

Monitoringsfilosofie voor de Nederlandse waterkeringen

Drs. ing. Frans P.W. van den Berg
Senior levee specialist, Deltares te Delft, unit Geo-engineering, afdeling Dike technology



Dr. ir. André R. Koelewijn
Specialist R&D, Deltares te Delft, unit Geo-engineering, afdeling Dike technology



Inleiding

Sinds vele jaren worden de Nederlands waterkeringen gemonitord om uiteenlopende redenen. Het uiteindelijke hoofddoel betreft in alle gevallen het borgen van de waterveiligheid. Stijging van de zeespiegel, daling van het land en de toenemende economische waarde van het achterland zijn factoren die er toe bijdragen dat de waterveiligheid onder druk komt te staan. Het belang van monitoren om de waterveiligheid te borgen wordt daarmee steeds belangrijker. Daar komt bij dat de overgang van een zes-jaarlijkse naar een twaalf-jaarlijkse toetsing er toe leidt dat een aantal aspecten in het kader van de actieve zorgplicht intensiever gemonitord zal moeten worden. In dit artikel wordt een systematische opzet en uitvoering van monitoren beschreven.

Waarom monitoren?

Het monitoren van waterkeringen moet gebeuren op basis van specifieke vragen ten aanzien van het gedrag van de waterkering. Het monitoren om het monitoren zelf dient te worden vermeden. Doordat er verschillende ideeën zijn over wat monitoren inhoudt, zal er een definitie van monitoren gegeven worden. Wij hebben

gekozen voor een ruime definitie: 'Monitoren is het geheel van tijdsafhankelijke, waar nodig herhaalde metingen aan een waterkering en de verwerking daarvan, om indien nodig tot onderbouwde wijzigingen ten aanzien van de waterkering, het beheer ervan of de monitoring zelf te kunnen besluiten.' [van den Berg & Koelewijn, 2014].

Monitoren van waterkeringen kan op verschillende schaalniveaus, zie figuur 1. Van links naar rechts worden de volgende methoden weergegeven; onderzoek naar interne erosie, het meten van potentialen en geofysische meetmethoden vanaf de grond en vanuit de ruimte.

Systematische opzet en uitvoering

Op basis van literatuur en ervaring is een stappenplan ontwikkeld om tot een afgewogen monitoringssysteem voor waterkeringen te komen. Het bestaat uit de volgende negen stappen:

1. Verzamel en beoordeel informatie over de kering
2. Identificeer de uiterste grenstoestanden
3. Kies een monitoringstrategie
4. Leg het monitoringssysteem vast

5. Leg de eisen aan de instrumenten vast
6. Plan hoe om te gaan met de metingen
7. Rond het ontwerp af
8. Installeer het monitoringssysteem en zorg dat het benut wordt
9. Gebruik (en herzie het monitoringssysteem)

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. Deze stap moet zorgen voor een gelijk uitgangspunt voor alle betrokkenen.

