Deltares

Enabling Delta Life

Veiligheid als Basis

2014 Monitoringsfilosofie, expertmeeting en organisatorische inbedding

Deltares

Veiligheid als Basis

2014 Monitoringsfilosofie, expertmeeting en organisatorische inbedding

Frans van den Berg
Andre Koelewijn

1209403-000

© Deltares, 2014, B

Deltares

Titel
Veiligheid als Basis

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
RWS-CIP	1209403-000	1209403-000-GEO-0003	29

Trefwoorden
Monitoring, waterkering, faalmechanisme, CIP, monitoringsfilosofie

Samenvatting
In 2014 is een vervolg gegeven op de monitoringsfilosofie zoals die in 2013 is ontwikkeld. Er is onder andere een expertmeeting georganiseerd met waterkeringbeheerders. In deze rapportage zijn de resultaten weergegeven van de expertmeeting. De resultaten van deze expertmeeting zijn opgenomen in de verkorte versie van de monitoringsfilosofie, die ook deel uitmaakt van deze rapportage.
Een uitkomst van de expertmeeting in 2013 is dat de organisatorische inbedding van de monitoring in de praktijk niet bevorderend is voor een optimale monitoring. Daarom is besloten een apart onderzoek te doen naar die organisatorische inbedding. Een onderdeel in deze rapportage is de resultaten van het onderzoek naar de organisatorische inbedding van de monitoringsfilosofie.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan gesteld worden dat waterkeringbeheerders tegen een groot aantal onzekerheden aanlopen bij hun taak als beheerder van waterkeringen. Deze onzekerheden kunnen zijn dat ze niet de juiste parameters kennen voor een toetsing, maar er kan ook een gebrek aan kennis op diverse vlakken zijn.

Door het monitoren kunnen deze onzekerheden verkleind worden. Er is echter een gebrek aan kennis op dit gebied. Kennis over hoe te monitoren (zoals beschreven in de eerder genoemde monitoringsfilosofie) dient daartoe beter ontsloten te worden.

Op basis van de gegeven input van de deelnemers aan het onderzoek kan gesteld worden dat de communicatie over het monitoren van waterkeringen via verschillende sporen kan lopen. Deze sporen zijn:

a) Algemene media en vakbladen
b) Via de websites
c) Via landelijk bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen

Behalve het aangeven van op welke manier de communicatie het beste kan verlopen is ook aangegeven hoe men het beste de informatie aantrekkelijk kan maken. Een van de belangrijkste aanbevelingen is het op een aantrekkelijk manier presenteren van voorbeelden waar monitoring op een juiste manier is gebruikt en wat het opgeleverd heeft.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	dec. 2014	Frans van den Berg		Bernard van der Kolk		Leo Voogt	
		Andre Koelewijn					

Status
definitief

3 Verkorte versie monitoringsfilosofie

In [van den Berg & Koelewijn, 2014] is een monitoringsfilosofie beschreven. Onder andere op basis van de expertmeeting is er een verkorte handzame versie vervaardigd met als achterliggend doel om deze handzame versie te verspreiden onder de relevante personen in de waterkeringswereld. Deze verkorte versie is als bijlage B opgenomen.

In deze memo wordt het belang van monitoring voor alle onderdelen van de dijkbeheercyclus uiteengezet. Monitoren wordt hierbij gedefinieerd als het geheel van tijdsafhankelijke, waar nodig herhaalde metingen aan een constructie en de verwerking daarvan, om indien nodig tot onderbouwde wijzigingen ten aanzien van de constructie, het beheer ervan of de monitoring zelf te kunnen besluiten.

Vervolgens wordt een stappenplan gegeven om op systematische wijze tot de opzet van een rationeel onderbouwde monitoring te komen waarbij de verzamelde meetgegevens ook daadwerkelijk gebruikt kunnen worden.

4 Organisatorische inbedding

4.1 Inleiding

Tijdens de expertmeeting “Veiligheid als Basis” in 2013 kwam naar voren dat de destijds in ontwikkeling zijnde monitoringsfilosofie “Veiligheid als Basis” vooral op technisch vlak plaatsvindt en dat de organisatorische inbedding te kort schiet.

Er zijn proefprojecten geweest waarbij zowel gefocust werd op de sensoren waarmee gemeten werd, als op de geïntegreerde visuele presentatie van de gemeten en berekende waarden bij het falen van een waterkering. De zorg bestaat dat zelfs als deze systemen na testen succesvol blijken te zijn, zij nog steeds niet toegepast zullen worden, omdat ze niet in de organisatorische context passen en/of in onvoldoende mate in behoefte voorzien van de waterschappen en/of RWS-diensten. Daarom is besloten naast het lopende onderzoek een verkenning uit te voeren naar deze context en behoeften waaraan de technische ontwikkeling moet voldoen om na ontwikkeling succesvol te kunnen worden toegepast in de dagelijkse praktijk van de RWS en de waterschappen.

Dit leidde tot het verzoek aan Deltares om een onderzoek voor te bereiden en te laten plaatsvinden met een aantal relevante betrokkenen afkomstig uit de waterschappen, RWS, markt en kennisinstellingen om vast te stellen aan welke organisatorische voorwaarden de systemen moeten voldoen om (op termijn) gebruikt te kunnen worden bij RWS en/of de waterschappen. De eisen voor het gebruik in de praktijk zullen afhankelijk zijn van de toepassing (o.a. ontwerp, realisatie, beheer en onderhoud, inspectie, toetsing, calamiteit).

4.2 Onderzoek

Het onderzoek naar de organisatorische inbedding van Veiligheid als basis (monitoringsfilosofie) heeft plaatsgevonden door middel van een enquête. De input is verkregen van medewerkers van negen waterschappen, het HWBP en diverse geledingen van RWS.

4.3 Resultaten

4.3.1 Deelnemers

Het grootste gedeelte van de respondenten is geen leidinggevende en heeft veel tot heel veel te maken met de veiligheid van de waterkeringen. Men weet over het algemeen goed wat er speelt op monitoringsgebied in Nederland. Het uitvoeren van monitoren vindt men belangrijk tot zeer belangrijk.

In de navolgende paragrafen is een overzicht gegeven van de ontvangen antwoorden op de verschillende vragen zoals aan de deelnemers is gesteld. Per paragraaf wordt de gestelde vraag uitgewerkt.

4.3.2 Vraag 1: Tegen welke problemen loopt u aan bij uw taak in waterkeren?

Afhankelijk van de verschillende functies komen de volgende relevante problemen tegen zoals hierna opgenomen. Op basis van de gegeven antwoorden zijn de problemen onderverdeeld in drie subcategorieën, te weten:

a) Monitoren/ parameters
b) Wet- en regelgeving, normering
c) Informatievoorziening

Monitoren/ parameters
De genoemde antwoorden van de deelnemers met betrekking tot monitoren en de parameters in relatie tot de sterkte van de waterkering en ondergrond zijn hieronder opgenomen:

- *Beoordelen monitoringsresultaten*
- *Geotechnische begeleiding grotendeels gefragmenteerd (intern en extern)*
- *Consequenties veranderend aanlegprofiel op stabiliteit*
- *Juistheid sterkteparameters*
- *Onzekerheden in ondergrondgegevens voor piping*
- *Opbouw van de waterkering, nieuwe kennis levert nieuwe vragen op.*
- *Wij weten te weinig van onze waterkeringen.*
- *Bij de beleidsontwikkeling zandige kust blijkt dat er weinig toepasbare onderzoeksgegevens zijn om de mogelijkheden van medegebruik op hun gevolgen voor kustontwikkeling te kaderen.*
- *Bij de ontwikkeling van het beheerdersoordeel blijkt dat de toepasbaarheid van beschikbare data soms moeilijk te duiden is. Daarnaast gaat het vaak om relatief korte tijdreeksen.*
- *De systeemsprong in waterveiligheid vraagt mogelijk om gewijzigde data en bredere toepassingsmogelijkheden.*

Uit de gegeven antwoorden blijkt dat men vaak te maken heeft met onzekerheden in onder andere de sterkte van de waterkering, de ondergrond en de parameters. In de ontwikkelde monitoringsfilosofie wordt gesteld dat monitoring dient te worden ingezet om specifieke vragen ten aanzien van de constructie te beantwoorden ter verkleining van onzekerheden.

Dit vergt uiteraard een goede analyse vooraf van het te verwachten gedrag van de constructie onder uiteenlopende omstandigheden. De inzet van instrumentatie (of visuele inspectie) dient hierop te worden gebaseerd. Als er geen vraag is, dan zou instrumentatie ook overbodig moeten zijn [Dunnicliff, 1993, 1999]. Wanneer er wel een vraag is, dan moet beoordeeld worden welke vorm van monitoring geschikt is om die vraag op een doelmatige wijze te beantwoorden.

Om de onzekerheden te verkleinen zal een weloverwogen monitoringsstrategie opgesteld dienen te worden. Daarbij gaat het ook over de interpretatie van data. Conform de monitoringsfilosofie dient al op voorhand een plan voor de verwerking van de meetgegevens opgesteld te worden. Hiermee wordt dat voorkomen dat men achteraf niet weet wat men met de gegevens moet.

Wet- en regelgeving, normering
De genoemde antwoorden op de vraag “Tegen welke problemen loopt u aan bij uw taak in waterkeren?”, waarbij een relatie gelegd kan worden met wet- en regelgeving en normering, zijn hieronder beschreven:

- *Te strenge normering in relatie tot bewezen sterkte*
- *Onderzoekvragen bij toetsen regionale keringen*

- *Regelgeving*
- *Door nieuwe schaden en onduidelijkheden over de normering is urgentie voor monitoring op de achtergrond aan het geraken*
- *Onduidelijkheid in veranderingen op waterkeringsveiligheidsgebied beleid (nieuwe normeringen en toetsing)*

Onzekerheden en onduidelijkheden in wet- en regelgeving en normering over de handhaving van de veiligheid van het waterkeren is ook een van de zaken waar men tegenaan loopt bij de taak van de deelnemers in relatie tot het handhaven van de veiligheid van de waterkeringen. Hierbij valt het op dat onduidelijke en te strenge regelgeving een belangrijk item is. In een vervolgonderzoek kan nagegaan worden wat er onduidelijk is aan de regelgeving en waarom deze te streng is en of dit zo is.

Informatievoorziening
De genoemde antwoorden op de vraag "Tegen welke problemen loopt u aan bij uw taak in waterkeren?", waarbij een relatie gelegd kan worden met informatievoorziening zijn hieronder beschreven.

Op basis van de gegeven antwoorden zijn de problemen verder onderverdeeld in drie subcategorieën, te weten:

a) Informeren is te kostbaar
b) De informatie is van slechte kwaliteit en/of onduidelijk
c) De informatie is onvoldoende?

Informeren is te kostbaar
- *Exacte toestand waterkering inzichtelijk maken is te kostbaar.*
- *Voor toetsen van keringen is veel informatie noodzakelijk, om deze continu en actueel in beeld te brengen is kostbaar en daarnaast is dit soms ook niet noodzakelijk.*
- *Gegevensbeheer en inrichting beheerregister vergen inspanningen.*

De informatie is van slechte kwaliteit en/of onduidelijk
- *Informatie vaak niet uniform aanwezig en herkomst is vaak onduidelijk.*
- *Kwaliteit van data van de interne organisatie*

De informatie is onvoldoende
- *Te weinig gegevens in het beheerregister, geen lange termijn meetgegevens, te weinig veldkennis van waterkeringen.*
- *Meting zakbaken tijdens aanleg waterkering verloopt zelden goed en blijven slechts beperkt tot de aanleg.*
- *Bij beheer en calamiteiten is ook actuele informatie nodig, die soms niet actueel voorhanden is. Monitoring t.b.v. beheer vindt plaats via jaarlijkse inspecties van keringen en evt. aanvullend bij droogte.*
- *Omgevingsaspecten, met name draagvlak perceeleigenaren bij slootverlegging.*
- *Onvoldoende informatie over de onderhoudstoestand van de waterkeringen.*
- *Losse initiatieven die binnen watersector worden opgestart als het gaat om LCC, monitoring, asset management, slimmere dijken et cetera.*

Behalve de twee voorgaande aspecten is er ook een gebrek aan duidelijke informatie en kan deze van slechte kwaliteit zijn, een zwak punt bij het handhaven van de veiligheid van het waterkeren. Het kostenaspect speelt hierbij ook een rol.

Bij het toepassen van de monitoringsfilosofie zal er ook een plan opgesteld dienen te worden van de verwerking van de meetgegevens. Dit was overigens al opgenomen in de voorliggende monitoringsfilosofie.

4.3.3 Vraag 2: Welke aspecten bij waterkeren vindt u belangrijk om te monitoren?
Een belangrijke vraag om te stellen is “welke aspecten vindt u belangrijk om te monitoren?”. Doel van deze vraag is om niet alleen inzicht te krijgen in een lijst van te monitoren parameters en aspecten, maar ook om meer inzicht te krijgen in de achterliggende gedachten.

