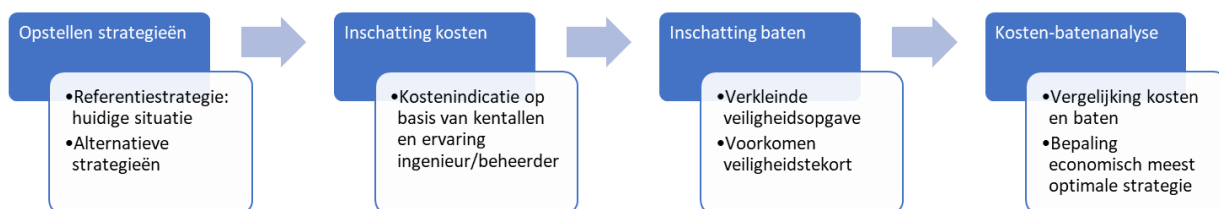
Stap 5 wordt alleen doorlopen indien er geen bruikbare data beschikbaar is, of indien de data van onvoldoende kwaliteit is. Bij een kwaliteitsoordeel van 1, 2 of 3 sterren wordt expert judgement gebruikt om de conclusie op basis van de data te onderbouwen.

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 paragraaf 2.6.

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 kostenbatanalyse (KBA) is onderdeel van het IKM. Hiermee kan bijv. 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 kostenbatanalyse zoals die is voorgesteld te ingewikkeld is. Daarom wordt voorgesteld de kostenbatanalyse nog aan te passen.

De hoofdlijn voor de uitwerking van de KBA is als volgt (Figuur 5.4). 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. Bijv. 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.

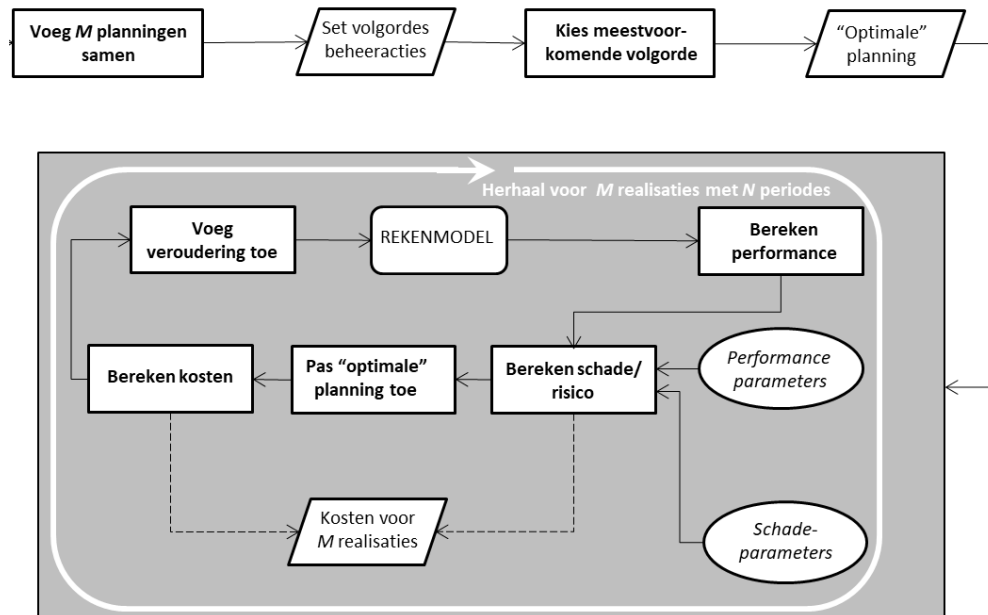


Figuur 5.4. Stroomschema kostenbatanalyse

5.3 ROBAMCI tools

Uitbreiding met planningstool

In fase 4 is aan de ROBAMCI tools een module toegevoegd om de optimale planningsvolgorde van beheeracties te kunnen bepalen (Figuur 5.5). De planningstool leidt, voor zover mogelijk, de optimale planningsvolgorde van de beheeracties af uit de berekende systeemprestaties en faalkansen van alle realisaties van “veroudering” inclusief onzekerheden. De planningstool is een aanvulling op de eerdere versie van de ROBAMCI tools waarin alleen faalkansen berekend werden om het functioneren van een systeem (watersysteem, dijk met achterliggend gebied, etc.) in de tijd te representeren. In deze faalkansen kan ook de invloed van beheeracties en onzekerheden in de veroudering en andere exogene invloeden meegenomen worden.



Figuur 5.5. Onderdeel van de ROBAMCI tools om “optimale” planning te bepalen inclusief kosten en risico's

De planningstool werkt als volgt. In de berekeningen voor achtereenvolgende jaren wordt een beheerstrategie toegepast om te blijven voldoen aan de vereiste systeemfunctie(s). De keuze om wel of geen maatregel toe te passen in een specifiek jaar gebeurt op basis van een vergelijking van berekende systeemprestaties en bepaalde stuurparameter(s) uit de beheerstrategie. Bijvoorbeeld de waterstand in relatie tot de dijkhoogte of de slibdikte waarbij gebaggerd moet worden. Het nemen van een maatregel heeft als modelmatige consequentie dat de bepalende modelparameter wordt aangepast. Bijvoorbeeld een groter doorstroomprofiel door verkleinen van de sliblaagdikte.