b. Verzamel historische gegevens

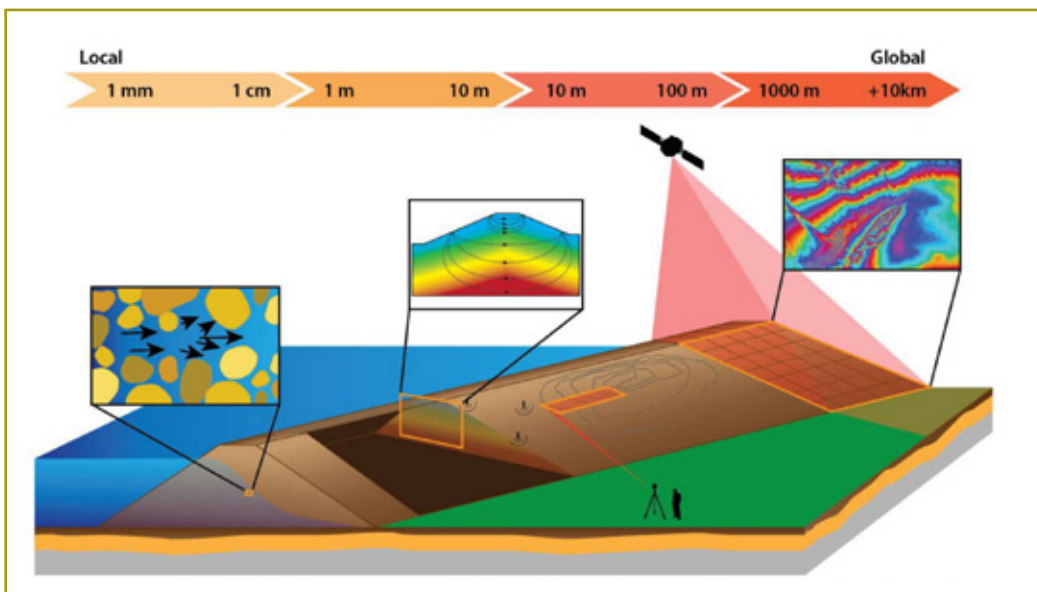
Relevante historische gegevens betreffen ontwerpdocumenten, as built-tekeningen, eerdere waarnemingen, resultaten van veld- en laboratoriumonderzoek, historisch kaartmateriaal en gegevens over bijzondere gebeurtenissen in het verleden, zoals dijkdoorbraken. Een aandachtspunt vormt de beperkte geldigheidsduur van veel gegevens. Denk hierbij aan metingen van de waterspanningen in een dijklichaam, die na een reconstructie van dat dijklichaam niet meer valide zijn of een boring in een gebied met een dik slappe-lagenpakket waar later een forse ophoging is aangebracht.

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 bruikbaarheids-grenstoestanden.

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 belastingen die samenhangen met een bijzondere situatie ter plaatse.



Figuur 1 - Monitoren van waterkeringen op verschillende schaalniveaus [Mooney, 2012]

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 ontsluifingsfunctie worden dan ook vaak aanvullende eisen gesteld die bijvoorbeeld scheurvorming in een weg op de dijk moeten tegengaan.

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. Kies een monitoringstrategie

De keuze van de monitoringstrategie is in hoge mate bepalend voor de uitwerking en hangt samen met de gehanteerde ontwerpfilosofie en de intensiteit van het onderhoud. Een veilige situatie met weinig onderhoud en weinig monitoring is doorgaans alleen te bereiken met een ontwerp dat hoge uitvoeringskosten kent. Bij het andere uiterste kan er sprake zijn van lage uitvoeringskosten, maar hoge onderhoudskosten en matig tot hoge kosten voor monitoring. Dan is de monitoring nodig om de effecten van het onderhoud te bepalen en eventueel te optimaliseren, maar ook om het veiligheidsniveau te kunnen aantonen.

