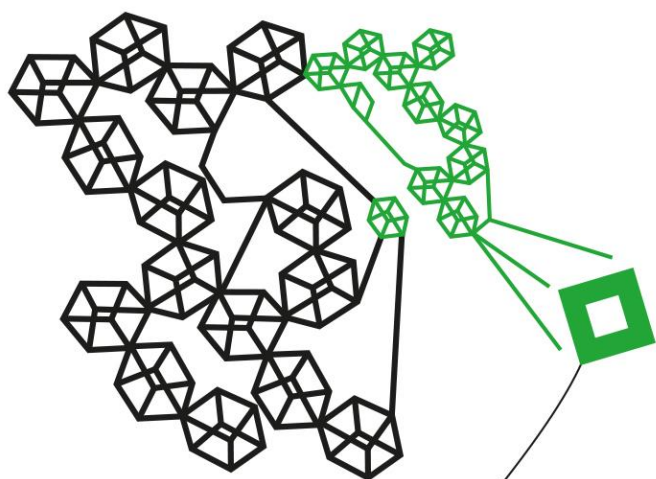


# DIJKMONITORINGS- TECHNIKEN BIJ HET WATERSCHAP VALLEI EN VELUWE

BZ Ingenieurs & Managers



AUTEUR: J.H.J. KROM (S2844222)  
BACHELOR SCRIPTIE  
DATUM: 03-07-2024

FACULTEIT: ENGINEERING TECHNOLOGY  
BACHELOR: CIVIELE TECHNIEK

BEGELEIDER UT:  
P.F.V.W. FRANKEMÖLLE, MSC

BEGELEIDER BZIM:  
IR. I.C. VAN KLAARBERGEN

2<sup>de</sup> BEOORDELAAR UNIVERSITEIT TWENTE:  
DR.IR. J. VINKE – DE KRUIJF

# UNIVERSITY OF TWENTE.

## Colofon

DATUM

03-07-2024

AUTEUR

J.H.J. Krom

PROJECT

Bachelor scriptie Civiele Techniek

EMAIL

[j.h.j.krom@student.utwente.nl](mailto:j.h.j.krom@student.utwente.nl)

[jurian.krom@bzim.nl](mailto:jurian.krom@bzim.nl)

SUPERVISIE UNIVERSITEIT TWENTE

MSc, P.F.V.W. Frankemölle

ORGANISATIES

BZ Ingenieurs & Managers (BZIM)

Universiteit Twente (UT)

SUPERVISIE BZIM

Ir. I.C. van Klaarbergen

2<sup>de</sup> BEOORDELAAR UNIVERSITEIT TWENTE

Dr.ir. J. Vinke – de Kruijf

# UNIVERSITY OF TWENTE.



waterschap  
**vallei en  
veluwe**



INGENIEURS &  
MANAGERS

ADVIES IN WATER

## Voorwoord

Voor u ligt de bachelor scriptie 'Dijkmonitoringstechnieken bij het Waterschap Vallei en Veluwe'. Deze scriptie is geschreven als afsluiting van de driejarige bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Deze eindopdracht heb ik vanaf eind april 2024 tot begin juli 2024 uitgevoerd bij BZ Ingenieurs & Managers (BZIM). Het schrijven van deze scriptie was een uitdagende en leerzame ervaring, die heeft bijgedragen aan het verbreden van mijn kennis op het gebied van waterveiligheid.

Tijdens mijn tijd bij BZIM heb ik altijd een prettige werksfeer ervaren. Ik wil al mijn collega's bedanken voor de gezellige en leerzame tijd. Ik wil in het bijzonder mijn begeleider van BZIM, Iris van Klarbergen, bedanken voor de goede begeleiding en feedback tijdens het schrijven van mijn scriptie.

Daarnaast wil ik mijn dank uitspreken aan de medewerkers van het Waterschap Vallei en Veluwe, die hun tijd en kennis beschikbaar gesteld hebben voor een interview.

Tot slot wil ik mijn begeleider van de universiteit, Phillipe Frankemölle, bedanken. Door goede feedback, snelle reacties en bereidheid om mee te denken is deze scriptie tot een goed einde gebracht.