Gedurende de berekeningen worden alle uitgevoerde maatregelen vastgelegd inclusief tijdstip en kosten (incl. contante waarde). Deze lijst met ingrepen vormt de planning. Elke planning hoort specifiek bij de “film” van de systeemprestaties die is afgeleid met een specifieke modelberekening voor alle tijdstappen in de beschouwde levensduur van het systeem en de bijbehorende trekkingen uit de onzekere variabelen.

Doordat onzekerheden een rol spelen en deze als stochast in het model worden meegenomen, geeft dit verschillende planningen voor verschillende trekkingen van de onzekere variabelen. In de set planningen die daaruit ontstaat wordt gezocht naar de planningsvolgorde die over alle realisaties leidt tot een zo optimaal mogelijk resultaat voor de assetmanager. Een manier van wegen is te zorgen voor de minste ‘spijt’ bij de asset manager over genomen beheerbeslissingen. Voor zover mogelijk wordt ‘spijt’ vertaald naar kosten.

Idealiter zou voor het bepalen van de optimale planningsvolgorde een optimalisatie over alle realisaties van de onzekere variabelen uitgevoerd moeten worden. Dit is gezien de rekentijden (nog) niet haalbaar. Daarom wordt uit alle planningen een gemiddelde planning afgeleid. Deze planning wordt beschouwd als de “optimale” volgorde van maatregelen in de tijd.

Versnellen van berekeningen

Daarnaast zijn de ROBAMCI tools uitgebreid met twee opties die de benodigde rekentijden kunnen beperken:

- De mogelijkheid om de beheeracties te optimaliseren op basis van vooraf berekende **lookup tabellen** is toegevoegd. In deze tabel zijn alle combinaties van mogelijke systeemtoestanden en ingrepen vertegenwoordigd. Met behulp van Monte Carlo simulatie wordt hier een trekking uit gedaan waarna de faalkans en kosten bepaald kunnen worden. Hierdoor zijn in de optimalisatie van de beheerstrategie geen complete berekeningen meer nodig.
- De ROBAMCI tools bieden nu ook de mogelijkheid om de berekeningen uit te voeren op een **rekencluster**. Hiervoor worden alle rekenbestanden met de ROBAMCI tools klaargezet. Vervolgens kunnen de rekenbestanden geëxporteerd worden naar een rekencluster. Nadat daar de berekeningen zijn uitgevoerd, kunnen de resultaten weer geïmporteerd worden in de ROBAMCI tools voor visualisatie en analyse.

De eerste versnellingsoptie (lookup tabellen) is in alle cases van fase 4 succesvol toegepast, de tweede (rekencluster) is alleen gebruikt voor de case van HDSR (Flexibele maatregelen als aanvulling op regulier beheer).

Toepassing in de cases

De ROBAMCI tools zijn in fase 4 toegepast voor de volgende cases:

- Toekomstbestendige Mark-Dintel-Vliet boezem, Brabantse Delta.
- Utopia: de regenwaterrioolvrije stad, Almere.
- Flexibele maatregelen als aanvulling op regulier beheer, Stichtse Rijnlanden.

A Specificaties producten WP2

Memo

Aan
Team ROBAMCI WP2-fase 3

Datum	Aantal pagina's	
17 oktober 2017	3	
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Hans Korving	+31(0)88 335 7478	Hans.Korving@deltares.nl

Onderwerp
Vereisten en specificaties voor eindproducten van WP2 in fase 3

1. Inleiding

In WP2 wordt een generiek instrumentarium ontwikkeld voor asset management in de GWW sector. De ontwikkeling van het instrumentarium is gestoeld op de vragen die gesteld zijn/worden binnen de cases.

2. Doel en inhoud

Het doel van dit document is het kader te bieden waarbinnen de producten van WP2 in fase 3 ontwikkeld moeten worden. Het plaatst ook de producten van WP2 in het perspectief van ROBAMCI als geheel. Dit document is n.a.v. het overleg tussen Deltares en BZIM op 4 oktober 2017 aangepast.

Onderstaand worden voor de verschillende onderdelen van WP2 zo concreet mogelijk de vereisten en specificaties waaraan de eindproducten van fase 3 moeten voldoen beschreven. De eindproducten worden hier bij oplevering aan het eind van fase 3 ook aan getoetst. Om de ontwikkeling van de tools goed te monitoren, wordt ook een tussentijdse toetsing aan het eind 2017 gedaan.

3. Onderdelen WP2

Het instrumentarium voor asset management in de GWW sector bestaat uit twee onderdelen:

1. **Probabilistic Toolkit (PTK)**. Een generieke schil waarin fysieke modellen voor case-specifieke toepassingen gekoppeld kunnen worden om de consequenties van veroudering, kosten en onzekerheden voor de besluitvorming te kunnen doorrekenen.
2. **Informatiekwaliteitsmodel (IKM)**. Een tool waarmee de consequenties van beschikbaarheid en kwaliteit van informatie voor het levenscyclusbeheer in beeld gebracht kunnen worden.

4. Producten fase 3

In het kader van de PTK worden in fase 3 de volgende producten ontwikkeld:

- Koppeling cases fase 3 aan PTK.
- Proof of concept gebruikersinterface.

In het kader van het IKM worden in fase 3 de volgende producten ontwikkeld:

- Proof of concept IKM voor proces en data.
- Kostenbaten analyse in IKM.
- Proof of concept combineren expert kennis en data.