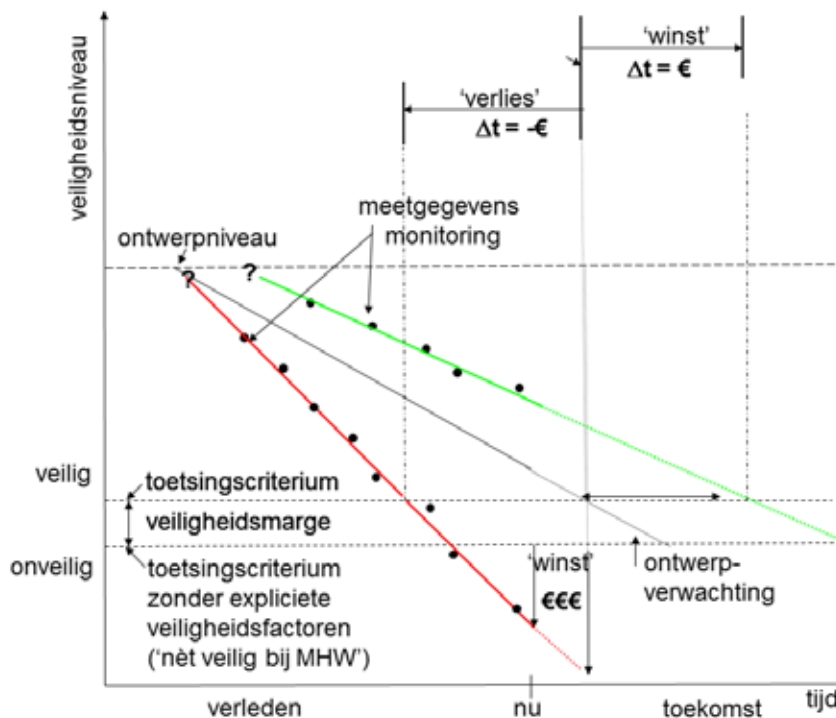
In figuur 2 is het veiligheidsniveau van een waterkering in de loop van de tijd schematisch weergegeven, met daarin het ontwerpniveau, het toetsingscriterium en de veiligheidsmarge die vereist is vanwege het onvermijdelijke tijdsverloop tussen afkeuren in de periodieke toetsing en een dijkversterking.

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, in combinatie met de inschattingen voor het ge-

Samenvatting

Sinds vele jaren worden de Nederlands waterkeringen om uiteenlopende redenen gemonitord. Het uiteindelijke hoofddoel betreft in alle gevallen het borgen van de waterveiligheid. Om het proces van monitoren waardevol te laten zijn, is een stappenplan ontwikkeld om tot een afgewogen monitoringssysteem voor waterkeringen te komen.

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



drag onder maatgevende omstandigheden, volgt telkens één veiligheidsniveau. Dit is aangegeven met een aantal dikke stippen rondom de groene en rode lijnen.

Gesteld kan worden dat er in het 'groene scenario' sprake is van potentiële winst ($\Delta t = \text{€}$) 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 ($\Delta t = -\text{€}$) 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 met monitoring bereikt kan worden'. Al zal dit scenario vanwege de conservatieve opzet van de toetsingsvoorschriften naar verwachting het vaakst optreden ('meer kennis leidt tot scherper toetsen'), het werke-

lijke 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 dus ook behaald wanneer de ontwerpverwachting 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.

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. Dit vergt een nadere analyse en keuzes. Daarbij geldt dat het doorgaans efficiënter is om een andere parameter op een andere plaats te meten. Voor bijvoorbeeld piping (terugschrijdende erosie) geldt dat erosie aan de binnenzijde van de dijk maatgevend is. Met instrumentatie is dit beter te bepalen uit waterspanningsmetingen of glasvezel-

temperatuurmetingen in de bovenkant van de pipinggevoelige zandlaag net bovenstrooms van het uittredepunt.

Wanneer er meerdere maatgevende faalmechanismen zijn, dan is het noodzakelijk na te gaan in hoeverre deze op elkaar in werken. Hierdoor kan met één instrument soms geen onderscheid gemaakt kan worden tussen het ene of het andere faalmechanisme.

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 gemeten signalen onjuist worden geïnterpreteerd. Eén van de grootste risico's bij monitoring ligt zodoende 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, grondige review van het monitoringplan.

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 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 extra aandacht vereist is en wanneer alarm geslagen moet worden. In het laatste geval is het noodzakelijk dat er snel gehandeld kan worden op basis van actuele meetwaarden en niet 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 ondergrenswaarden als bo-

vangrenswaarden zijn en het is ook denkbaar dat deze voor verschillende instrumenten met elkaar samenhangen. De concrete vaststelling van waarschuwings- en alarmwaarden per instrument en per groep van instrumenten kan pas plaatsvinden wanneer de keuze daarvoor is gemaakt (zie stap 4h), maar op dit punt moet er al aandacht aan worden besteed omdat dit van invloed is op andere keuzes.

d. Bepaal de mogelijkheden om in te grijpen

In samenhang met de waarschuwings- en alarmwaarden moet in deze fase 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. Dergelijke maatregelen moeten tevoren zijn voorbereid.