Een overzicht van de antwoorden zijn hieronder genoemd. Aspecten die meerdere malen genoemd zijn, zijn slechts eenmaal opgenomen, maar zijn vervolgens voorzien van een *.
Bij de antwoorden is een clustering gemaakt in te monitoren parameters en kennis. Vervolgens zijn nog twee uitgebreider antwoorden opgenomen.

Te monitoren parameters

- *Hoogte middels hoogtetoets **
- *Stabiliteitstoets **
- *Hoogte maaiveld elke 3jr met grid van 0,25 bij 0,25m door laser altimetrie,*
- *Grondwaterspiegel en –spanning in de geometrie en in de loop van de tijd en gerelateerd aan de buitenwaterstand **
- *Stijghoogte in tussenzandlagen.*
- *Voldoende kennis van bodemopbouw want dat schat ik nu in op 60% van noodzakelijk niveau, (specifiek voor sec keringen langs boezem water inclusief tussen boezems)*
- *De “buiten” waterstanden reeksen over > 15jr, de veldinspecties (jaarlijks gerapporteerd en tijdens droogte, storm en zeer natte omstandigheden*
- *Huidige sterkte van de dijk en de daarbij behorende parameters.*
- *Alle aspecten die bijdragen aan het optimaliseren van aanleg, verbetering en beheer van waterkeringen. Dat kan zijn bekleding van taluds, grondwaterstanden, zettingen, kwel etc.*
- *Verplaatsingen van de keringen; tijdig kunnen ingrijpen om grotere maatregelen te voorkomen.*
- *Natte plekken; om te helpen bij het vinden van de oorzaak.*
- *Monitoring van de vooroever*
- *Sterkte en zetting voor ijken van de sterkte- en zettingsparameters.*
- *Vervormingen*
- *Grasmat*
- *Functievervulling en eventuele schades*
- *Degradatie asfaltbekleding*

Kennis

- *Staat van onderhoud middels visuele inspecties t.b.v. prioritering onderhoud en inzicht in trends*
- *Softe kant; hoe complex is de omgeving, welke stakeholders zijn er en wat is er technisch mogelijk in combinatie met de maatschappelijke overlast*
- *Calamiteiten/ crisisbeheersing, versterkingen, toetsing beheer en onderhoud(koppeling zorgplicht)*

Algemene opmerkingen:
"Huidige projecten qua monitoren van keringen richten zich mijns inziens nog steeds op kennisontwikkeling van faalmechanismen etc. Volgens mij zou je ook toe willen naar pragmatische methode van monitoren t.b.v. beheer en toetsen. Ik vraag me af of huidige methodieken zoals ook beschreven in het rapport [van den Berg & Koelewijn, 2014], dit kunnen. Veelal is het een zeer kostbare monitoringsinspanning."

"Om monitoring doelmatig in te kunnen zetten is het essentieel om eerst een goed beeld te hebben van de problematiek. Pas dan kan worden gekeken naar de opbrengst van monitoring en naar het type monitoring dat daarvoor het beste kan worden ingezet."

Vanuit de monitoringsfilosofie wordt aanbevolen om een duidelijke keuze te maken van de te monitoren parameters. Uit de identificatie van de maatgevende parameters, inclusief de positie, volgt nog niet direct welke parameters op welke plaats het beste gemonitord kunnen worden. Doorgaans is het namelijk efficiënter om een andere parameter op een andere plaats te meten, zonder dat dit wezenlijk ten koste gaat van de beoogde doelen van de monitoring.

Wanneer er meerdere maatgevende faalmechanismen zijn, dan is het noodzakelijk na te gaan in hoeverre deze op elkaar in werken. Hierdoor kan het mogelijk zijn dat met één instrument geen onderscheid gemaakt kan worden tussen het ene of het andere faalmechanisme, of dat juist kan worden vastgesteld welke van de twee zich voordoet maar is een tweede instrument nodig om de ernst te bepalen. Dit kan per situatie sterk verschillen.

4.3.4 Vraag 3: Hoe vindt u dat u het monitoren van de waterkeringen in Nederland verloopt?
Deze vraag was in algemene zin bedoeld. Een deel van de deelnemers hebben alleen het verloop van het monitoren van hun eigen Waterschap beschreven.

Een groot deel (70%) van de bevraagde personen geeft aan dat het monitoren van de Nederlandse waterkeringen slecht tot matig verloopt. Een klein aantal vond dat het monitoren goed verliep en een gedeelte van de bevraagde personen had hier geen mening over.

Door een aantal mensen werd een toelichting gegeven. Deze is hieronder opgenomen en geclusterd naar antwoord:

a) Te weinig aandacht voor monitoring
b) Te weinig gemonitord
c) Organisatorisch/ financieel

Te weinig aandacht voor monitoring

- *Dagboeken en registers zijn meestal slecht te vinden*
- *Veel te weinige personele capaciteit om van de bestaande data structureel gebruik te maken.*
- *Er is meer mogelijk dan waar tot nu toe gebruik van wordt gemaakt.*
- *Er is te weinig gestructureerde aandacht voor het inwinnen van meetdata van waterkeringen, er worden wel inspecties uitgevoerd maar deze zijn voornamelijk gericht op visuele inspectie en te weinig op het inwinnen van data.*
- *Te weinig aandacht voor binnen het waterschap. Er zou meer geld vrijgemaakt kunnen worden.*

Te weinig gemonitord

- *Vaak te weinig gegevens om een conclusie uit te trekken*
- *Te weinig locaties gemonitord*
- *Meestal alleen kortstondige metingen van grondwaterspiegels en –spanningen in plaats van goed beredeneerbare langdurige metingen.*
- *Er kan door monitoring meer winst / kennis worden verkregen over het gedrag van onze waterkeringen onder dagelijkse extreme omstandigheden. Vaak zijn metingen niet intensief genoeg dan wel te kort van duur om goede lering te trekken.*

Organisatorische/ financieel

- *Scheiding in de organisatie waardoor kennis onvoldoende is om een goed beeld van de kering te kunnen krijgen*
- *Er is al jaren een stichting IJkdijk/ Floodcontrol die een top 10 heeft van mogelijke monitoringstechnieken, maar er is geen actieve lobby vanuit de hoogste regionen om dit ook daadwerkelijk toe te gaan passen voor acceptabele kosten. Ook de open data, welke standaarden we willen gebruiken is nog niet volledig uitgekristalliseerd. Kortom, er is technisch veel mogelijk, organisatorisch kan de watersector nog behoorlijk met elkaar samen optrekken en elkaar helpen. Zowel op rijksniveau als bij de waterschappen en de lokale waterbeheerders. Dit geldt voor zowel Waterveiligheid, Waterkwantiteit als Waterveiligheid.*
- *Waken voor intensiteit monitoring, streven naar balans kosten/veiligheid*
- *Ik ervaar nog vaak dat monitoring wordt gezien als een 'middel voor alles' en dat de belangrijke stap van probleemanalyse wordt overgeslagen. Mede daardoor is de opbrengst van monitoring niet altijd optimaal.*

Uit de toelichtingen van de deelnemers valt op te maken dat er een aantal redenen zijn waarom zij het monitoren in Nederland niet goed vindt lopen. De meest genoemde reden zijn dat er te weinig aandacht voor monitoren is en dat er te weinig gemonitord wordt. Men geeft al aan dat er meer mogelijk is dan bekend. Hieruit zou kunnen volgen dat er meer aandacht nodig is voor het monitoren van waterkeringen en wat dit op zou leveren. In de volgende paragraaf zal hier nader op ingegaan worden.

4.3.5 Vraag 4: Hoe zou de communicatie over het belang van monitoren van waterkeringen het best kunnen verlopen?

Dit is een belangrijke vraag die de kern van het onderzoek raakt. Door de deelnemers aan het onderzoek zijn de onderstaande antwoorden gegeven op de vraag:

a) Via algemene media en vakbladen
b) Via de websites van de waterschappen die actief monitoren
c) Via landelijk bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen
d) Aantrekkelijk maken van de informatie

Via algemene media en vakbladen

- *Vakliteratuur*
- *Via vakbladen vanuit de waterschappen zelf.*

Via de websites

- *Website STOWA*
- *LinkedIngroep*

Via landelijke bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen

- *Vanuit landelijk programma richting regionale overheden.*
- *Via een op te zetten digitaal platform. Bijvoorbeeld zoals is opgericht tussen Waternet, Rijnland, HNK, DSR en Rivierenland. Ambitie is om dit landelijk uit te breiden met een digitale tak om kennis en ontwikkeling uit te wisselen. Eventueel aanhaken bij innovatietak nHWBP en Stowa.*
- *Via Stowa, maar dan moet het beter georganiseerd worden. Het is slechts een klein netwerk welke op de hoogte is van wat er speelt. Maak het overzichtelijk en helder en geen verkwisting.*
- *Als onderdeel van het WTI, in de vorm van bijvoorbeeld handreikingen.*
- *Onderwerp op landelijke toetsdag en inspectiedag.*
- *Landelijk gestructureerd.*
- *Via de bekende kennis en samenwerkingsinstituten als bijvoorbeeld STOWA, Waterschapshuis.*

Aantrekkelijk maken van de informatie

- *Voldoende "sexy" maken (trigger voor managers)*
- *Duidelijk voorbeelden laten zien waarin uitgerekend wordt wat de besparingen zijn en dit met veel poeha uitventen.*
- *Aan de hand van praktijkvoorbeelden het nut en effect van monitoring laten zien.*
- *Door het verplicht op te nemen.*
- *Via informatieve films van bijv. het STOWA*
- *Het is goed om per faalmechanisme (overlopen, overslag, stabiliteit, piping, et cetera) aan te geven welke monitoringsmethode en/of instrument (traditioneel en innovatief) kan worden ingezet, welke inzichten hiermee worden verkregen, welke kosten daaraan per kilometer waterkering zijn verbonden en of toepassing vooral relevant is voor de beheersituatie of ook al er sprake is van een verbeteringsopgave.*

Op basis van de gegeven input kan gesteld worden dat de communicatie over het monitoren van waterkeringen via verschillende sporen kan lopen. Deze sporen zijn:

a) Algemene media en vakbladen
b) Via de websites
c) Via landelijk bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen

Behalve het aangeven van op welke manier de communicatie het beste kan verlopen is ook aangegeven hoe men het beste de informatie aantrekkelijk kan maken. Een van de belangrijkste aanbevelingen is het op een aantrekkelijk manier presenteren van voorbeelden waar monitoring op een juiste manier is gebruikt en wat het opgeleverd heeft.

4.4 Conclusies en aanbeveling

<u>*Onzekerheden bij taakuitvoering*</u>

Op basis van dit onderzoek kan gesteld worden dat waterkeringbeheerders tegen een groot aantal onzekerheden aanlopen bij hun taak als beheerder van waterkeringen. Deze onzekerheden kunnen zijn dat ze niet de juiste parameters kennen voor een toetsing, maar kan ook een gebrek aan kennis op diverse vlakken zijn. Gebrek aan kennis van hoe de monitoring binnen de toetsing te gebruiken, tot gebrek aan kennis over de juiste regelgeving.

Door het monitoren kunnen deze onzekerheden verkleind worden. Er is echter een gebrek aan kennis op dit gebied, kennis over hoe te monitoren (zoals beschreven in de eerder genoemde monitoringsfilosofie) dient beter ontsloten te worden.

Onzekerheden en onduidelijkheden in wet- en regelgeving en normering
Onzekerheden en onduidelijkheden in wet- en regelgeving en normering over de handhaving van de veiligheid van het waterkeren is ook een van de zaken waar men tegenaan loopt bij de taak van de deelnemers in relatie tot het handhaven van de veiligheid van de waterkeringen. Hierbij valt het op dat onduidelijke en te strenge regelgeving een belangrijk item is. In een vervolgonderzoek kan nagegaan worden wat er onduidelijk is aan de regelgeving en waarom deze te streng is en of dit zo is.

Communicatie verbeteren
Op basis van de gegeven input van de respondenten kan gesteld worden dat de communicatie over het monitoren van waterkeringen via verschillende sporen kan lopen. Deze sporen zijn:

a) Algemene media en vakbladen
b) Via de websites
c) Via landelijk bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen

Behalve het aangeven van op welke manier de communicatie het beste kan verlopen is ook aangegeven hoe men het beste de informatie aantrekkelijk kan maken. Een van de belangrijkste aanbevelingen is het op een aantrekkelijk manier presenteren van voorbeelden waar monitoring op een juiste manier is gebruikt en wat het opgeleverd heeft.

Verder is aangeven dat door een aantal waterschappen al een digitaal platform is opgericht om kennis en ontwikkeling te delen. Dit is een zinnige ontwikkeling

Aanbevelingen
Het onderzoek naar de organisatorische inbedding van de monitoringsfilosofie kan aan kracht winnen door een aantal personen nader te bevragen, naar aanleiding van hun antwoorden. Hiermee kan een nadere verdieping worden bereikt. Denk hierbij aan het ontbreken van kennis voor het uitvoeren van monitoring. Wat zijn de achterliggende oorzaken en hoe kan dit opgelost worden? Hierbij zou de koppeling aan de systematische opzet van de monitoringsfilosofie een handreiking kunnen zijn.