Uitgangspunt is dat na afronding van fase 3 een 80%-versie van de tools beschikbaar is.

6. Vereisten/specificaties producten PTK

Koppeling cases fase 3 aan PTK

- A.1. Het model van de case en de toolbox zijn gekoppeld.
- A.2. Het model van de case rekent in combinatie met de toolboxes levert de gewenste informatie.
- A.3. De toolbox is voldoende generiek om de nieuwe cases te koppelen.
- A.4. In de PTK kan informatie over de veroudering van het netwerk en/of de objecten worden opgenomen.
- A.5. Met de PTK kunnen asset management ingrepen op basis van 1 of meer ingrijpmaatstaven worden gesimuleerd.

Proof of concept¹ gebruikersinterface

- B.1. De gebruikersinterface vereenvoudigt gegevensinvoer van eigenschappen van objecten in netwerk.
- B.2. De gebruikersinterface wordt buiten de PTK als een losse tool ontwikkeld in (of gekoppeld aan) Q-GIS.
- B.3. Onderdeel van het proof of concept is de gegevensuitwisseling tussen de PTK en Q-GIS.
- B.4. Het proof of concept wordt uitgewerkt voor 1 casus.

5. Vereisten/specificaties producten IKM

Proof of concept¹ IKM voor proces en data

- C.1. Het IKM is tenminste een generalisatie van de case waterkeringen uit ROBAMCI fase 1. Waar nodig wordt het voor andere (typen) casussen aangevuld.
- C.2. De gegeneraliseerde aanpak wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen. Hiervoor zijn de casussen 'Risk based inspection, Oesterdam' en 'Regionaal systeem, Rijnland' gekozen.
- C.3. Met het IKM moeten tenminste de volgende vragen beantwoord kunnen worden:
 - Helpt monitoring bij de besluitvorming?
 - Wat zijn de belangrijkste stochasten?
 - Is er voldoende data beschikbaar?
 - Welke gegevens moeten aanvullend verzameld worden?
 - Welke kwaliteit van data is vereist?
 - Met welke kwaliteit kan er gemeten worden?
 - Hoe moet worden omgegaan met onvolledige datasets?
- C.4. Het IKM helpt asset managers bij de beoordeling van de kwaliteit van de beschikbare data.
- C.5. De procesaanpak draagt bij aan de bewustwording van asset managers over de invloed van informatiebeschikbaarheid en -kwaliteit op de besluitvorming.

¹ Een 'proof of concept' is een uitwerking van de aanpak en een concrete toepassing daarvan in een of meer cases.

Datum
17 oktober 2017

Pagina
3/3

- C.6. Het proof of concept van het IKM wordt zo goed mogelijk aangesloten op de bruikbaarheid in samenhang met de overige tools die zijn ontwikkeld binnen ROBAMCI. Dit moet zichtbaar worden gemaakt in een voorbeeld.
- C.7. De rol van het IKM binnen de ontwikkelde tools van ROBAMCI is duidelijk/eenduidig gedefinieerd.

Kostenbaten analyse in IKM

- D.1. De kostenbaten analyse is een geïstrumenteerd onderdeel van het IKM. D.w.z. dat aan de bepaling van kosten en baten en afwegingen daarover kwantitatieve invulling gegeven wordt.
- D.2. De kostenbaten analyse in het IKM helpt asset managers bij keuzes omtrent het verzamelen van aanvullende data.
- D.3. De kostenbaten analyse wordt concreet toegepast op tenminste 2 nieuwe casussen (bij voorkeur dezelfde als bij Proof of concept IKM).

Proof of concept¹ combineren expert kennis en data

- E.1. Het proof of concept laat zien wat de meerwaarde is van combineren van expertmeningen en data voor besluitvorming over asset management.
- E.2. Het proof of concept wordt uitgewerkt voor 1 casus.
- E.3. Het proof of concept sluit goed aan bij de andere onderdelen van het IKM.

Kopie aan
Frank den Heijer

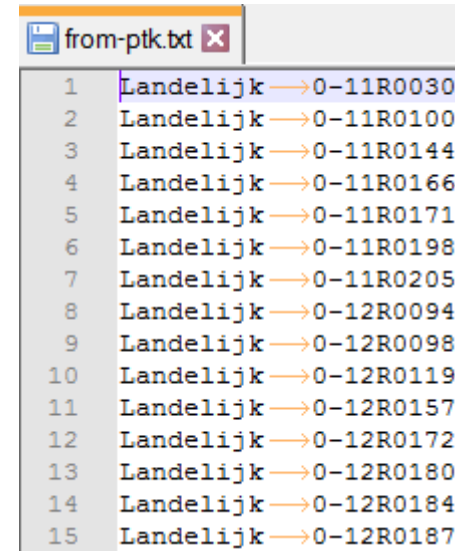
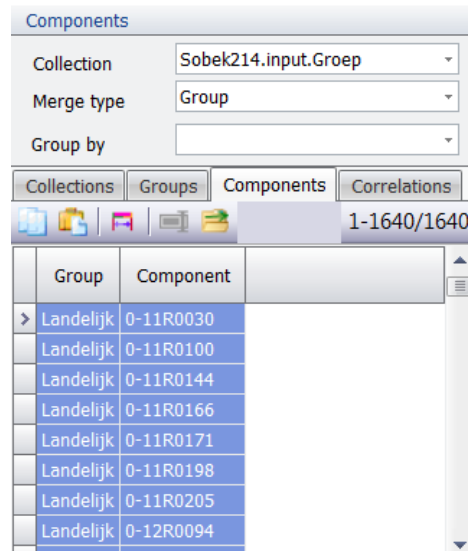
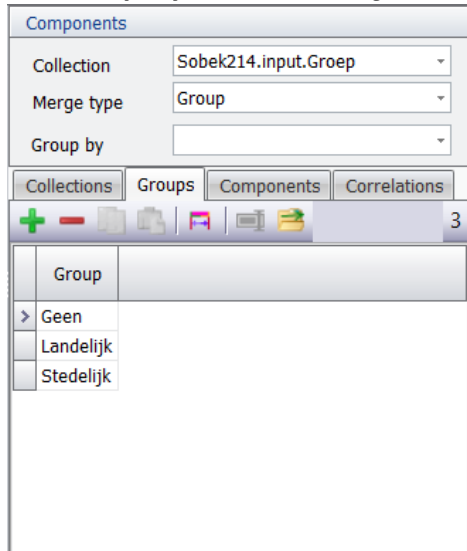
B QGIS tool voor gegevensinvoer