Ik wens u veel leesplezier,

Jurian Krom

Deventer, 3 juli 2024

## Samenvatting

In dit rapport worden de actuele ontwikkelingen van dijkmonitoringstechnieken bij het Waterschap Vallei en Veluwe (WVV) behandeld.

Het onderzoek richt zich op de vraag: 'Wat zijn de actuele ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken bij WVV en op welke manier dragen deze bij aan een verbeterd beheer, onderhoud en de implementatie van passende versterkingsmaatregelen?' Deze hoofdvraag is opgesplitst in vier deelvragen die betrekking hebben op de toegepaste technieken, de technische specificaties, de besluitvorming om te starten met monitoring en hoe de data leidt tot besluitvorming over versterkingsmaatregelen.

De methode die gebruikt is om de deelvragen te beantwoorden waren expertinterviews. Er zijn vier interviews afgenomen bij beleidsmedewerkers en dijkbeheerders. Een uitkomst van de resultaten is een storyline van het WVV over dijkmonitoringstechnieken die door andere waterschappen als kennisbron kan worden gebruikt.

In het onderzoek worden verschillende meet- en monitoringstechnieken besproken.

Meettechnieken:

- LiDAR, boringen, sonderingen en pomproeven voor het in kaart brengen van de geometrie, bodemopbouw en andere relevante parameters.

Monitoringstechnieken:

- Peilbuizen en waterspanningsmeters voor het monitoren van de waterspanning en stijghoogte
- Drones met infrarood en visuele inspecties tijdens uitzonderlijke situaties om de veiligheid te waarborgen en te voorkomen dat dijken falen.

De technische randvoorwaarden omvatten de meetfrequentie, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en kalibratie en validatie van sensoren. Voor peilbuizen wordt de data elke zes uur uitgelezen, met een verhoogde frequentie tijdens hoogwater. Validatie gebeurt zowel intern als extern.

De besluitvorming om te starten met dijkmonitoring bij WVV is gebaseerd op nauwkeurigere inzichten in de dijksterkte te verkrijgen. In de beoordeling zat veel onzekerheid. In een model is zekerheid ingebouwd, daardoor waren de uitkomsten conservatief. Het monitoringsprogramma is gericht op langjarige monitoring om waardevolle data te verzamelen die kunnen bijdragen aan het aanscherpen van de versterkingsopgaven.

De data van monitoring wordt gebruikt om berekeningen uit te voeren om tot een faalkans voor piping en macro-instabiliteit te komen. De peilbuisdata wordt gebruikt om het stijghoogte verloop te bepalen. Dit is een belangrijke parameter voor de berekeningen van de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit.

Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden dat de dijkmonitoringstechnieken WVV in staat stelt om nauwkeuriger en betrouwbaarder data te verzamelen. Dit leidt bij het waterschap tot effectievere en efficiëntere versterkingsopgaven.

## Summary

This report discusses current developments in dike monitoring techniques at the water board Vallei en Veluwe(WVV).

The research focuses on the question: 'What are the current developments in dike monitoring techniques at WVV and in what way do they contribute to improved management, maintenance and implementation of appropriate reinforcement measures?' This main question was broken down into four sub-questions related to the techniques used, the technical specifications, the decision-making process to start monitoring and how the data leads to decisions for reinforcements.

The method used to answer the sub-questions were expert interviews. Four interviews were conducted with experts. An outcome of the results is a storyline about WVV on dike monitoring techniques that can be used by other water boards as a source of knowledge.

Several measurement and monitoring techniques are discussed in the study:

Measurement techniques:

- LiDAR, drilling, probing and pumping tests for mapping the geometry of the dike, soil structure and other relevant parameters.

Monitoring techniques:

- Monitoring wells and pore pressure gauges for monitoring pore pressure and head.
- Drones with infrared and visual inspections during exceptional situations to ensure safety and prevent dike failure.

Technical constraints include measurement frequency, accuracy, reliability, and calibration and validation of sensors. For monitoring wells, data is read every six hours, with an increased frequency during high water. Validation is done both internally and externally.