Om nader inzicht te krijgen in de organisatorische inbedding van monitoring is het nuttig om een analyse en beschrijving van hoe monitoring is geregeld bij de diverse waterschappen en RWS uit te voeren. Een goede beschrijving hiervan kan onderlinge verschillen bij de Waterschappen blootleggen en als dit beeld bekend is kunnen er ook oplossingen voor de knelpunten bij de inbedding geven worden.

Aanvullend onderzoek naar hoe de communicatie beter kan verlopen over monitoren is nodig. Op dit moment worden er vele initiatieven ontwikkeld, maar deze zijn niet allemaal bekend en sommige overlopen elkaar ook. Elk waterschap heeft sleutelpersonen rondlopen die de visie over monitoren sterk kunnen beïnvloeden. Het strekt tot de aanbeveling om deze personen deel te laten deelnemen aan het digitale platform zoals hiervoor is beschreven.

5 Samenvatting en aanbevelingen

De afgelopen jaren is veel aandacht geweest voor het innovatief meten en monitoren van waterkeringen. In de markt bestaan zeer veel (nieuwe) meettechnieken om van alles en nog wat aan keringen te meten. Van sommige metingen is al heel duidelijk waarvoor en wanneer die metingen nuttig zijn en van een aantal anderen is dat nog onderwerp van onderzoek. Bij het onderzoeken van de mogelijkheden en onmogelijkheden van nieuwe meettechnieken werd steeds duidelijker dat behoefte is aan een afwegingskader wanneer, welke meettechniek moet worden toegepast en wanneer bepaalde technieken minder of niet nuttig zijn. Hierbij dienen bestaande – en misschien wel traditionele – technieken, zoals visuele inspectie ook te worden meegewogen.

Vorig jaar is in het kader van het corporate innovatieprogramma een sleutelrapport opgemaakt met daarin onder andere een strategie hoe een keringbeheerder tot een monitoringsfilosofie kan komen. Daarbij zijn ook al handreikingen gedaan voor de invulling door een overzicht te geven van de jongste ontwikkelingen en een overzicht van bestaande meettechnieken.

In 2014 zijn aanvullend verschillende activiteiten uitgevoerd in het kader van het CIP-onderdeel Veiligheid als basis. Het doel van deze activiteiten was gericht om een nadere verdieping te verkrijgen van het 'Veiligheid als basis'-rapport uit januari 2014 waarin opgenomen de monitoringsfilosofie en de proeftuinen [van den Berg & Koelewijn, 2014].

Hiertoe is mede op basis van een expertmeeting met de medewerkers van de werkgroep waterkeren van Rijkswaterstaat een verkorte versie van de monitoringsfilosofie opgesteld.

Door Deltares is een onderzoek uitgevoerd naar de organisatorische inbedding van de opgestelde monitoringsfilosofie. Als onderdeel van het Corporate Innovatie Programma (CIP) van Rijkswaterstaat heeft een team van Rijkswaterstaat en Deltares het innovatieve concept "monitoringsfilosofie" ontwikkeld. Toepassing van dit monitoringconcept kan een grote besparing opleveren.

De vraag is nu hoe dit concept van de monitoringsfilosofie kan landen in organisaties die verantwoordelijk zijn voor de waterkeringen: Rijkswaterstaat, Waterschappen en het HWBP. De sleutel is de aansluiting te vinden tussen de gevoelde problemen bij de doelgroep en de werking van het concept. Als dat helder is en helder gemaakt kan worden aan de doelgroep, zullen de leden van de doelgroep die het probleem voelen ook geïnteresseerd zijn om mee te denken over de praktische inbedding en uitwerking in hun organisaties.

Dit onderzoek is uitgevoerd door een groot aantal mensen van Rijkswaterstaat, de waterschappen en HWBP te bevragen, waarvan wij weten dat zij zicht hebben op de gewenste breedte binnen de monitoring. De belangrijkste uitkomsten van dit onderzoek zijn hierna beschreven:

Onzekerheden bij taakuitvoering
Op basis van dit onderzoek kan gesteld worden dat waterkeringbeheerders tegen een groot aantal onzekerheden aanlopen bij hun taak als beheerder van waterkeringen. Deze onzekerheden kunnen zijn dat ze niet de juiste parameters kennen voor een toetsing, maar kan ook een gebrek aan kennis op diverse vlakken zijn.

Door het monitoren kunnen deze onzekerheden verkleind worden. Er is echter een gebrek aan kennis op dit gebied, kennis over hoe te monitoren (zoals beschreven in de eerder genoemde monitoringsfilosofie) dient beter ontsloten te worden.

Onzekerheden en onduidelijkheden in wet- en regelgeving en normering
Onzekerheden en onduidelijkheden in wet- en regelgeving en normering over de handhaving van de veiligheid van het waterkeren is ook een van de zaken waar men tegenaan loopt bij de taak van de deelnemers in relatie tot het handhaven van de veiligheid van de waterkeringen. Hierbij valt het op dat onduidelijke en te strenge regelgeving een belangrijk item is. In een vervolgonderzoek kan nagegaan worden wat er onduidelijk is aan de regelgeving en waarom deze te streng is en of dit zo is.

Communicatie verbeteren
Op basis van de gegeven input van de respondenten kan gesteld worden dat de communicatie over het monitoren van waterkeringen via verschillende sporen kan lopen. Deze sporen zijn:

a) Algemene media en vakbladen
b) Via de websites
c) Via landelijk bijeenkomsten en werkgroepen; het onderling delen van ervaringen

Behalve het aangeven van op welke manier de communicatie het beste kan verlopen is ook aangegeven hoe men het beste de informatie aantrekkelijk kan maken. Een van de belangrijkste aanbevelingen is het op een aantrekkelijk manier presenteren van voorbeelden waar monitoring op een juiste manier is gebruikt en wat het opgeleverd heeft.

Verder is aangeven dat door een aantal waterschappen al een digitaal platform is opgericht om kennis en ontwikkeling te delen. Dit is een zinnige ontwikkeling

Een initiatief van de Stichting Flood Control IJkdijk waarin het gebruik van slimme dijken wordt gepromoot en gebruik wordt gemaakt van de ontwikkelde monitoringsfilosofie is op de volgende website beschikbaar: www.smartlevee.nl

Aanbevelingen
Het onderzoek naar de organisatorische inbedding van de monitoringsfilosofie kan aan kracht winnen door een aantal personen nader te bevragen, naar aanleiding van hun antwoorden. Hiermee kan een nadere verdieping worden bereikt. Denk hierbij aan het ontbreken van kennis voor het uitvoeren van monitoring. Wat zijn de achterliggende oorzaken en hoe kan dit opgelost worden? Hierbij zou de koppeling aan de systematische opzet van de monitoringsfilosofie een handreiking kunnen zijn.

Om nader inzicht te krijgen in de organisatorische inbedding van monitoring is het nuttig om een analyse en beschrijving van hoe monitoring is geregeld bij de diverse waterschappen en RWS uit te voeren. Een goede beschrijving hiervan kan onderlinge verschillen bij de Waterschappen blootleggen en als dit beeld bekend is kunnen er ook oplossingen voor de knelpunten bij de inbedding geven worden.

Aanvullend onderzoek naar hoe de communicatie beter kan verlopen over monitoren is nodig. Op dit moment worden er vele initiatieven ontwikkeld, maar deze zijn niet allemaal bekend en sommige overlopen elkaar ook. Elk waterschap heeft sleutelpersonen rondlopen die de visie

over monitoren sterk kunnen beïnvloeden. Het strekt tot de aanbeveling om deze personen deel te laten deelnemen aan het digitale platform zoals hiervoor is beschreven.

Om een nadere inbedding van de monitoringsfilosofie binnen RWS te kunnen bewerkstelligen wordt voorts voorgesteld om een cursus monitoringsfilosofie in het cursuspakket van RWS op te nemen.

Literatuur

[van den Berg & Koelewijn, 2014],
Berg, van den, F.P.W. & Koelewijn, A.R., *IV keten, Veiligheid als basis, Monitoringsfilosofie en proeftuinen,* rapportage 1207933-000-VEB-0001-v2, Deltares, Delft, januari 2014.

[Dunnicliff, 1993]
J. Dunnicliff, *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance,* Wiley, New York, 577 pp.

[Dunnicliff, 1999]
J. Dunnicliff, Systematic approach to planning monitoring programs using geotechnical instrumentation: an update. In: *Field measurements in geomechanics,* Leung, Tan & Phoon, editors, Balkema, Rotterdam, 1999, 19-30.

[Koelewijn, 2011]
Andre Koelewijn, *Verkennende notitie veiligheidsfilosofie KPP CIP SMIT deelproject "Veiligheid als basis: inbedding (dijk)meten en monitoring",* memo 1204819-003-VEB-0002-v01-m, Deltares, Delft, 29 november 2011.

A Verslag Expertmeeting

Deltares

Verslag

Datum verslag	Ons kenmerk	Project	Opgemaakt door
14 juli 2014	1209403-000-GEO-0002	1209403-000	Frans van den Berg

Datum bespreking	Aantal pagina's
10 juli 2014	2

Vergadering
Bijeenkomst CIP Veiligheid als basis, monitoringsfilosofie, Jaarbeurs, Utrecht

Aanwezig
Aart van Sloten (RWS-CIV), Andre Koelewijn (Deltares), Frans van den Berg (Deltares), Evert Bosvelt (RWS Noord-Nederland), Babette Lassing (RWS West-Nederland), Vera Konings (RWS-WVL), Harmen Faber (RWS Midden-Nederland), Jablof Vitting (RWS Noord-Nederland), Erik Stapper (West-Nederland), Marieke Hazelhoff (RWS-WVL)

Het onderstaande is een beknopt ververslag van de "monitoringsfilosofie"-bijeenkomst, zoals gehouden in het kader van het CIP- project: "Veiligheid als basis".

De bijeenkomst werd geopend door Aart van Sloten.
Andre Koelewijn heeft vervolgens een presentatie over de monitoringsfilosofie gegeven zoals die vorig jaar is opgeschreven in het CIP rapport.

Puntsgewijs zijn de verschillende opmerkingen van de deelnemers opgenomen:

Er hadden ook mensen van informatie voorziening uitgenodigd dienen te worden.

HF: Voorbeeld van Houtribdijk: Jarenlang bijstorten stenen in de teen van de oever indien nodig. Er is echter alleen bijgehouden hoeveel er gestort is en niet de locatie. Hierbij is men te kort geschoten t in de registratie, te oppervakkig.

Plaatje "winst door monitoren" past goed in actieve zorgplicht.

Iedere discipline heeft zijn eigen technieken die kun je niet zo maar overal gebruiken. (De gewenste nauwkeurigheid speelt hierbij een rol)

BL: wat voegt het voorbeeld met de piping grafiek toe aan mijn praktijk?

AS: Er is nog geen vraag van de beheerders gekomen om continu satellietmetingen te gebruiken.

HF: Voorbeeld van markermeerdijk met Hansje Brinker. Hier is veel van geleerd. Voorstel om Hansje Brinker op te nemen in de monitoringstrategie. Bij 3^{e} toetsronde is het gecombineerd met AHN en leverde goede resultaten op. De vraag naar satellietmetingen is er maar komt nog niet helemaal aan bij CIV. Er wordt een actievere opstelling van CIV gevraagd. AS is hier voorstander van, zeker gezien zijn rol bij innovatie.

Van grof naar fijn monitoren, is dat de bedoeling?

Deltares

Deltares

Datum	Ons kenmerk	Pagina
14 juli 2014	1209403-000-GEO-0002	2/2

Montoringsfilosofie is op zoek naar de informatie behoefte. Hoe gaan wij nu verder en wat willen we weten?

Dijken slijten ook. Het is dus zaak om tijdig je onderhoud te bepalen. Monitoring is nodig. Ook actueel veiligheidsvragen meenemen.

HF: Verwachtingswaarde kun je leren uit de waterkwaliteitsmetingen (is al jaren bekend) Aan het eind van het jaar kijken wat de waarden zijn en deze steeds met elkaar vergelijken of het binnen de verwachtingswaarden ligt. Dit is ook te automatiseren.

Voor kortdurende bouwprojecten zijn goedkope (schadegevoeligere) producten mogelijk. Voor het langdurig monitoren van dijken (20 a 30 jaar) hoge kwaliteit monitoringsapparatuur nodig.

BL: Werkgroep niet betrokken bij de vraagstelling voor het monitoringsrapport, is wel een gemis.

Deelnemers geven aan dat ze het rapport nog niet ontvangen hebben.

FvdB: Op basis van de input van deze bijeenkomst wordt een beknoptere versie van het rapport vervaardigd en rondgestuurd aan de werkgroep.