Editing Probabilistic Toolkit tables in QGIS

A workflow aided with two Python
scripts, `ptk_to_gis.py` and
`gis_to_ptk.py`

Selecting groups

- Under Models/Sobek214/Input parameters/Components we see 3 different possible groups.
- On the Components tab each component is assigned to a group.
- This assignment can be edited in the PTK, but we want to do it spatially in QGIS.
- Select all rows with Ctrl+A and click the copy button. Paste this into an empty text file *from-ptk.txt*.



Spatial groups

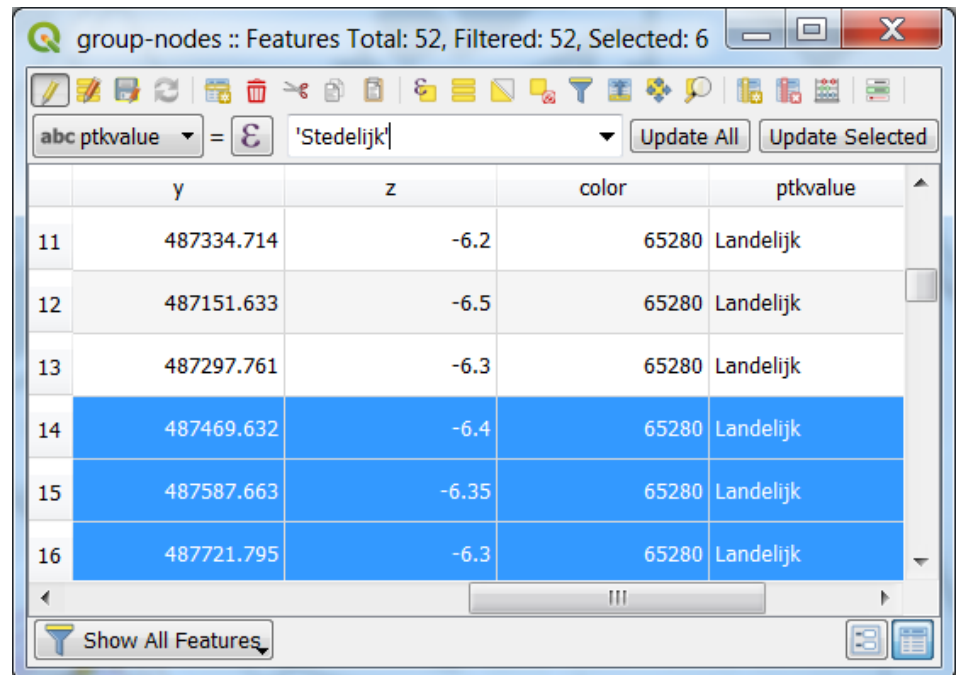
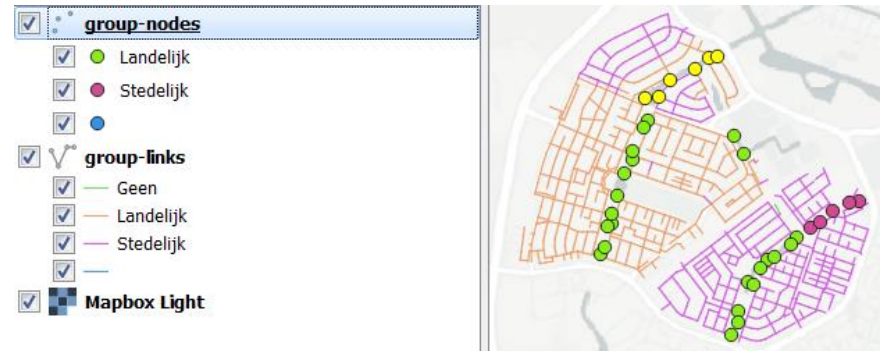
- To make a spatial vector file, we need an existing one of the network. For this we use the Sobek GIS export files, `network_n` and `network_l`, for nodes and links respectively.
- Then we run the *ptk_to_gis.py* script, for usage see:

```
λ python ptk_to_gis.py --help
Usage: ptk_to_gis.py [OPTIONS]

Options:
  --ptk TEXT          Path to the Probabilistic Toolkit copy/pasted table.
                      [default: from-ptk.txt]
  --nodes TEXT        Path to the Sobek network nodes in vector file format.
                      [default: network_n.geojson]
  --links TEXT        Path to the Sobek network links in vector file format.
                      [default: network_l.geojson]
  --ptk-nodes TEXT    Path to the output nodes GeoJSON with PTK data joined.
                      [default: ptk-nodes.geojson]
  --ptk-links TEXT    Path to the output links GeoJSON with PTK data joined.
                      [default: ptk-links.geojson]
  --help              Show this message and exit.
```