Bij het overschrijden van waarschuwingswaarden zouden dergelijke vergaande maatregelen nog niet nodig moeten zijn, maar kan 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. Bij defecten moet worden nagegaan wat de oorzaak is.

e. Registreer relevante omgevingsinvloeden

Relevante omgevingsinvloeden betreffen het weer, reguliere 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 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. Eén goedgeplaatst instrument kan overigens meer opleveren dan een reeks ondoordacht geplaatste instrumenten.

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]. Voor elk instrument moet worden aangegeven waarom het aangebracht moet worden. Daarbij geldt dat bij cruciale metingen redundantie zeker zinvol kan zijn.

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

De volgende stap betreft het concreet vaststellen van de te verwachten meetwaarden per instrument. Hiermee kunnen het benodigde meetbereik, het onderscheidend vermogen en de detectiesnelheid worden vastgesteld. Het onderscheidend vermogen en de detectiesnelheid zijn vooral van belang indien de range van verwachte meetwaarden groot is en weinig verschilt van de grenswaarden waarbij tot actie moet worden overgegaan. De snelheid waarmee veranderingen kunnen optreden tegenover de snelheid waarmee deze gedetecteerd kunnen worden kan van doorslaggevende invloed zijn bij de concrete selectie van meetmethoden en instrumenten. Verder is dit overzicht later te gebruiken om de betrouwbaarheid van de meetwaarden te bepalen.

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 wordt aangeraden om functionele eisen te formuleren. Dit maakt het gemakkelijker om uiteenlopende offertes van aanbieders te vergelijken. Van de aanbieders moet worden gevraagd aan te geven in hoeverre hun product(en) zullen voldoen aan de gestelde eisen. Bewezen betrouwbaarheid van vergelijkbare systemen onder vergelijkbare omstandigheden is daarbij een belangrijk voordeel. Overigens kunnen aanbieders onderling sterk verschillen in de mate waarin de op dit punt aangeleverde informatie zelf betrouwbaar is, het vragen om referenties bij andere opdrachtgevers wordt aanbevolen.

Bij de functionele eisen is het zinvol 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.

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 kunnen de volgende criteria worden gebruikt:

- Meetfrequentie
- Nauwkeurigheid
- Resolutie
- Reikwijdte
- Robuustheid
- Aanlooptijd
- Informatieverwerkingstijd
- Interpreteerbaarheid

Naast instrumentatie is ook een systeem nodig waarmee de metingen ontsloten kunnen worden.