The decision to start dike monitoring at WVV was based on obtaining more accurate insights into dike strength. The assessment of the dikes contained a lot of uncertainty due to conservative assumptions. The monitoring program is focused on long-term monitoring to collect valuable data that can contribute to fine-tune the reinforcement assignments.

The monitoring data is used to perform calculations to find a failure probability for piping and macro stability. The monitoring well data is used to determine the hydraulic head. This is an important parameter for the calculations for the failure mechanisms piping and macro stability.

It can be concluded from the study that the dike monitoring techniques enable WVV to collect more accurate and reliable data. This leads to more effective and efficient reinforcement assignments.

# Inhoudsopgave

<b>COLOFON</b>	<b>II</b>
<b>VOORWOORD</b>	<b>III</b>
<b>SAMENVATTING</b>	<b>IV</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>V</b>
<b>INHOUDSOPGAVE</b>	<b>1</b>
<b>1. INLEIDING</b>	<b>3</b>
1.1. AANLEIDING	3
1.2. ONDERZOEKSOPZET	4
1.2.1. <i>Onderzoeksdoel</i>	4
1.2.2. <i>Onderzoeksvragen</i>	4
1.3. LEESWIJZER	4
<b>2. THEORETISCH KADER</b>	<b>5</b>
2.1. BETROKKEN PARTIJEN	5
2.2. HET STUDIEGEBIED	5
2.3. FAALMECHANISMEN	6
2.4. MONITOREN VAN DIJKEN	7
2.4.1. <i>Basismonitoring</i>	8
2.4.2. <i>Projectmonitoring</i>	8
<b>3. ONDERZOEKSMETHODE</b>	<b>9</b>
3.1. INTERVIEWS	9
3.2. STORYLINE	10
<b>4. RESULTATEN: MEET- EN MONITORINGSTECHNIEKEN</b>	<b>12</b>
4.1. TOEPASSINGEN VAN TECHNIEKEN	12
4.1.1. <i>Doelstellingen</i>	12
4.1.2. <i>Meettechnieken</i>	12
4.1.3. <i>Monitoringstechnieken</i>	14
4.2. TECHNISCHE RANDVOORWAARDEN EN SPECIFICATIES	16
4.2.1. <i>Beoordelingsmatrix</i>	16
<b>5. RESULTATEN: MONITORINGSPLAN</b>	<b>18</b>
5.1. AANLEIDING	18
5.2. REALISATIE MONITORINGSNETWERK	19
5.3. LIFE CYCLE MONITORING (LCM)	20
5.4. DATAVERWERKING GEKOPPELD AAN VERSTERKINGSMATREGELEN	21
<b>6. DISCUSSIE</b>	<b>23</b>
<b>7. CONCLUSIE</b>	<b>24</b>
<b>8. AANBEVELINGEN</b>	<b>26</b>
<b>REFERENTIES</b>	<b>27</b>
<b>APPENDIX</b>	<b>29</b>
APPENDIX A: INTERVIEW VRAGEN	29
APPENDIX B: INTERVIEWS	31
<i>Appendix B.1 – Expertinterview 1</i>	31

---

<i>Appendix B.2 – Expertinterview 2</i>	37
<i>Appendix B.3 – Expertinterview 3</i>	42
<i>Appendix B.4 – Expertinterview 4</i>	46
APPENDIX C: STORYLINE	55

# 1. Inleiding

## 1.1. Aanleiding

Nederland staat wereldwijd bekend door haar strijd tegen het water. In totaal ligt er in Nederland 17.000 kilometer aan waterkeringen (*Unie van Waterschappen*, z.d.). Een groot deel van deze waterkeringen bestaat uit dijken. Met een derde van het land onder het zeeniveau en een groot deel dat een overstromingsrisico loopt, zijn dijken een van de essentiële beschermingen van het land. Sinds 1 januari 2017 moeten de primaire waterkeringen voldoen aan een nieuwe norm opgenomen in de Waterwet. De Waterwet regelt in hoofdlijnen het beheer van watersystemen, ook gericht op de veiligheid tegen overstromingen (*Kenniscentrum InfoMil*, z.d.). Door deze strengere veiligheidsnormen voldoen veel dijken niet meer aan de normen. Om de versterkingsopgave te realiseren is het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) op touw gezet (*HWBP*, z.d.-a). Hier werken 21 waterschappen en Rijkswaterstaat samen aan de grootste dijkversterkingsoperatie sinds de Deltawerken.