Editing in QGIS

- Select the layer you want to edit
- Select features to modify
- Open attribute table (F6)
- Start editing (Ctrl+E)
- Select *ptkvalue* in the expression bar
- Type the new value as expression
- Click *Update selected*
- Save edits (Ctrl+S)
- Stop editing (Ctrl+E)



Back to PTK (1)

- If the QGIS edits are made and saved, we transform our GeoJSON back into the PTK format with *gis_to_ptk.py*, for usage, see:

```
λ python gis_to_ptk.py --help
Usage: gis_to_ptk.py [OPTIONS]
```

Options:

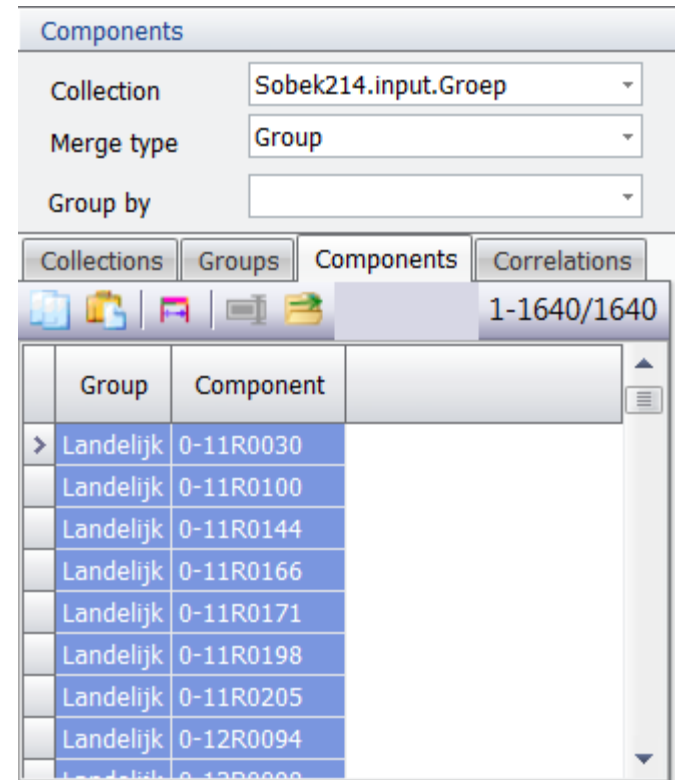
```
--ptk TEXT          Path to the original Probabilistic Toolkit table, used to
                    sort the output. [default: from-ptk.txt]
--ptk-nodes TEXT     Path to the edited nodes vector file with PTK data joined.
                    [default: ptk-nodes.geojson]
--ptk-links TEXT     Path to the edited links vector file with PTK data joined.
                    [default: ptk-links.geojson]
--output TEXT        Path to output text file which can be copy/pasted to the
                    PTK. [default: to-ptk.txt]
--help              Show this message and exit.
```

- Now do a comparison between from-ptk.txt and to-ptk.txt to see your edits, the right column needs to be identical, and have an equal number of rows:

40:Landelijk	0-23R0051	40:Landelijk	0-23R0051
41:Landelijk	0-23R0098	41:Stedelijk	0-23R0098
42:Landelijk	0-23R0099	42:Landelijk	0-23R0099
43:Landelijk	0-23R0122	43:Landelijk	0-23R0122
44:Landelijk	0-23R0165	44:Landelijk	0-23R0165
45:Landelijk	0-23R0186	45:Landelijk	0-23R0186
46:Landelijk	0-23R0306	46:Stedelijk	0-23R0306
47:Landelijk	0-23R0337	47:Stedelijk	0-23R0337
48:Landelijk	0-23R0342	48:Landelijk	0-23R0342

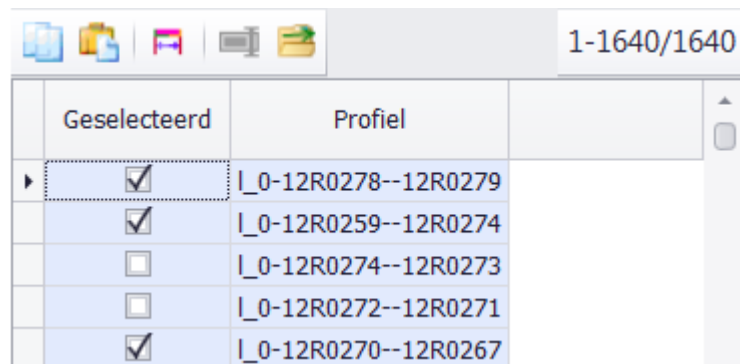
Back to PTK (2)

- In the same panel where you copied the data from, select all lines again with Ctrl+A.
- Copy the entire contents of to-ptk.txt into the clipboard.
- Paste into the PTK using the paste button. If the data is valid and the format is identical, this will work
- Check if your edits are reflected in the PTK



Other tables

- The demonstrated workflow above works the same for similar two column tables, such as the selection of profiles an action is performed on. The checkbox state is represented in text as either *Checked* or *Unchecked*.