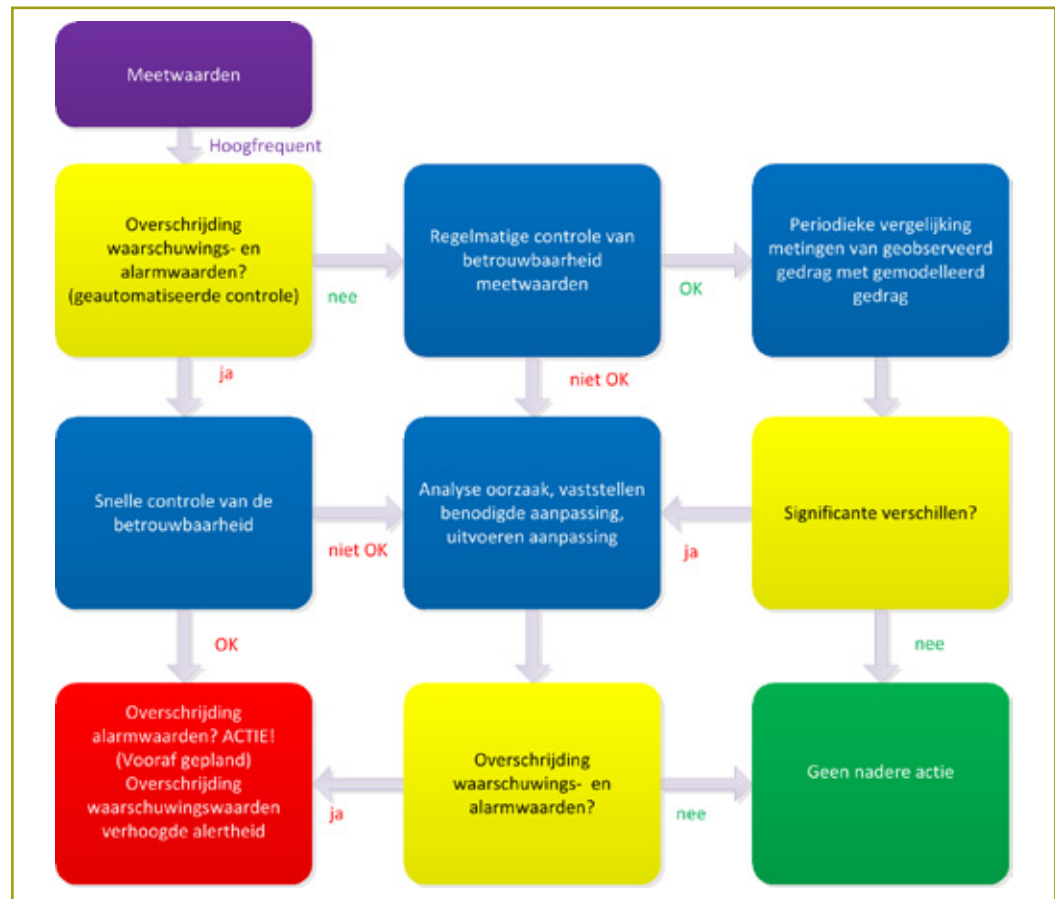
b. Stel procedures op om te kunnen bepalen of instrumenten goed functioneren

Onderdeel van het ontwerp van een monitoringssysteem is ook het periodiek controleren van het correcte functioneren van de instrumenten. Dit bestaat uit regelmatige calibratie (stap 5b) en controle van de meetwaarden (stap 6). Naast deze meer technische en routinematige procedures is het ook zinvol om regelmatig na te gaan in hoeverre er nog 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 de betekenis pas worden bepaald zodra er één of meer volgende meetwaarden bekend zijn of door ter plaatse poolhoogte te nemen, er kan immers ook sprake zijn van een meetfout. De meetfrequentie en de doorgifte-frequentie zullen hierop moeten worden afgestemd en eventueel ook 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 interpretatie van de metingen dient men er altijd op verdacht te zijn dat de kalibratiewaarden niet meer geheel juist zijn.



Figuur 3 - Handelingsschema voor beoordeling van meetwaarden in het kader van monitoring.

d. Plan installeren van de instrumenten

Het installeren van de instrumenten vergt enige tijd. Dit omvat de feitelijke tijd die nodig is om de instrumenten aan te brengen, maar ook het voorafgaande traject van vergunningen, toestemmingen, KLIC-melding, de planning in de tijd van het jaar (sommige activiteiten zijn een deel van het jaar maar beperkt of niet mogelijk) en de benodigde rusttijd na installatie, vooral bij plaatsing van instrumenten in het slappe-lagenpakket.

e. Stel aankoopspecificaties op voor de instrumenten c.q. het monitoringssysteem

Vanwege de wenselijkheid van concurrerende, vergelijkbare offertes kunnen de aankoopspecificaties het beste geformuleerd worden in functionele eisen. Een deskundige kan worden betrokken voor de formulering van deze eisen en bij de beoordeling van de aanbiedingen.