In 2022 is de eerste beoordelingsronde op basis van de nieuwe overstromingskans afgerond (van Hooijdonk, 2023). Dit doen Rijkswaterstaat en de waterschappen minimaal eens per twaalf jaar. Uit de inschatting van deze beoordeling kwam dat ruim 2000 kilometer versterkt moet worden. De huidige financiering vanuit de staat bedraagt 12,6 miljard euro tot 2050. Een eerste kosteninschatting laat zien dat er meer geld nodig is. De schatting is dat er tussen de 15.7 miljard en 32.9 miljard euro totaal nodig is, dit laat zien dat het nog onzeker is hoeveel geld precies nodig is. De vraag van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en de waterbeheerders is dan ook hoe de opgave kan worden aangescherpt. In de komende beoordelingsronden wordt door IenW daarom ingezet om continue inzicht in de keringen te krijgen.

Om meer inzicht te krijgen in dijken spelen meten en monitoren een belangrijke rol. Het meten verwijst naar het eenmalig verzamelen van specifieke informatie, bij monitoring wordt langdurig data verzameld en geanalyseerd. Het gedrag van waterkeringen is moeilijk te voorspellen en daarom worden vaak conservatieve berekeningen gebruikt, wat leidt tot onnodig grote dijkversterkingen. Met meer inzicht kunnen naar verwachting de kosten voor ontwerp, onderhoud en dijkversterkingsprojecten worden verlaagd. De meet- en monitoringstechnieken dragen bij aan de toetsing van veiligheid, risicobeheersing, optimalisatie van het versterkingsontwerp bij een afgekeurde dijk, 'Early Warning Systems' en de optimalisatie van het langjarige beheer en onderhoud (Sensoren, 2019).

Ondanks de publicaties van diverse rapporten (Bouma et al., 2012; de Vries et al., 2013; van den Berg & Koelewijn, 2014), 'standaardwerken' (STOWA-adviesrapporten en -leidraden) en inspectiewijzers over dijkmonitoringstechnieken in de afgelopen 15 jaar zijn deze in 2024 verouderd. De technologische ontwikkelingen en ervaringen van waterschappen op het gebied van dijkmonitoring zijn verder gevorderd dan in deze verouderde rapporten beschreven staat. Door de groeiende rol van dijkmonitoring in het beheer van waterkeringen is het belangrijk om informatie te actualiseren. Zo kan de implementatie van dijkmonitoring structureel en doelmatig verder worden gebracht. Om de informatie te actualiseren wordt in opdracht van Bakkenist en Zomer Ingenieurs & Managers (BZIM) een storyline over dijkmonitoring geschreven.

De storyline wordt geschreven voor Waterschap Vallei en Veluwe (WVV). In de storyline wordt toegelicht hoe dijkbeheerders, adviseurs en andere partijen meet- en monitoringstechnieken hebben overwogen en toegepast. Hierin moet ook duidelijk worden hoe het WVV tot besluitvorming is gekomen om dijken te gaan monitoren en hoe deze inzichten door monitoring gebruikt worden en uiteindelijk leiden tot besluiten om versterkingsmaatregelen toe te passen. Om hier inzicht in te krijgen zijn interviews bij medewerkers van het waterschap afgenomen. De storyline kan waardevolle inzichten bieden in de praktische toepassingen van de technieken in het beheer en onderhoud van de dijken. Het dient ook als een handreiking voor andere waterschappen om dijkmonitoring te implementeren



voor het dijkbeheer. Om dit mogelijk te maken wordt de storyline gepubliceerd in een wiki omgeving over dijkmonitoring. De storyline draagt bij aan de aanscherping van de versterkingsopgave van het HWBP die voor 2050 voltooid moet worden.