The screenshot shows a software interface with a toolbar at the top containing icons for file operations, a printer, and a save icon. To the right of the toolbar is a status bar displaying '1-1640/1640'. Below the toolbar is a table with two columns: 'Geselecteerd' (Selected) and 'Profiel' (Profile). The table has five rows of data. The first row is highlighted with a blue background and contains a checked checkbox and the profile ID 'I_0-12R0278--12R0279'. The second row also has a checked checkbox and the profile ID 'I_0-12R0259--12R0274'. The third row has an unchecked checkbox and the profile ID 'I_0-12R0274--12R0273'. The fourth row has an unchecked checkbox and the profile ID 'I_0-12R0272--12R0271'. The fifth row has a checked checkbox and the profile ID 'I_0-12R0270--12R0267'. A vertical scrollbar is visible on the right side of the table.

Geselecteerd	Profiel
☒	I_0-12R0278--12R0279
☒	I_0-12R0259--12R0274
☐	I_0-12R0274--12R0273
☐	I_0-12R0272--12R0271
☒	I_0-12R0270--12R0267

C Combineren van expertkennis en data

Bayesian updating of subsidence distributions in Almere

Introduction

The rate of subsidence is an important factor in planning for sewer pipe maintenance. The subsidence rate varies spatially but is also uncertain. This uncertainty leads to more conservative maintenance decisions than may be necessary, because probabilities of high subsidence rates – which require more frequent maintenance – cannot be ruled out.

The subsidence rates can be estimated based on expert opinion, which is often done in practice. Knowledge of recent changes in ground elevation (by measuring at manholes) can lead those involved to have a ‘gut feeling’ about the rate of subsidence. In this study, we explore the use of Bayes theorem to update an uncertainty distribution based on expert opinion with measurements. We apply the method to the case of Almere, and specifically zoom in to one neighborhood known as Muziekwijk.

Method

The method of updating prior beliefs (distributions) with measurements is based on Bayes Theorem, described by Eq. (1).

$$P(X | data) = \frac{P(data | X)}{P(data)} P(X) \quad (1)$$

Where:

- X is a variable of interest, in our case the subsidence rate
- $P(X | data)$ is the **posterior distribution** of X , given the data
- $P(X)$ is the **prior distribution** of X
- $P(data | X)$ is the **likelihood** of the data, given X
- $P(data)$ is unknown, but is treated as a normalizing constant

Figure 1 illustrates the steps involved in applying Bayes Theorem to subsidence rate uncertainty in the Muziekwijk neighborhood of Almere. Each of the steps is described below.

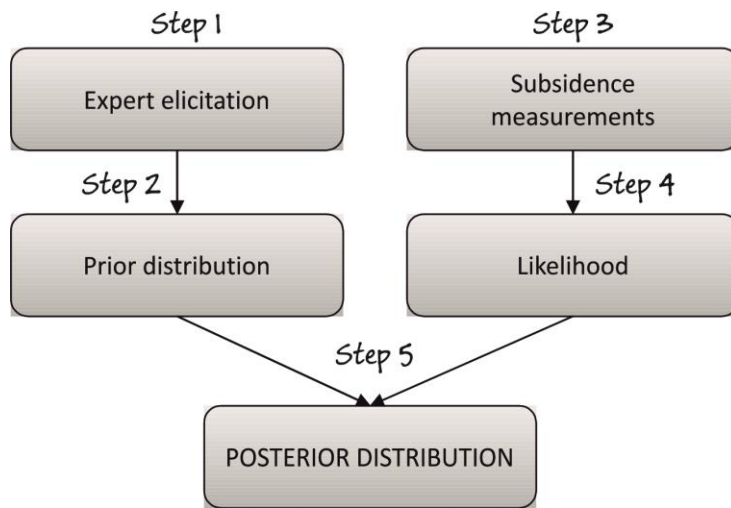


Figure 1 Flow chart of the methodology. Each step is described in the text.

Step 1: Expert elicitation

Experts were asked the following questions for the Muziekwijk in Almere:

- (1) What is the mean subsidence rate in Muziekwijk?
- (2) From a sample of 100 subsidence measurements, what would be the smallest subsidence rate you would expect from the highest 5 measurements?
- (3) The subsidence in Muziekwijk is not larger than _____?

The information we elicited from the answers was:

- (1) The mean of the subsidence distribution
- (2) The 95% quantile of the subsidence distribution
- (3) The 99.99% quantile of the subsidence distribution

We did not specifically ask the experts about the **type** of distribution they expected to represent the uncertainty in the subsidence rate, but we chose this based on their answers, and by the physical constraints of the problem (e.g. subsidence rates cannot be less than zero). In the case of subsidence rates in Muziekwijk, we chose an **exponential distribution**.

Step 2: Prior distribution

Once a distribution type is selected, the three known values of the distribution (the mean, the 95% and 99.99% quantiles) were used to fit the distribution parameter by minimizing the sum of the squared errors (SSE). The SSE for the case of the exponential distribution is given in Eq. (2), where the pairs $[x_i, p_i]$ are the quantiles and associated probabilities elicited from the experts

$$SSE = \sum p_i - (1 - e^{-\lambda x_i})^2 \quad (2)$$

In our case, this was, from the expert elicitation: [0.63, 5], [0.95, 15], [0.9999, 20]. Note that 0.63 is the probability associated with the mean, for the exponential distribution.