6. Plan hoe om te gaan met de metingen

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. In figuur 3 is een schema weergegeven dat

van nut kan zijn bij de inrichting van het systeem, zowel technisch als organisatorisch. Betrouwbaarheid en tijdig handelen staan hierbij voorop.

b. Plan de verwerking van meetgegevens

Na de initiële controle op de overschrijding van waarschuwings- en alarmwaarden is periodiek een meer gedegen controle van de metingen vereist, voordat deze als betrouwbaar kunnen worden opgeslagen en verder worden gebruikt.

Voorspellingen ten aanzien van dijksterkte kunnen worden verfijnd door het toevoegen van gedragsmonitoring, waarnemingen, anomalie-detectie en expert judgement. Afwijkend gedrag kan semi-automatisch worden opgespoord door het toepassen van wiskundige algoritmen waarbij eventueel de hele meetreeks wordt meegenomen. In voorspellingsmodellen kan de data zijn nut bewijzen, bijvoorbeeld door de modelparameters te verbeteren met inverse analyse of door parameterfitting.

c. Leg verantwoordelijkheden vast

De verantwoordelijkheden voor de verschillende onderdelen kunnen het beste worden neergelegd bij de partij die op een bepaald onderdeel de meeste invloed heeft. Financiën, institutionele macht 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

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

Het is verstandig om op dit punt een begroting te maken. Wanneer de begrote kosten niet overeenkomen met het beschikbare budget, dan moeten meestal enkele tot vele stappen terug worden gezet. Dit geldt 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 daarmee de overall-risico's worden verkleind.

b. Beschrijf het systeem in een toegankelijk ontwerpverslag

Op basis van de voorgaande stappen kan het ontwerp worden vastgelegd in een samenhangend verslag. Het maken van zo'n verslag alleen al kan eventuele inconsistenties aan het licht brengen. Daarnaast is het ontwerpverslag 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. Ter verificatie van een juiste werking zal het systeem ook getest moeten worden. Daarnaast vergt de inbedding in de organisatie ook de nodige aandacht – anders is de hele opzet mogelijk zelfs zinloos – en leidt in het ideale geval tot een zekere onzichtbaarheid van het systeem doordat het 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, aanvankelijk met een hogere frequentie dan later. Incidenten als uitval of overschrijding van waarschuwings- en alarmwaarden kunnen ook aan-

leiding zijn voor een herziening.

Literatuur

- [van den Berg & Koelewijn, 2014] Berg, van den, F.P.W. & Koelewijn, A.R., IV keten, Veiligheid als basis, Monitoringsfilosofie en proeftuinen, 1207933-000-VEB-0001-v2, Deltares, Delft, januari 2014
- [Dunnicliff, 1993] Dunnicliff, J., Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, Wiley, New York, 577 pp.
- [Mooney, 2012] Mooney, M. Advancing earth dam and levee sustainability through monitoring science and condition assessment, Toegekend voorstel onder het PIRE-programma van het National Science Fund, Golden, Colorado, 2012.
- [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.

OP ONS KUNT U BOUWEN

Projectondersteuning bij paalmatrasen

TenCate biedt kennis en ondersteuning bij het ontwerp en de realisatie van uw paalmatras project. Wereldwijde ervaring en uitvoerige kennis van de meest recente ontwerprichtlijnen zorgen voor een economisch en betrouwbaar ontwerp. Onze oplossing bevat ontwerpadvies, hoge sterkte geogrids en geotextielen en installatie ondersteuning. TenCate, materials that make a difference!



TenCate Geosynthetics Netherlands bv

Hoge Dijkje 2
7443 AE Nijverdal
Postbus 9
7440 AA Nijverdal

Tel. +31 (0)546 544 811
Fax +31 (0)546 544 490

geonederland@tencate.com
www.tencategeosynthetics.com

 **TENCATE**
materials that make a difference