HF: Hoe verhoudt het rapport van de Stowa, "bouwstenen inspectie Pw10" zich tot deze rapportage. Zoek de combinatie. Hoe kan het gelinkt worden.

Als er nog vragen zijn dan via Aart of Joost, terugkoppelen aan de groep.

Informatie management is ook van belang. CIV wil fungeren als doorgeefluik.

Er is behoefte aan een geaccordeerd meetsysteem voor de dijken, (behoefte van kering beheerders) vergelijkbaar met waterschappen. Wat is mogelijk en wat niet. WVL en CIV gaan samen de dijkbeheerders helpen aan een geaccordeerd meetsysteem en de uitvoering van het meetsysteem.

Wanneer beter inzicht in de veiligheid van de dijken, dan levert dit geld op. Ook neemt betrouwbaarheid van de waterkeringen toe.

Hoe ga je om met de informatie die je krijgt. Je zult deze moeten beheren. Wie doet dat wat is het beleid.Afstemming hierover is ook van belang.

Kan er verder met de STOWA worden samengewerkt, met dit rapport in het achterhoofd. Dat zoekt Joost van der Hammen uit.

Kopie aan
Joost van der Hammen

B Verkorte versie monitoringsfilosofie

Monitoren van waterkeringen

Deze memo geeft een handreiking voor het monitoren van waterkeringen. Eerst wordt ingegaan op het waarom van monitoren, gevolgd door een stappenplan. Hierna volgen enkele definities en worden de stappen toegelicht. Daarna worden de lessen uit recente dijkmonitoringsprojecten beschreven en de aandachtspunten die daaruit volgden. De drie bijlagen bestaan uit een tabel die de toepassingsmogelijkheden van de meest gangbare meettechnieken beschrijft, een lijst van aanwijzingen voor het maken van duidelijke grafieken van meetwaarden en een korte lijst van voorkomende maar voorkombare valkuilen.

Waarom monitoren

De betrouwbaarheid van waterkeringen is van vitaal belang voor onze samenleving. Het is essentieel om te weten of een waterkering zijn primaire functie zal vervullen, óók onder de (zeldzame) maatgevende omstandigheden. Monitoren is daarbij een hulpmiddel dat op efficiënte wijze de kennis over het gedrag van de waterkering kan verbeteren.

Momenteel wordt monitoring vaak slechts in beperkte mate ingezet, bijvoorbeeld alleen voor onderhoudsvragen rond een sluisdeur, of voor de uitvoering van een dijkversterking . Door monitoringdata in alle fasen van de levenscyclus te benutten – ontwerp, aanleg, beheer en onderhoud, toetsing en calamiteitenbeheer – kunnen onzekerheden worden verkleind en kan er beter gebruik van worden gemaakt. Het draagt dan ook bij tot een afgewogen asset management.

Stappenplan voor de systematische opzet en uitvoering van monitoring

Het stappenplan bestaat uit de volgende onderdelen, die hierna uitgebreid worden toegelicht:

1. Verzamel en beoordeel informatie over de kering
    a. Baken het project af
    b. Verzamel historische gegevens
2. Identificeer de uiterste grenstoestanden
    a. Bepaal maatgevende belastingen
    b. Stel de maatgevende faalmechanismen vast
    c. Stel de maatgevende parameters vast
3. Kies een monitoringsstrategie
4. Leg het monitoringssysteem vast
    a. Kies de te monitoren parameters
    b. Bepaal de orde van grootte van veranderingen
    c. Stel waarschuwings- en alarmwaarden vast
    d. Bepaal de mogelijkheden om in te grijpen
    e. Registreer relevante omgevingsinvloeden
    f. Kies de locaties van de metingen
    g. Benoem specifieke doel(en) van elk instrument
    h. Stel verwachtings-, waarschuwings- en alarmwaarden vast per instrument
5. Leg de eisen aan de instrumenten vast
    a. Beschrijf de functionele eisen aan te selecteren instrumenten
    b. Stel procedures op om te kunnen bepalen of instrumenten goed functioneren
    c. Plan regelmatige kalibratie en onderhoud
    d. Plan installeren van de instrumenten
    e. Stel aankoopspecificaties op voor de instrumenten

6. Plan hoe om te gaan met de metingen
    a. Plan de verzameling van meetgegevens
    b. Plan de verwerking van meetgegevens
    c. Leg verantwoordelijkheden vast
7. Rond het ontwerp af
    a. Stel de (voorlopige) begroting op *en ga desnoods één of meer stappen terug*
    b. Leg het systeem vast in een toegankelijk ontwerpverslag
8. Installeer het monitoringssysteem en zorg dat het benut wordt
9. Herzie het monitoringssysteem regelmatig

Definitie en scope

Monitoren is hier gedefinieerd als het geheel van tijdsafhankelijke, waar nodig herhaalde metingen aan een constructie én de verwerking daarvan, om onderbouwd tot wijzigingen ten aanzien van de constructie, het beheer ervan of de monitoring zelf te kunnen besluiten. Deze definitie is bewust ruim gekozen, zodat bijvoorbeeld visuele inspecties[1] en grondonderzoek[2] er ook onder vallen. Monitoren is nadrukkelijk niet beperkt tot alleen instrumentatie, omdat dit zou leiden tot een inefficiënte beperking van de mogelijkheden om bruikbare waarnemingen te doen.

1. Verzamel en beoordeel informatie over de kering

a. Baken het project af

De projectafbakening betreft zowel de ruimtelijke begrenzing als de afbakening in de tijd, het budget en de reikwijdte binnen de organisatie. De waarde van deze stap is dat alle betrokkenen van hetzelfde uitgaan.

Monitoring vormt een aspect bij alle onderdelen van de dijkbeheercyclus, weergegeven in figuur 1.

b. Verzamel historische gegevens

Relevante historische gegevens betreffen ontwerpdocumenten, as built-tekeningen, eerdere waarnemingen, resultaten van veld- en laboratoriumonderzoek, historisch kaartmateriaal en gegevens over bijzondere gebeurtenissen in het verleden, zoals dijkdoorbraken. Hierbij moet rekening worden gehouden met de beperkte geldigheidsduur van veel gegevens.

2. Identificeer de uiterste grenstoestanden

De uiterste grenstoestanden bepalen welke omstandigheden de kering moet kunnen weerstaan., dit komt uiteindelijk neer op een sterkte-eis. Overwogen kan worden om daarnaast rekening te houden met vervormingen en zodoende ook rekening te houden met de bruikbaarheidsgrenstoestanden.

a. Bepaal maatgevende belastingen

De maatgevende belastingen zijn over het algemeen vastgelegd als het Maatgevend Hoogwater (MHW) en situaties als Extreme Neerslag. Daarnaast zijn er belastingen als een verkeersbelasting, het polderpeil en eventuele belastingen die samenhangen met een bijzondere situatie ter plaatse.

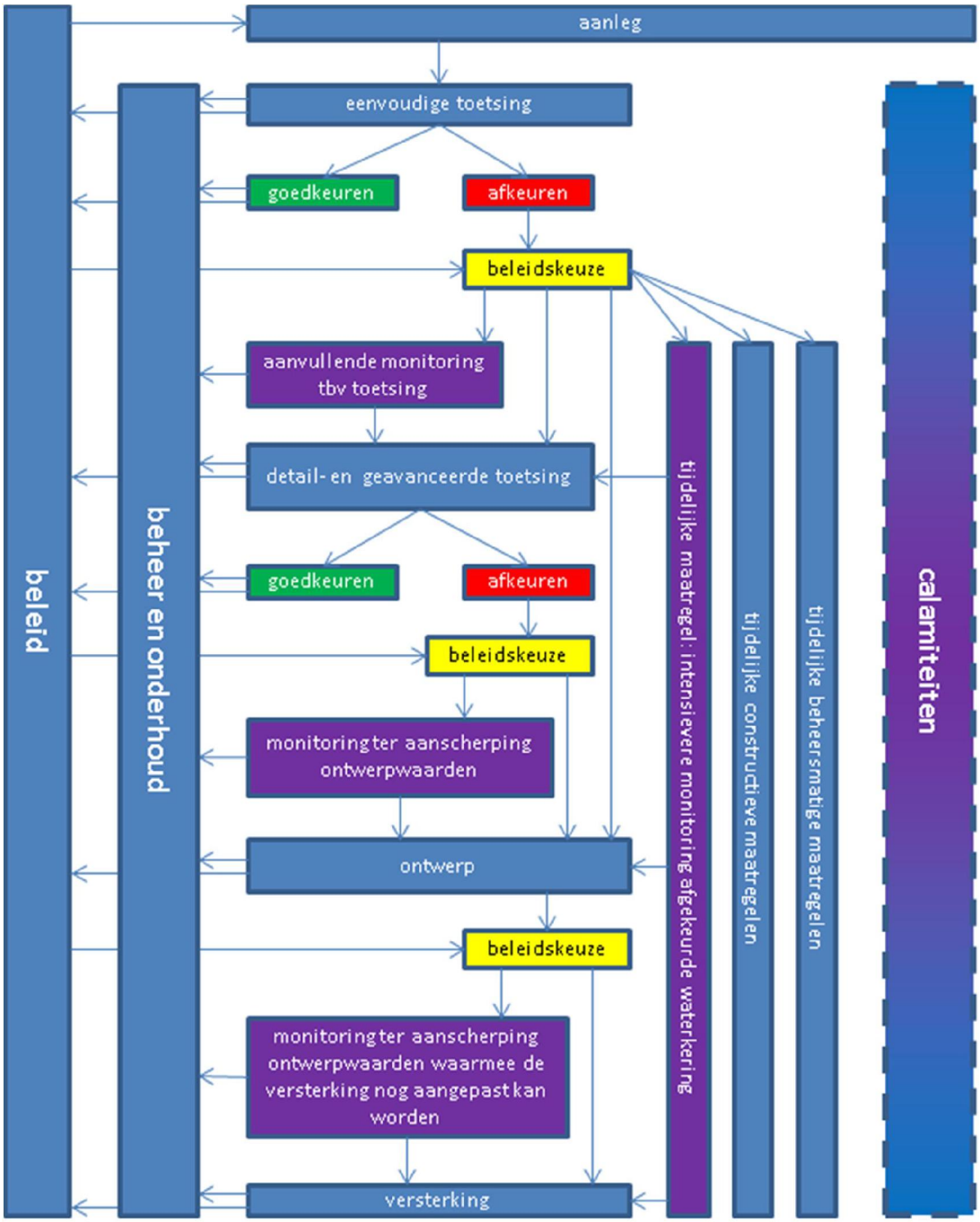
b. Stel de maatgevende faalmechanismen vast

Een waterkering kan alleen bezwijken door een faalmechanisme: een keten van gebeurtenissen die leidt tot verlies van de waterkerende functie. Overigens kan er ook al aanzienlijke schade optreden wanneer deze keten zich niet geheel doorzet. Omwille van bijvoorbeeld de ontsluitingsfunctie worden dan ook vaak aanvullende eisen gesteld die bijvoorbeeld scheurvorming in een weg op de dijk moeten tegengaan.

---

[1] *Visuele inspectie: observaties met behulp van het menselijk oog, gekoppeld aan een adequaat getraind brein.*

[2] *Grondonderzoek hoeft doorgaans niet herhaald te worden, behalve na bijvoorbeeld grote ophogingen.*



Figuur 1. Monitoring binnen de gehele dijkbeheercyclus.

De gangbare faalmechanismen zijn voor de Nederlandse situatie beschreven in de toetsingsvoorschriften voor dijken, kaden en kunstwerken [V&W, 2007; V&W 2008; STOWA, 2007, 2010; TAW, 2003]. In uitzonderlijke gevallen zijn andere faalmechanismen mogelijk, zoals suffosie.[3]

c. Stel de maatgevende parameters vast

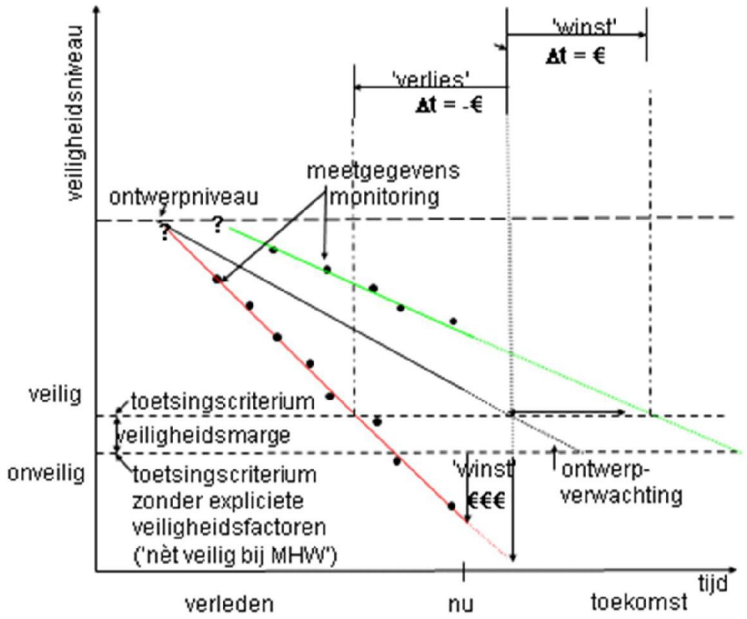
Uit de maatgevende faalmechanismen kunnen de fysische parameters worden afgeleid die maatgevend zijn voor falen, evenals de locatie waar deze parameters het meest van belang zijn in de beginfase – waar tijdige detectie zich op moet richten om tijdig ingrijpen ook mogelijk te maken.