Once we have the distribution type and the fitted distribution parameter(s), the prior is then defined.

Figure 2 shows the fitted exponential CDF and the values derived from the expert elicitation. Figure 3 shows the exponential PDF.

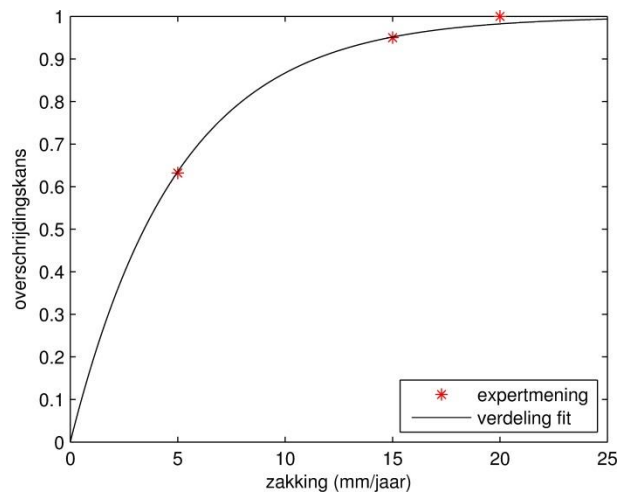


Figure 2 Prior distribution: Exponential CDF, fitted to the three expert elicited values (shown in red)

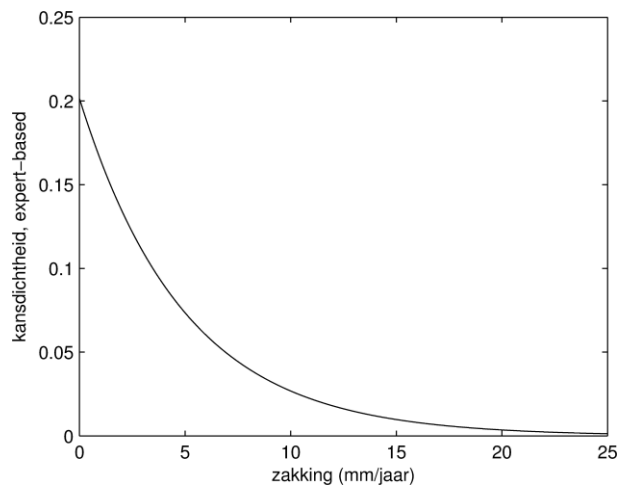


Figure 3 Prior density: Exponential PDF, fitted to the expert elicited values

Step 3: Subsidence measurements

The subsidence measurements were available for primarily for years between 2010 and 2015. We filtered data spatially so that the measurements all come from an area expected to be governed by the same distribution. Areas with excessive subsidence, or barely any subsidence were not included in the dataset.

The differences in subsidence values (at over 1000 manholes) were divided by the time between measurements to derive the subsidence rate. Negative subsidence values indicate areas that gained elevation, due to a project or intervention of some kind; no natural increase in land elevation is expected, and therefore negative values were removed from the dataset.

Figure 4 shows a normalized histogram of the subsidence measurements.

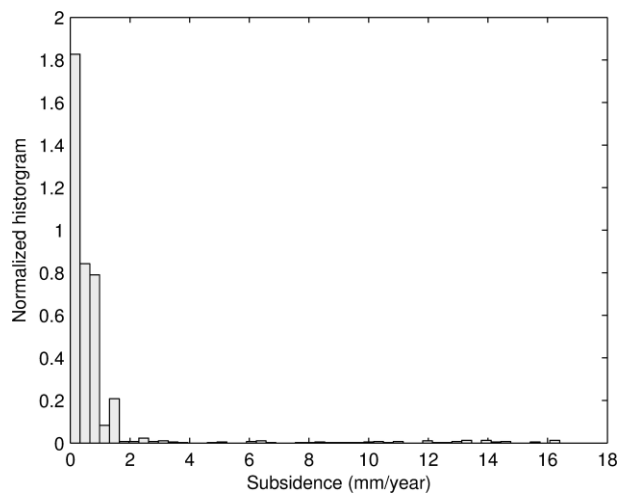


Figure 4 Normalized histogram of entire set of subsidence rates, based on measurements

Step 4: Likelihood

The likelihood of subsidence rates given the measurements was estimated by assuming an exponential distribution, and deriving the maximum likelihood parameter. The likelihood was calculated for each year in the record. The difference in likelihood and posterior between additional years proved to be relatively minimal, and is therefore presented below only for the entire set of data (rather than for individual years). Figure 5 shows a normalized histogram of the subsidence rate data, and the likelihood derived from the data. Figure 6 shows the prior density of the subsidence rates, based on expert opinion, together with the likelihood given the data. As seen, the prior is fairly uninformative (wide) compared with the likelihood.