[3] *uitspoeling van fijn materiaal bij sterk gegradeerd zand en grind, leidend tot verdere erosie, instorten en uiteindelijk falen.*

3. Kies een monitoringsstrategie

De keuze van de monitoringstrategie is in hoge mate bepalend voor de uitwerking en is voor een deel niet los te zien van de gehanteerde ontwerpfilosofie en de intensiteit van het onderhoud. Een veilige situatie met weinig tot geen onderhoud en betrekkelijk weinig monitoringsinspanning is doorgaans alleen te bereiken met een ontwerp dat hoge uitvoeringskosten kent. De monitoring is vereist om te bepalen of het vereiste veiligheidsniveau nog steeds behaald wordt. Bij het andere uiterste kan er sprake zijn van betrekkelijk lage uitvoeringskosten, maar meestal hoge onderhoudskosten en matig tot hoge kosten voor monitoring. Dan is de monitoring mede nodig om de effecten van het onderhoud te bepalen en eventueel te optimaliseren, maar ook om het veiligheidsniveau te kunnen aantonen.

In figuur 2 is het veiligheidsniveau van een waterkering in de loop van de tijd aangegeven, met daarin het ontwerpniveau – ruim boven het toetsingscriterium en de veiligheidsmarge die vereist is vanwege het onvermijdelijke tijdsverloop tussen afkeuren in de periodieke toetsing en een dijkversterking.



Figuur 2. Veiligheidsniveau in de loop van de tijd, met ontwerpverwachting (zwarte schuine lijn) en twee scenario's door monitoring (groene en rode lijn)

De diagonale lijnen geven de degradatiesnelheid aan, d.w.z. de snelheid waarmee de veiligheid van de waterkering in de loop van de tijd afneemt, bijvoorbeeld ten gevolge van zwaardere hydraulische belastingen. In het ontwerp bestaat daarvoor een bepaalde verwachting; iedere waterkering wordt immers met een bepaalde levensduur ontworpen. Dit is aangegeven met de zwarte lijn. Door monitoring, met de bijbehorende analyse, kan het werkelijke veiligheidsniveau worden ingeschat. Hiervoor zijn in figuur 2 twee verschillende scenario's weergegeven: het groene, gunstige scenario en het rode, ongunstige scenario. Uit de metingen aan de kering op een zeker tijdstip, in combinatie met de inschattingen voor het gedrag onder maatgevende omstandigheden, volgt telkens één veiligheidsniveau. Dit is aangegeven met een aantal dikke stippen rondom de groene en rode lijnen (merk op dat een lineair verloop niet vanzelfsprekend, bovendien is deze figuur slechts illustratief en indicatief, omdat de waarden langs de assen niet geconcretiseerd zijn).

Gesteld kan worden dat er in het 'groene scenario' sprake is van potentiële winst door monitoring doordat de degradatiesnelheid lager blijkt te zijn dan voorzien en de volgende dijkversterking kan worden uitgesteld.

In geval van het 'rode scenario' is een dijkversterking eerder nodig dan gepland, hetgeen als verlies kan worden gezien. Daar staat een veel grotere winst ten gevolge van een vermeden potentiële dijkdoorbraak in de periode dat de kering onveilig zou zijn geweest tegenover.

Een scenario als het groene wordt vaak aangegeven als 'de winst die monitoring bereikt kan worden'. En ook al zal dit scenario vanwege de conservatieve opzet van de toetsingsvoorschriften naar verwachting het vaakst optreden ('meer kennis leidt tot scherper toetsen'), het werkelijke voordeel uit monitoring wordt bereikt door betere kennis omtrent het gedrag van de waterkering, waardoor de kans op onaangename verrassingen verkleind wordt. Dit voordeel wordt zodoende ook behaald wanneer de zwarte lijn (dit is de ontwerpverwachting) precies uitkomt.

4. Leg het monitoringssysteem vast

Vastleggen van de wijze waarop tot een monitoringssysteem is gekomen maakt het later mogelijk om bij noodzakelijke aanpassingen de juiste keuzes te maken en om te prioriteren. Dit onderdeel legt hiervoor de basis.

a. Kies de te monitoren parameters

Uit de identificatie van de maatgevende parameters, inclusief de positie, volgt nog niet direct welke parameters op welke plaats het beste gemonitord kunnen worden. Doorgaans is het namelijk efficiënter om een andere parameter op een andere plaats te meten, zonder dat dit wezenlijk ten koste gaat van de beoogde doelen van de monitoring.

Wanneer er meerdere maatgevende faalmechanismen zijn, dan is het noodzakelijk na te gaan in hoeverre deze op elkaar in werken. Hierdoor kan het mogelijk zijn dat met één instrument geen onderscheid gemaakt kan worden tussen het ene of het andere faalmechanisme, of dat juist kan worden vastgesteld welke van de twee zich voordoet maar is een tweede instrument nodig om de ernst te bepalen. Dit kan per situatie sterk verschillen.

De keuze van de te monitoren parameters is zeer belangrijk voor de opzet van een monitoringssysteem. Wanneer bepaalde mechanismen over het hoofd worden gezien en deze later optreden is de kans groot dat deze niet worden gedetecteerd of dat de desondanks gemeten signalen onjuist worden geïnterpreteerd. Eén van de grootste risico's bij monitoring kan zodoende liggen in een onjuist ontwerp van het monitoringssysteem. Als maatregel hiertegen wordt wel voorgesteld om zoveel mogelijk te monitoren en zoveel mogelijk data te verzamelen, maar een betere aanpak lijkt te vinden in een goede opzet van de monitoring en een tijdige review van het monitoringsplan, waarbij er voldoende gelegenheid wordt geboden aan de reviewer om zich goed in te lezen en in te leven in de situatie.

b. Bepaal de orde van grootte van veranderingen

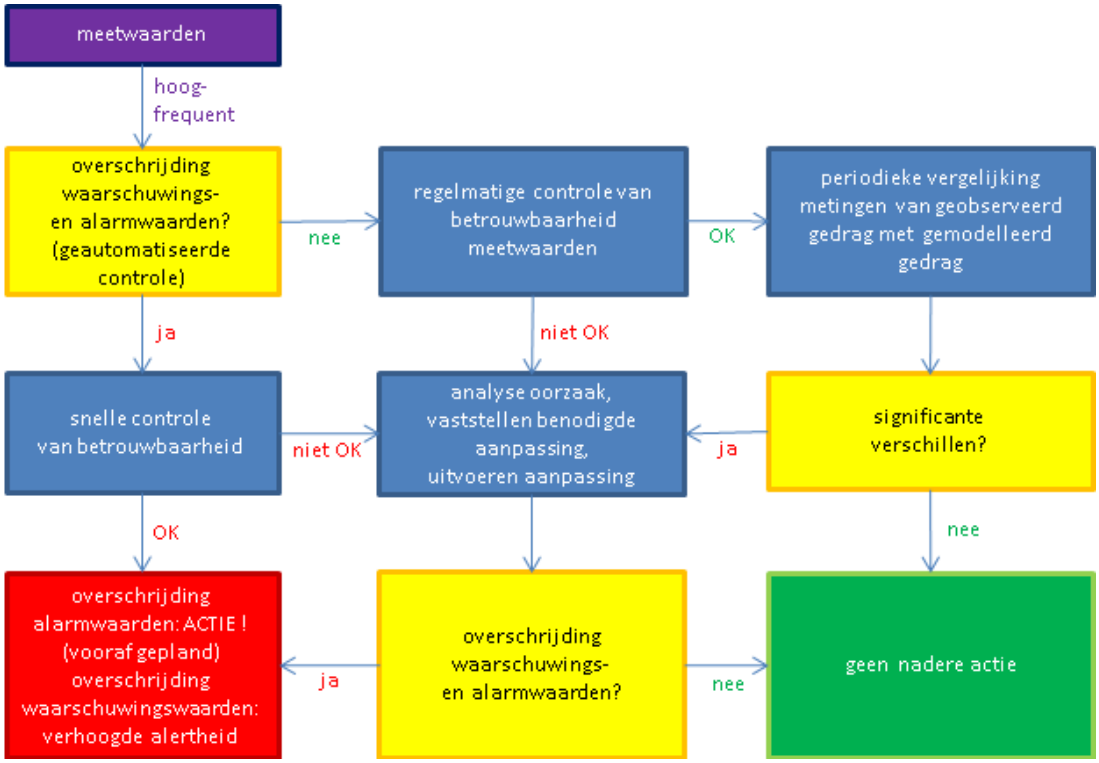
Over het algemeen zijn veranderingen van parameterwaarden bepalend voor gedragsveranderingen en is de absolute waarde van minder belang. Bovendien is er qua relevantie een grens aan de grootte van veranderingen: voorbij een zekere waarde doet de grootte van de verandering er niet meer toe, bijvoorbeeld omdat de waterkering dan al lang bezweken is. Dit kan van invloed zijn op het type meting dat gekozen wordt, of op het type instrument – met sommige meettechnieken is meting van absolute waarden (bijvoorbeeld van de druk) noodzakelijk, terwijl met andere technieken alleen veranderingen gemeten kunnen worden.

c. Stel waarschuwings- en alarmwaarden vast

Om op een zinvolle wijze de meetwaarden te kunnen beoordelen, moet het duidelijk zijn welke meetwaarden als normaal kunnen worden beschouwd, wanneer er extra aandacht vereist is en wanneer er alarm geslagen moet worden. Met name voor het laatste geval is het noodzakelijk dat er snel gehandeld kan worden op basis van actuele meetwaarden en er niet haast onvermijdelijk sprake zal zijn van een analyse achteraf (dus pas als de calamiteit of catastrofe achter de rug is).

Op basis van ontwerp- en toetsingsberekeningen is het mogelijk om grenswaarden te bepalen waarbij extra waakzaamheid of actie is geboden. Dit kunnen zowel minimumwaarden (ondergrenswaarden) als maximumwaarden (bovengrenswaarden) zijn en het is ook denkbaar dat deze voor verschillende instrumenten ten dele met elkaar samenhangen. De concrete vaststelling van waarschuwings- en alarmwaarden per instrument en per groep van instrumenten kan uiteraard pas plaatsvinden wanneer de keuze daarvoor is gemaakt (zie stap 4h), maar in algemene zin kan, en moet, er op dit punt in de procedure al aandacht aan worden besteed omdat dit mede van invloed is op de keuzes die eerder gemaakt moeten worden.

In het stroomschema in figuur 3 is aangegeven hoe er op snelle wijze actie ondernomen kan worden zonder onnodig paniek te zaaien. Zie hiervoor ook stap 6, verderop.



Figuur 3. Handelingsschema voor de tijdige verwerking van meetwaarden.

d. Bepaal de mogelijkheden om in te grijpen

In samenhang met de waarschuwings- en alarmwaarden dient er in deze fase te worden gekeken naar de interventiemogelijkheden wanneer de meetwaarden aangeven dat er mogelijk iets mis is.

Bij het overschrijden van *alarmwaarden* moet er nog sprake zijn van enig handelingsperspectief, zoals noodmaatregelen of (selectieve) evacuatie. Uiteraard dienen ook dergelijke maatregelen tevoren zijn voorbereid.

Bij het overschrijden van *waarschuwingswaarden* zouden dergelijke vergaande maatregelen nog niet nodig moeten zijn (anders zouden de waarden anders moeten worden gekozen), maar kan afhankelijk van de situatie en de vooruitzichten al wel een deel van de organisatie worden geactiveerd. Ook het bijplaatsen van instrumentatie, intensiveren van visuele inspecties en het repareren van defecte apparatuur kan passend zijn wanneer waarschuwingswaarden worden overschreden. In het laatste geval dient wel zorgvuldig te worden nagegaan wat de oorzaak van het defect is – er kan immers sprake zijn van een ernstige, onvoorziene en/of onopgemerkte situatie die verder kan verergeren.

e. Registreer relevante omgevingsinvloeden

Relevante omgevingsinvloeden betreffen allereerst het weer, verder reguliere maar weinig voorkomende activiteiten als maaien, maar ook vandalisme e.d. Dit soort bijzondere gebeurtenissen kan het beste per gedeelte van een waterkering worden bijgehouden in een logboek waar op kan worden teruggegrepen bij nader onderzoek van afwijkende meetwaarden of (het begin van) afwijkende trends.

f. Kies de locaties van de metingen

Uit de gekozen monitoringstrategie, de keuze van te monitoren parameters en de analyses die hebben geleid tot de vaststelling van waarschuwings- en alarmwaarden volgt op welke locaties het kenmerkende gedrag kan worden gemeten waarmee de diverse potentiële faalmechanismen kunnen worden gedetecteerd. Daarbij geldt dat één goedgeplaatst instrument veelal meer informatie kan verschaffen dan een reeks ondoordacht geplaatste instrumenten.

In eerste instantie kunnen instrumenten worden aangebracht in de meest zwakke of zwaarst belaste zones[4]. Wanneer dergelijke zones niet aanwezig zijn of als er een onderbouwde behoefte bestaat aan meer uitgebreide instrumentatie (bijvoorbeeld op grond van een betrouwbaarheidsanalyse), dan kunnen één of meer representatieve gebieden worden vastgesteld waar de monitoring zich primair op richt. Deze primaire monitoringsgebieden zullen in de praktijk meestal de vorm hebben van een (dwars)doorsnede. Daarnaast dienen bij voorkeur ook één of meer secundaire monitoringsgebieden worden ingericht ter controle van de aanname dat deze gedeelten inderdaad van secundair belang zijn. Uit oogpunt van kosten verdient het de voorkeur om de instrumentatie in deze secundaire gebieden eenvoudig te houden, maar op essentiële punten wel overeen te laten komen met de primaire monitoring om een goede vergelijking mogelijk te maken.

g. Benoem specifieke doel(en) van elk instrument

"Ieder instrument dient geselecteerd en geplaatst te worden om bij te dragen aan het beantwoorden van één of meer specifieke vragen: als er geen vraag is, dan moet er ook geen instrument zijn" [Dunnicliff, 1993, 1999]. Uit de voorgaande stappen zou dit al ondubbelzinnig moeten volgen, zodoende kan deze stap eerder als een checklist worden gezien. Dat neemt niet weg dat dit concreet gemaakt moet worden, waardoor eventuele inconsistenties die in de vorige stappen in de loop van het proces ingeslopen zijn aan het licht kunnen komen. Overigens kan het bereiken van redundantie of dubbeling van cruciale instrumenten een prima doel zijn voor een instrument.

h. Stel verwachtings-, waarschuwings- en alarmwaarden vast per instrument

De volgende stap betreft het concreet vaststellen van de te verwachten meetwaarden per instrument. Een overzicht hiervan zal het later gemakkelijker maken om de betrouwbaarheid van de meetwaarden te bepalen, maar eerst is het zinvol om hiermee het benodigde meetbereik, het onderscheidend vermogen en de detectiesnelheid vast te stellen. Het onderscheidend vermogen en de detectiesnelheid zijn met name van belang indien de range van verwachte meetwaarden betrekkelijk groot is en relatief weinig verschilt van de grenswaarden waarbij tot actie moet worden

[4] *of kan Remote Sensing-apparatuur hiervoor worden aangewend.*

overgegaan. Ook kan de snelheid waarmee veranderingen kunnen optreden tegenover de snelheid waarmee deze gedetecteerd kunnen worden van doorslaggevende invloed zijn bij de concrete selectie van meetmethoden en instrumenten.

5. Leg de eisen aan de instrumenten vast

Na de concretisering van het monitoringssysteem kunnen de eisen waar de instrumenten blijvend aan moeten voldoen worden vastgelegd. Dit omvat een vijftal stappen.

a. Beschrijf de functionele eisen aan te selecteren instrumenten

Voor de concrete selectie van de benodigde instrumenten is het sterk aan te raden om allereerst functionele eisen te formuleren en het daar eventueel ook bij te laten. Dit maakt het gemakkelijker om uiteenlopende offertes van aanbieders te vergelijken. Van de aanbieders moet dan ook wel worden gevraagd om aan te geven in hoeverre hun product(en) zullen voldoen aan de gestelde eisen. Bewezen betrouwbaarheid van vergelijkbare systemen onder enigermate vergelijkbare omstandigheden is daarbij een belangrijk voordeel. Overigens kunnen aanbieders onderling sterk verschillen in de mate waarin de op dit punt aangeleverde informatie zèlf betrouwbaar is, het vragen om referenties bij andere opdrachtgevers is raadzaam voor de cruciale onderdelen.

Bij de functionele eisen kan het bovendien zinvol zijn een onderscheid te maken tussen het minimaal vereiste niveau en het idealiter gewenste niveau (eventueel te formuleren als ‘functionele wensen’). Bij een afweging tussen concurrerende aanbiedingen die alle aan het minimale niveau voldoen en op wisselende onderdelen aan het gewenste niveau kan hierdoor de keuze vergemakkelijkt worden. Het onderscheid is nog belangrijker wanneer door sommige aanbieders niet voldaan wordt aan het minimumniveau.

Voor de functionele eisen (en wensen) kan gebruik worden gemaakt van de beoordelingscriteria en –schalen die gebruikt zijn bij de All-in-one sensorvalidatietest van de IJkdijk [de Vries et al., 2013ab].

Voor de instrumentatie zelf kan de volgende lijst worden gebruikt:

- Meetfrequentie (variërend van vaker dan eens per seconde tot minder dan eens per dag).
- Nauwkeurigheid (variërend van hoog (beter dan 1 promille van de relevante range van parameterwaarden) via laag (slechter dan 10 procent) tot ‘slechts aanvullend bij andere metingen’).
- Resolutie.
- Reikwijdte (variërend van 3D-meting tot puntmeting).
- Robuustheid (variërend van meerdere oplossingen voor potentiële uitval tot feitelijk ongeschikt voor veldomstandigheden).
- Aanlooptijd (variërend van ‘onmiddellijk inzetbaar’, via ‘operationeel binnen enkele uren/dagen’ tot ‘meer dan een maand’ – dit kan overigens mede afhankelijk zijn van de grondgesteldheid).
- Informatieverwerkingstijd (variërend van ‘begrijpelijke data is direct (*real time*) beschikbaar’ tot ‘er is een bewerkingsslag van *x* uur/dagen nodig voordat begrijpelijke informatie uit de data beschikbaar is’).
- Interpreteerbaarheid (variërend van ‘direct interpreteerbare en vergelijkbare grootheden beschikbaar’ via ‘interpreteerbaar zonder expert’ tot ‘expert vereist voor interpretatie’).

Behalve instrumentatie is ook een systeem vereist waarmee de metingen ontsloten en eventueel geduid kunnen worden. Daaraan kunnen onder meer de volgende eisen worden gesteld:

- Er vindt semi-automatische controle en eventuele correctie van de data plaats, waarbij aanpassingen navolgbaar en corrigeerbaar zijn.
- De beschikbare informatie wordt helder gepresenteerd, met eventueel een verschillend detailniveau afhankelijk van de gebruiker (variërend van inhoudelijk expert tot – eventueel, op een hoog aggregatieniveau – de bestuurder).
- Een koppeling aan voorspellingen van belastingen (weer en waterstanden).
- Overschrijdingen van waarschuwings- en alarmwaarden worden duidelijk weergegeven.
- Er wordt gewaarschuwd als gegevens niet ververst worden en als meetwaarden onwaarschijnlijk lang niet veranderen (bijvoorbeeld een getij-afhankelijke waterstand die enige tijd op hetzelfde peil blijft)

b. Stel procedures op om te kunnen bepalen of instrumenten goed functioneren

Onderdeel van het ontwerp van een monitoringssysteem is ook het periodiek controleren van het correcte functioneren van de instrumenten. Dit bestaat uit regelmatige calibratie (zie de volgende paragraaf) en uit controle van de meetwaarden, hetgeen verder uitgewerkt is in stap 6. Naast deze meer technische respectievelijk routinematige procedures, is het ook zinvol om van tijd tot tijd na te gaan in hoeverre er voldaan wordt aan de gestelde uitgangspunten, aannamen en randvoorwaarden.

Verder worden de meetfrequentie en de doorgifte-frequentie beïnvloed door de frequentie waarmee vernieuwing van de meetgegevens nodig is, ook tijdens eventuele calamiteiten: als er een plotselinge afwijking in de metingen wordt gerapporteerd, dan kan dit correct zijn of er is sprake van een meetfout. Een duidelijk onderscheid daartussen kan pas worden gemaakt zodra er één of meer volgende meetwaarden bekend zijn of door ter plaatse poolshoogte te nemen. De meetfrequentie en de doorgifte-frequentie zullen hierop moeten worden afgestemd, of eventueel van afstand aanpasbaar moeten zijn.

c. Plan regelmatige kalibratie en onderhoud

Voor betrouwbaar en correct functioneren is regelmatige kalibratie en onderhoud vereist. De frequentie waarmee dit moet gebeuren verschilt per instrument en de omstandigheden waaronder deze worden ingezet. Soms is kalibratie niet mogelijk en zal herplaatsing of een andere meettechniek overwogen moeten worden.

Bij de planning hiervan kan op zich worden uitgegaan van de specificaties hierover door de leverancier, al dienen deze wel kritisch beschouwd te worden. Wanneer specificaties ontbreken is een gezonde dosis argwaan ten aanzien van de aangeboden apparatuur veelal gepast.

Problemen die kunnen optreden zijn onder andere drift van de sensor (geleidelijke verandering van de uitvoerwaarde bij vergelijkbare invoer/belasting), fysieke verplaatsing van het instrument (door bijvoorbeeld zettingsprocessen bij een slappe ondergrond, door verwachte belastingen wanneer er bijvoorbeeld een afschuiving plaatsvindt en door onbedoelde belastingen zoals aanrijdingen of vandalisme waardoor er plotseling een alarmwaarde kan worden overschreden terwijl er dan mogelijk ‘alleen maar’ een lokaal probleem bij het instrument is). Ook kan een instrument of zelfs het hele systeem volledig uitvallen.

Bij beperkte afwijkingen ten gevolge van drift of verzakkingen van het grondlichaam of object kan hier vaak nog wel rekening mee worden gehouden. Bij onvoorspelbare afwijkingen en volledige uitval uiteraard niet. Soms kan kalibratie een uitweg bieden, anders is vervanging noodzakelijk indien de metingen gecontinueerd dienen te worden. Dit kan een goed moment zijn om het monitoringsplan gedeeltelijk of geheel te herzien: het kan namelijk zo zijn dat er inmiddels voldoende betrouwbare meetgegevens verzameld zijn voor het (oorspronkelijke of aangepaste) doel. Dan is vervanging niet zinvol en moet dit ook niet plaatsvinden. Bij de contractvoorwaarden kan hier ook rekening mee

worden gehouden, alleen al omdat het denkbaar is dat er wel een andere locatie is waar alternatieve plaatsing wèl zinvol is.

Bij de interpretatie van de metingen dient men er altijd op verdacht te zijn dat de kalibratie niet meer (geheel) juist is.

d. Plan installeren van de instrumenten

Het installeren van de instrumenten vergt enige tijd. Hierbij moet niet alleen worden gedacht aan de benodigde tijd om de instrumenten aan te brengen zèlf, maar ook aan de benodigde vergunningen, toestemmingen van landeigenaren, KLIC-meldingen voor controle op reeds aanwezige kabels en leidingen, de tijd van het jaar (zoals het 'gesloten seizoen' waarbinnen er in principe geen vermijdbare activiteiten op en rond primaire waterkeringen mogen plaatsvinden, het broedseizoen wanneer dat relevant is, de kans op vorst of uitdroging, enz.) en de benodigde rusttijd na installatie, met name bij plaatsing van instrumenten in het slappe-lagenpakket in de grond.

Enkele aandachtspunten zijn:

- De installatiediepte moet bepaald en gecontroleerd worden, met name als de verticale positie van belang is. Dit kan bijvoorbeeld met een boring of een sondering vooraf.
- Kort voor installatie moet ieder instrument apart worden gekalibreerd, dit omdat de kalibratiewaarden per instrument verschillen. Het hanteren van één set waarden voor alle instrumenten van hetzelfde type leidt tot onnodige onnauwkeurigheden.
- Eveneens kort voor installatie moet het filter van iedere waterspanningsmeter verzadigd worden, om zo luchtinsluitingen te voorkomen. Dit moet met zoet water gebeuren.
- Zout water is in het algemeen iets waar sensoren meestal slecht tegen kunnen – wanneer dat niet vermeden kan worden, dan moet hier terdege rekening mee worden gehouden.
- Een zorgvuldige administratie in het veld van welk instrument waar geplaatst is, is essentieel maar blijkt helaas niet altijd te worden bijgehouden.
- De plaatsingsnauwkeurigheid. Voor waterspanningsmeters bijvoorbeeld is met name de verticale positie van wezenlijk belang voor de nauwkeurigheid van de meetwaarden: een onnauwkeurigheid van ± 5 centimeter in de plaatsing betekent een onnauwkeurigheid van 10 centimeter waterkolom bij de verwerking van de meetdata; voor betrouwbaarheidsanalyses kan dit van groot belang zijn.
- De installatie van de instrumenten in de grond, door wegdrukken of plaatsing in een boorgat, veroorzaakt afwijkende waterspanningen. Deze moeten eerst dissiperen voordat er sprake is van betrouwbare metingen. In zand gebeurt dit binnen hooguit enkele uren, in dikkere klei- en veenlagen kan dit enkele weken duren. Dit is meestal wel uit de metingen af te leiden uit een asymptotisch verloop (eventueel gesuperponeerd op andere fluctuaties). Ook kunnen instrumenten nog enige tijd nazakken of kantelen indien deze bijvoorbeeld zijn geplaatst in een boorgat.
- In de praktijk gehanteerde installatietechnieken kunnen een significante invloed hebben op de metingen, zozeer dat deze zelfs volledig onbetrouwbaar kunnen zijn of worden.
- Installatie van instrumenten levert óók gegevens op over de samenstelling van de ondergrond – maar deze worden nu vaak nog niet verwerkt.