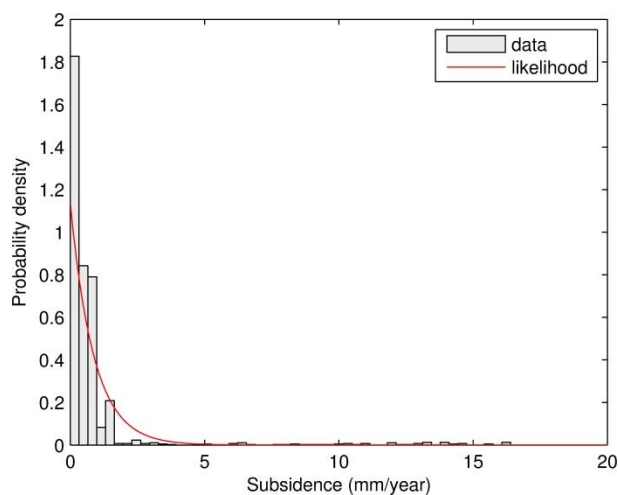


Figure 5 Histogram of subsidence rate data and the derived likelihood density

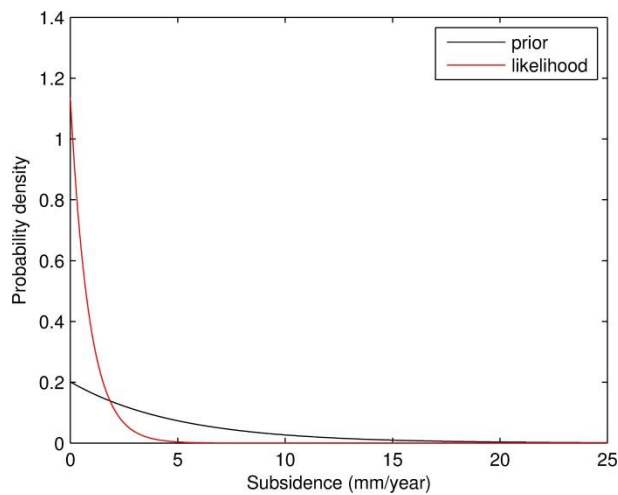


Figure 6 The expert-based prior density and the likelihood density

Step 5: Posterior distribution

The posterior distribution is derived according to Eq. (1), where $P(\text{data})$ is treated as a normalizing constant. We performed the multiplication of the prior and the likelihood numerically. Figure 7 shows the prior, likelihood, and posterior. Because the likelihood density is so much more informative than the prior, it dominates the posterior.

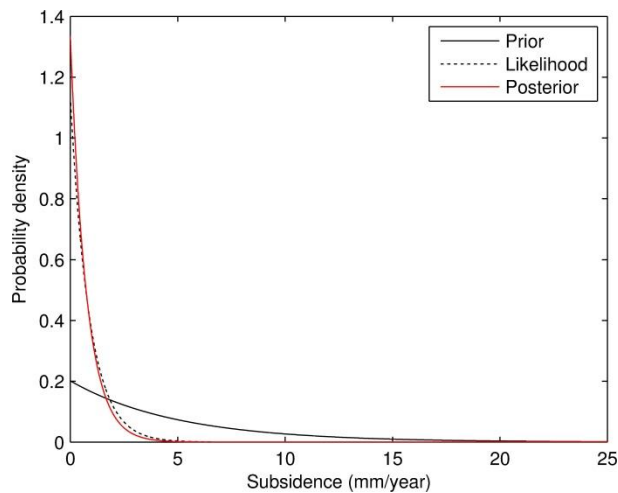


Figure 7 The expert-based prior density, the likelihood density, and the posterior density of the subsidence rate.

Discussion and Conclusion

For the case of Muziekwijk in Almere, the expert-based prior distribution contained much more uncertainty than the data indicated. This led to the data having an extreme impact on the posterior.

We considered a (fictitious) sharply-informed prior to see the impact on the posterior distribution. We chose in this case for a mean, 95%, and 99% quantile subsidence values of 0.2, 0.4, and 0.8 mm/year. Figure 8 shows that in this case the posterior closely aligns with the prior, because compared to the sharp prior, the likelihood is relatively uninformed.

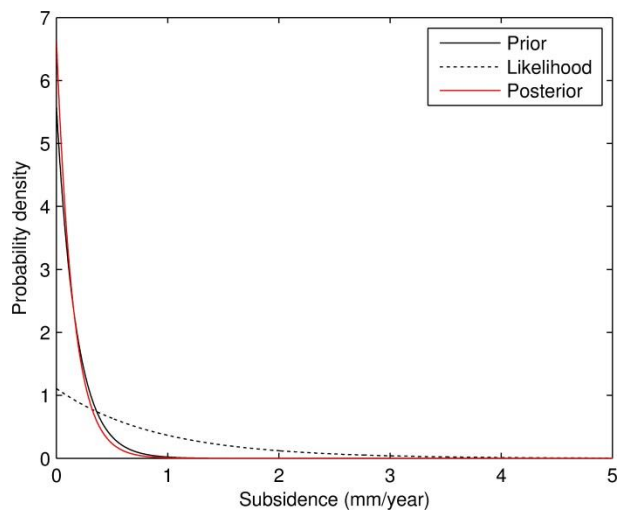


Figure 8 A (fictitious) sharply-informed prior density, the likelihood density, and the posterior density of the subsidence rate.

We conclude that highly-informed expert opinion can help tailor the distribution of subsidence rates obtained from data. And similarly, data can substantially improve less-informed expert opinion on subsidence rates. If the data shows a very narrow standard deviation (and therefore has a strong impact on the posterior subsidence distribution), but the experts do not have confidence in the measurements, we recommend exploring the inclusion of a variable representing measurement error.