Van algemene invloed op de kwaliteit van de metingen is de ruimte die in planning beschikbaar is, evenals de ruimte in de budgetten. Dit geldt in het bijzonder voor de installatie van de instrumenten.

e. Stel aankoopspecificaties op voor de instrumenten

In verband met de wenselijkheid van concurrerende, vergelijkbare offertes kunnen de aankoopspecificaties het beste geformuleerd worden in functionele eisen en dient een deskundige te worden betrokken bij niet alleen de formulering van deze eisen maar ook bij de beoordeling van de aanbiedingen mede betrokken te worden.

6. Plan hoe om te gaan met de metingen

Wanneer er niets met meetwaarden wordt gedaan, dan hoeven ze ook niet te worden gemeten. Ook hier geldt dat planning vooraf noodzakelijk is.

a. Plan de verzameling van meetgegevens

De verzameling van meetgegevens vereist een zorgvuldige voorbereiding. Het gaat hierbij om het verzamelen van data van alle sensoren, het doorgeven van de data en het opslaan van de data. Het schema van figuur 3 is op dat moment al van belang. Daarbij geldt dat de daarin genoemde controles en eventuele alarmeringen aan het einde van de hiervoor genoemde keten kunnen plaatsvinden, wat in eerste instantie het meest voor de hand ligt, maar het kan ook eerder gebeuren, eventueel al bij de sensor zelf. De betrouwbaarheid en snelheid van handelen spelen bij deze keuze een grote rol.

Bij de datadoorgifte is de betrouwbaarheid op verscheidene manieren van belang. Het gaat hierbij om de zekerheid waarmee de data aankomt, de zekerheid dat de data niet ergens wordt afgetapt door derden en de zekerheid dat de data niet onderweg wordt aangepast.

Verdere aandachtspunten:

- Permanente actie bij de controle op de overschrijding van de waarschuwings- en alarmwaarden (figuur 3) – inclusief meetwaarden die niet samenhangen met het doel van het instrument, die overigens wel zouden kunnen wijzen op een calamiteit waar het monitoringssysteem niet specifiek voor ingericht is, zoals een brand. Ook kan een softwarematige fout leiden tot onjuiste correcties en uiteindelijk uitval.
- Wanneer er voor bepaalde (beperkte) tijd géén meetwaarde is ontvangen dan is een waarschuwing nodig. Dit is echter een ander type waarschuwing dan de waarschuwing bij de overschrijding van waarschuwingswaarden.
- Wanneer er voor bepaalde tijd (instrument- en positieafhankelijk) geen verandering is geregistreerd, dan is er vaak eveneens reden voor een (geautomatiseerde) waarschuwing waar actie op ondernomen moet worden.
- Met waterspanningsmeters wordt feitelijk niet de waterspanning gemeten, maar de totale druk. De atmosferische druk moet daar dan nog van worden afgetrokken. Deze moet daartoe bij voorkeur ter plaatse aan het maaiveld worden gemeten, hoewel de afwijking over het algemeen gering is wanneer meetwaarden van nabijgelegen KNMI-stations hiervoor worden gebruikt. Het corrigeren voor de fluctuaties in de atmosferische druk is pas op grote diepte irrelevant, maar voor waterkeringen wèl relevant.

Een snelle, geautomatiseerde controle van gegevens kan bestaan uit controle op chronologie, ongeldige meetwaarden (zoals -9999), identieke datum/tijd-stempels, de meetfrequentie, waarden buiten het meetbereik, geen verandering in het signaal ('dood signaal'), staptrends en outliers, lineaire trends en barometrische controle (correlatie met de atmosferische druk) [Fest & van den Berg, 2013]. Daarna is er natuurlijk de controle op de overschrijding van waarschuwings- en alarmwaarden.

b. Plan de verwerking van meetgegevens

Na de initiële controle op de overschrijding van waarschuwings- en alarmwaarden is periodiek ook een meer gedegen controle van de metingen vereist, voordat deze als betrouwbaar kan worden opgeslagen en verder gebruikt in de organisatie. De omzetting van meetgegevens uit ruwe waarden naar begrijpelijke grootheden, vaak ten opzichte van een zekere referentie, kan een bron van fouten vormen. Verwisseling van instrumenten of de bijbehorende kalibratiewaarden hoeft pas na geruime tijd tot onbegrijpelijke waarden te leiden, maar moet natuurlijk al van begin af aan vermeden worden. De verwerking via spreadsheets is zelden foutloos, zeker op de langere duur. In plaats daarvan zijn er diverse speciale softwarepakketten beschikbaar die beter gebruikt kunnen worden.

Er blijken discrepanties op te kunnen treden met betrekking tot de datering van de meetgegevens, bij gebruik van archiefdata (d.w.z. alle data die niet online binnenkomt) moet men hierop bedacht zijn.

Voorspellingen ten aanzien van dijksterkte kunnen worden verfijnd door het toevoegen van gedragsmonitoring, waarnemingen, anomalie-detectie en expert judgement. Triggers van afwijkend gedrag kunnen semi-automatisch worden opgespoord door het toepassen van "Change Detection" technieken zoals data-driven modelling. In voorspellingsmodellen kan de data zijn nut bewijzen, bijvoorbeeld door de modelparameters te verbeteren met inverse analyse.

De wijze van presentatie van de data is van grote invloed op de interpretatie ervan. Het plotten van de data tegen de tijd, met weergave van waarschuwings- en alarmniveaus en relevante omgevingsparameters, zoals bijvoorbeeld de waterstand of andere niveaus, geeft doorgaans al veel inzicht. Langduriger meetreeksen, bijvoorbeeld over meerdere jaren, kunnen ook over de loop van de periode worden geplot om zo seizoensinvloeden en trendmatige afwijkingen gemakkelijker te ontdekken. Daarnaast zijn plots van verschillende metingen tegen elkaar denkbaar die inzicht geven in het gedrag van de waterkering en eventuele veranderingen daarin, bijvoorbeeld waterspanningen of vervormingen tegenover de buitenwaterstand. Van iedere grafiek dient de bedoeling duidelijk te zijn, ook dient de grafiek zo eenvoudig mogelijk te worden gehouden. Zie verder ook bijlage II.

c. Leg verantwoordelijkheden vast

Verantwoordelijkheden voor de verschillende onderdelen kunnen het beste worden neergelegd bij de partij die op een bepaald onderdeel de meeste invloed heeft. Financiën, macht (institutioneel) en inhoudelijke expertise spelen daarbij een rol, evenals contractuele afspraken. Hierbij moet gewaakt worden voor overspannen en uiteindelijk niet-afdwingbare beloften.

7. Rond het ontwerp af

Met het voorgaande zijn alle elementen van een goed ontwerp beschikbaar, maar dat moet ook budgettair mogelijk zijn en vervolgens toegankelijk worden vastgelegd.

a. Stel de (voorlopige) begroting op en ga desnoods één of meer stappen terug

Op dit punt is het verstandig om een begroting te maken. Wanneer de begrote kosten niet overeenkomen met het beschikbare budget, dan kan het verstandig zijn om enkele tot vele stappen terug te gaan. Dit geldt overigens zowel bij overschrijding als bij onderschrijding van het beschikbare budget: bij significante verschillen is er waarschijnlijk een mismatch tussen verwachtingen en mogelijkheden en kunnen er ook rationele gronden voor zijn om het budget voor monitoring aan te passen, bijvoorbeeld omdat hiermee de overall-risico's worden verkleind.

b. Leg het systeem vast in een toegankelijk ontwerpverslag

De voorgaande stappen behoren te worden vastgelegd in een samenhangend verslag. Alleen al het maken van zo'n verslag kan eventuele inconsistenties aan het licht brengen. Behalve daarvoor is het vooral ook nuttig als referentiemateriaal bij de interpretatie en verwerking van metingen en voor de periodieke herziening van het monitoringssysteem.

8. Installeer het monitoringssysteem en zorg dat het benut wordt

De eigenlijke installatie vormt het meest zichtbare onderdeel van het monitoringssysteem. De inbedding in de organisatie vergt aanvankelijk ook de nodige aandacht – anders is de hele opzet mogelijk zelfs zinloos – maar leidt in het ideale geval tot een zekere onzichtbaarheid van het systeem, doordat het als vanzelfsprekend is ingebed in de organisatie.

9. Gebruik (en herzie) het monitoringssysteem

Bij het gebruik van het monitoringssysteem zal de waarde van een goede voorbereiding blijken. Indien nodig zullen de voorziene maatregelen getroffen moeten worden: gepaste reactie op overschrijding van waarschuwings- of alarmwaarden, aanpassing van de meetfrequentie, reparatie of vervanging van uitgevallen instrumenten, enzovoorts.

Periodiek zal het systeem herzien moeten worden. Dit kan vooraf al worden gepland, eventueel aanvankelijk met een hogere frequentie dan later. Incidenten als uitval of overschrijding van waarschuwings- en alarmwaarden kunnen ook aanleiding zijn voor een herziening. Dit kan ook leiden tot een concretisering van figuur 2.

Lessons learned uit recente projecten

In [van den Berg & Koelewijn, 2014] is een twintigtal verschillende proeftuinen beschreven. In deze paragraaf zullen de zogenaamde lessons learned worden beschreven van deze proeftuinen (zie ook figuur 4).

Deze proeftuinen verschillen in grootte van een locatie met beperkte afmetingen en weinig sensoren (DMS, Colijnsplaat) tot een grote locatie met veel verschillende soorten sensoren (All-in-one sensor validatietest). De proeftuinen zijn alle opgezet met een min of meer duidelijk meetdoel. Er is sprake van een vraagarticulatie. Immers, zonder vraag geen instrumentatie, zie stap 4g.

Voor de proeftuinen kan vastgesteld worden dat voor een deel de vier verschillende opeenvolgende fasen zijn doorlopen, zoals in de monitoringsfilosofie in de voorgaande hoofdstukken is besproken. Deze fasen zijn:

1. Waarom & wat moet er gemonitord worden? (monitoringsfilosofie).
2. Het monitoren zelf.
3. Interpretatie van de metingen.
4. Toepassen van de meetresultaten en herijken van 1).

Figuur 4. Overzichtskaart met alle proeftuinen zoals beschreven in [van den Berg & Koelewijn, 2014].

IJkdijkprojecten

De piping- en zettingsproeven op de IJkdijk, hadden naast de state-of-the art validatie-experimenten, ook tot doel om kennis op te bouwen over sensortechnologie voor waterkeringen.

De All-in–one sensorvalidatietest had tot doel om het verkrijgen van inzicht in de functionaliteit en prestaties van full service dijkmonitoringssystemen. Hierbij is gefocussed op het real-time voorspellen van de dijksterkte ten aanzien van meerdere faalmechanismen. Een aantal lessen valt uit deze proeven te trekken [de Vries et al., 2013a]:

- In het algemeen wordt met behoorlijke precisie zichtbaar wat er met de proefdijk gebeurd. Alhoewel dit als een “open deur” kan worden opgevat is het echter wel een belangrijke constatering dat gerichte monitoring zinvol is om bepaalde faalmechanismen te identificeren met behulp van monitoring.
- Bij de meeste meetpartijen is een gebrek aan geotechnisch inzicht. Dit pleit voor een nauwere samenwerking tussen de geotechnische bureau’s en de meetpartijen.
- Gedurende het proces van de metingen, worden de voorspellingen beter. Het blijkt dus dat er een bepaalde aanlooptijd nodig is voordat men het “meetsysteem” begrijpt en op de juiste manier heeft ingesteld. Wellicht vindt dit zijn oorzaak in het gebrek aan geotechnisch inzicht.
- Voor wat betreft de visualisatiesystemen geldt dat de combinatie van meetdata uit verschillende bronnen de kwaliteit van de voorspellingen ten goede komt. In de loop van de proeven wordt ook voor de visualisatiesystemen de meeste voorspellingen steeds beter, waarbij vaak een volledig beeld wordt gegeven.

Op basis van de uitgevoerde proeven kan worden gesteld dat het mogelijk is om met de huidige kennis van het zaken het mogelijk moet zijn om tot een full service dijkmonitoringssysteem te komen. Dit systeem bestaat uit de volgende componenten:

- Diverse meettechnieken;
- Data verwerkingssyteem;
- Visualisatiesysteem.

Om dit systeem succesvol te maken en om nauwkeurige en betrouwbare voorspellingen van de dijksterkte te kunnen geven is het van belang om de juiste aanpak van de genoemde componenten te hanteren, alsmede voldoende expertkennis in te brengen.

Overige Nederlandse projecten

Aan waterkeringen wordt al vele jaren gemeten om onder andere de veiligheid van de kering in kaart te brengen. Bij de Nederlandse proeftuinen wordt vooraf het monitoren vaak een uitgebreide analyse gemaakt van het probleem voordat men met meten begint. Het meetdoel staat vaak helder voor ogen.

Een aantal lessen die uit deze Nederlandse proeftuinen zijn getrokken staan hieronder beschreven:

- Het is niet altijd mogelijk om snelle analyses te trekken uit de meetdata omdat deze in een zodanig formaat ter beschikking worden gesteld dat databewerking en -verwerking (onnodig) veel tijd kost.
- Een andere belangrijke constatering is dat er kennelijk significante verschillen in stijghoogte kunnen bestaan tussen overeenkomstige instrumenten in een overigens gelijke dijkopbouw. Dit kan oplopen tot meerdere decimeters. Hieruit blijkt de potentieel sterke invloed van inhomogeniteiten binnen eenzelfde grondlaag. Dit vergroot de potentiële onzekerheid ten aanzien van de waterspanningen in een dijk, zelfs in geval er in beperkte mate gemeten wordt; pas bij meerdere gelijksoortige èn gelijke metingen zal deze onzekerheid verkleind kunnen worden.

- Bij opschaling naar grotere dijktrajecten zal zeer zorgvuldig gekeken moeten worden naar de meetfrequenties, de wijze van dataopslag en de benaderbaarheid van de data, evenals de databewerkingsmogelijkheden, kwaliteit van installatie. Hierbij kan ook gebruik gemaakt worden van de ervaring die is opgedaan bij de All-in-one sensorvalidatietest.

Literatuur

[van den Berg & Koelewijn, 2014]
F.P.W. van den Berg & A.R. Koelewijn, *IV-Keten, Veiligheid als basis, Monitoringsfilosofie en proeftuinen,* 1207933-000-VEB-0001, Deltares, Delft, januari 2014

[Dunnicliff, 1993]
J. Dunnicliff, *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance,* Wiley, New York, 577 pp.

[Dunnicliff, 1999]
J. Dunnicliff, Systematic approach to planning monitoring programs using geotechnical instrumentation: an update. *Field measurements in geomechanics,* Leung, Tan & Phoon, editors, Balkema, Rotterdam, 1999, 19-30.

[Fest & van den Berg, 2013]
P.M.J. Fest & A. van den Berg, *Controle data 15 maart tot 1 september 2013,* monitoring Waddenzeedijk Ameland, notitie AME5-4, Witteveen+Bos, Deventer, 3 oktober 2013.

[STOWA, 2007]
Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, STOWA 2007.

[STOWA, 2010]
Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, STOWA 2010.

[TAW, 2003]
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Leidraad Kunstwerken,* Delft, mei 2003.

[de Vries et al., 2013a]
Vries, de, G., Brake, ter, C.K.E., Bruijn, de, H., Koelewijn, A.R., Langius, E.A.F., Zomer, W.S. (2013) *Dijkmonitoring: beoordeling van meettechnieken en visualisatiesystemen.* Groningen: Stichting IJkdijk.

[de Vries et al., 2013b]
Vries, G. de, Koelewijn, A.R. & Bruijn, H.T.J. de, 2013. Inzicht in functionaliteit van dijkmonitoringssystemen, *Land+Water* 53 (11):24-25.

[V&W, 2007]
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV 2006),* Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Delft, september 2007, ISBN 978-90-369-5762-5.

[V&W, 2008]
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Addendum op het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2006 m.b.t. primaire waterkeringen van de categorie c,* Den Haag, 2008.

Bijlage I: gangbare meettechnieken en hun toepassingen

Techniek	Parameter(s)	Relevante faalmechanismen	Type	Typische frequentie	Toepassingen in dijkbeheercyclus
Zakbaak	Verticale deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit	In-situ	Dagelijks	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud
Zettingsmeet-slang	Verticale deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit	In-situ	Elke seconde tot dagelijks	Verbetering, calamiteitenbestrijding
Total station	Deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave	Remote sensing	Meerdere punten, één per 10 sec.	Verbetering
Laseraltimetrie	Deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave	Remote sensing	Vele punten, jaarlijks	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud, toetsing, inspectie
Scheurmeter	Deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave, bekleding	In-situ	Elke minuut tot jaarlijks	Inspectie, calamiteitenbestrijding
Convergentie-opnemer	Deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave, bekleding	In-situ	Elke minuut tot jaarlijks	Inspectie, calamiteitenbestrijding
GPS	Deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave, bekleding, hoogte	In-situ	Elke minuut tot jaarlijks	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud, inspectie, calamiteitenbestrijding
Inverted Pendulum	Horizontale deformatie	Macrostabiliteit	In-situ	Eens per minuut	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud
Extensometer	Verticale deformatie	Macrostabiliteit, hoogte	In-situ	Eens per minuut	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud
Hellingmeetbuis	(horizontale) deformatie	Macrostabiliteit, microstabiliteit	In-situ	Eens per 10 seconden	Verbetering, toetsing
Hellingmeter	Lokale hoek-verdraaiing	Macrostabiliteit, microstabiliteit	In-situ	Elke seconde	Verbetering, buiten-gewoon onderhoud
Glasvezel	Temperatuur, rek, druk	Piping, heave, ma-crostabiliteit, micro-stabiliteit, instabili-teit bij overslag	In-situ	Eens per 10 seconden	Verbetering, toetsing, inspectie, buiten-gewoon onderhoud

Techniek	Parameter(s)	Relevante faalmechanismen	Type	Typische frequentie	Toepassingen in dijkbeheercyclus
Dichtheidsmeter	Erosie	Piping, micro-stabiliteit, overloop en overslag	In-situ	Eens per 10 seconden	Calamiteitenbestrijding
Digitale camera	Vervorming, bijzonderheden	Macrostabiliteit, microstabiliteit, heave, algemeen	Remote sensing	Elke seconde tot dagelijks	Verbetering, toetsing, inspectie, buitengewoon onderhoud, calamiteitenbestrijding
Multispectrale fotografie	Gewaskwaliteit	Overloop en overslag	Remote sensing	Dagelijks tot maandelijks	Inspectie, calamiteitenbestrijding
Infrarood camera	Temperatuur	Piping	Remote sensing	Elke seconde tot dagelijks	Inspectie, calamiteitenbestrijding
Vochtmeter	Vochtgehalte	Overloop en overslag	In-situ	Eens per 10 seconden	Toetsing, calamiteitenbestrijding
Self potential	Elektrische geleiding	Piping, microinstabiliteit	Remote sensing	Eens per 10 minuten	Toetsing
Water-spanningsmeter	Totale druk of waterspanning, soms ook temperatuur	Piping, heave, ma-crostabiliteit, micro-stabiliteit, instabili-teit bij overslag	In-situ	Elke seconde tot dagelijks	Verbetering, toetsing, inspectie, buiten-gewoon onderhoud
Drukopnemer	Gronddruk	Macrostabiliteit	In-situ	Elke seconde	Verbetering
Seismiek	Trillingen, grondwater	Piping, macrostabiliteit	Remote sensing	Hoogfrequent tot dagelijks	Verbetering, toetsing
Akoestische emissie	Geluid	Macrostabiliteit, microstabiliteit	Remote sensing	Hoogfrequent	Calamiteitenbestrijding
Radar	Deformatie, temperatuur, vochtgehalte, gewaskwaliteit	Piping, heave, ma-crostabiliteit, micro-stabiliteit, overloop en overslag, insta-biliteit bij overslag	Remote sensing	Wekelijks tot maandelijks	Verbetering, toetsing, inspectie, buiten-gewoon onderhoud

Deze tabel is overgenomen van bijlage A in [van den Berg & Koelewijn, 2014]. Daarin zijn alle genoemde technieken nader beschreven.

Bijlage II: Richtlijnen voor leesbare en begrijpelijke grafieken

- gebruik dezelfde schaalverdeling voor beide assen voor groepen vergelijkbare grafieken
- vermijd schaalverdelingen die afhangen van het minimum en het maximum in de datareeks
- schalen langs de assen moeten leesbaar zijn, met logische intervallen
- gebruik een toepasselijke schaalverdeling (lineair of logaritmisch; in kalenderdagen, maanden of jaren)
- indien van toepassing, geef duidelijk weer welke tijd gebruikt is; let daarbij ook op eventuele afwijkingen door zomertijd
- geef de grafiek een titel, met een grotere letter dan de beschrijving van de assen
- geef de naam en de locatie duidelijk weer
- neem de datum waarop de grafiek gemaakt is en een verwijzing naar de brondata op in een klein, maar leesbaar lettertype aan de rand van de grafiek
- neem een legenda op (die niet over de data heen valt)
- neem indien mogelijk een schetsje op dat de locatie van de instrumenten weergeeft
- geef elk datapunt apart weer, tenzij dit tot een onoverzichtelijke brij leidt
- trek geen lijnen door wanneer er tussenliggende datapunten ontbreken
- de grafiek moet ook nog leesbaar en begrijpelijk zijn als zwart-wit afdruk

Bijlage III: Voorkombare valkuilen

Deze bijlage bevat een aantal aandachtspunten voor aspecten die op het eerste gezicht logisch zijn, maar in de praktijk toch zo nu en dan een valkuil blijken te zijn.

- Meetnauwkeurigheid: dit is meer dan alleen de instrumentnauwkeurigheid, ook bijvoorbeeld de mate waarin veranderingen in de gemeten grootheid het instrument kunnen bereiken;
- Meetfrequentie: een afwijkende waarde kan correct zijn of een meetfout betreffen. Voor een deel kan dit pas worden vastgesteld zodra de volgende meetwaarde binnenkomt, dat moet dan niet al te lang duren;
- Datadoorgifte: er kan alleen actie ondernomen worden op metingen als deze zijn doorgegeven;
- Extreme veldomstandigheden: de metingen moeten ook, of juist, onder extreme omstandigheden door kunnen gaan. Praktisch betekent dat bijvoorbeeld dat een niet-waterdichte loggerkast boven het hoogwaterniveau geplaatst moet worden;
- Bij de planning van de instrumentatie moet voldoende rekening worden gehouden met de heterogeniteit van de ondergrond en de mate waarin metingen als representatief kunnen worden gezien. Hoe moet worden omgegaan met afwijkende meetwaarden van 'dubbele' (redundante) instrumenten in 'hetzelfde' grondmassief?;
- Instrumenten dienen correct geplaatst te worden – denk hierbij aan hellingmeetbuizen die tot in een als vast te beschouwen laag worden geplaatst (en niet ondieper!) en bij waterspanningsmeters aan het vermijden van kortsluiting tussen verschillende watervoerende lagen;
- Insteltijd: instrumenten hebben soms enige tijd nodig voordat goede metingen worden verkregen, bijvoorbeeld doordat wateroverspanningen als gevolg van het aanbrengen eerst moeten consolideren. Daardoor is het niet altijd mogelijk om bij dreigende calamiteiten snel een monitoringssysteem te mobiliseren;
- Betrouwbaarheid van de positionering: dit speelt vooral een rol als metingen ten opzichte van een vaste referentie moeten worden geïnterpreteerd. Onzorgvuldige plaatsing of een grote geaccepteerde onnauwkeurigheid in de positionering blijft dan doorwerken;
- Positieverandering door zetting of (begin van) falen: zonder acht te slaan op mogelijke positieveranderingen kunnen metingen verkeerd worden geïnterpreteerd. Ook als één of meer instrumenten verontrustende meetwaarden geven, dan moet dit niet worden gebagatelliseerd op basis van metingen van instrumenten die mogelijk verplaatst zijn, of drooggevallen;
- Bescherming tegen blikseminslag: meetnetten kunnen als één grote bliksemafleider functioneren wanneer deze op dit aspect onjuist worden uitgevoerd;
- Verloop in de tijd: instrumenten kunnen op een gegeven moment onbetrouwbare waarden gaan geven. In dit verband zijn waterspanningsmeters in slappe-lagenpakketten berucht, waarschijnlijk hangt dit samen met gasvorming;
- Vastleggen van data: zowel ruwe data als gecorrigeerde data dient te worden bewaard en beschikbaar te zijn. Voor de gecorrigeerde data moet bekend zijn welke correcties op de ruwe data zijn uitgevoerd – het kan immers zijn dat de inzichten over de juistheid van bepaalde correcties in de loop van de tijd wijzigen;
- Gebruik van data: gebruikers blijken altijd bedacht te moeten zijn op onjuistheden die naderhand optreden, zoals bijvoorbeeld een verschuiving in de datering van data (berucht is een database waarin data opeens vier dagen opgeschoven bleek te zijn).