In dit onderzoek worden de resultaten van het onderzoek naar de actuele ontwikkelingen op het gebied van meet- en monitoringstechnieken van het WVV besproken.

## 1.2. Onderzoeksopzet

### 1.2.1. Onderzoeksdoel

Het doel van dit project is om de recente ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken bij WVV te onderzoeken en te analyseren. Er kan dan meer inzicht worden verkregen in de wijze waarop deze monitoringstechnieken kunnen worden ingezet. Dit moet bijdragen aan verbeterd dijkbeheer, onderhoud en het toepassen van passende versterkingsmaatregelen wanneer nodig.

### 1.2.2. Onderzoeksvragen

Om het onderzoeksdoel te behalen is de volgende hoofdvraag opgesteld:

*“Wat zijn de actuele ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken bij WVV en op welke manier dragen deze bij aan een verbeterd beheer, onderhoud en de implementatie van passende versterkingsmaatregelen?”*

De deelvragen die nodig zijn om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden staan hieronder geformuleerd. De eerste twee deelvragen focussen zich op de toegepaste meet- en monitoringstechnieken van het WVV.

1. Welke meet- en monitoringstechnieken worden toegepast en waarom?
2. Wat zijn de technische randvoorwaarden en specificaties voor de meet- en monitoringstechnieken?

Om meer inzicht te krijgen in de opzet van het monitoringsplan zijn de volgende deelvragen opgesteld:

3. Hoe is de besluitvorming om te starten met dijkmonitoring verlopen?
4. Hoe heeft de beheerder de dataverwerking en -analyse georganiseerd; en hoe is dit gebruikt voor besluitvorming over versterkingsmaatregelen?

## 1.3. Leeswijzer

In hoofdstuk 2: ‘Theoretisch kader’ wordt de achtergrond informatie over dijkmonitoringstechnieken gegeven. Hoofdstuk 3: ‘Onderzoeksmethode’ beschrijft hoe de informatie is verzameld om de deelvragen en hoofdvraag te kunnen beantwoorden. De resultaten van het onderzoek staan in hoofdstuk 4: ‘Resultaten: meet- en monitoringstechnieken’ en hoofdstuk 5: ‘Resultaten: monitoringsplan’. Hoofdstuk 6: ‘Discussie’ behandelt de relevantie en beperkingen van het onderzoek. In hoofdstuk 7: ‘Conclusie’ wordt antwoord gegeven op de deelvragen en de hoofdvraag. In hoofdstuk 8: ‘Aanbevelingen’ worden adviezen gegeven en mogelijkheden voor vervolgonderzoek.

## 2. Theoretisch kader

### 2.1. Betrokken partijen

In dit project zijn verschillende partijen betrokken. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van BZIM. BZIM is een civieltechnisch adviesbureau gevestigd in Deventer gespecialiseerd in waterveiligheid en waterbeheer. In deze case is een storyline geschreven over WVV. Om te achterhalen welke dijkmetingen en -monitoring zijn overwogen en toegepast in de case van WVV, moet er informatie worden ingewonnen bij dijkbeheerders en adviseurs.

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) vervult een rol in dit project als kenniscentrum van de waterschappen in Nederland. Ze speelt een centrale rol in de ontwikkeling en verspreiding van kennis over dijkmonitoringstechnieken en -strategieën. STOWA heeft in de afgelopen 15 jaar diverse rapporten, STOWA-adviesrapporten (standaardwerken) en inspectiewijzers over dijkmonitoringstechnieken gepubliceerd, die dienen als basis voor dijkbeheer. STOWA speelt een belangrijke rol bij de actualisatie van kennis en richtlijnen op het gebied van dijkmonitoring.

Het Netwerk Dijkmonitoring is een netwerk van medewerkers van waterschappen, marktpartijen, zoals BZIM en kennisinstellingen met als doel de verspreiding van kennis over dijkmonitoring. Kennis en gebruikerservaringen op het gebied van dijkmonitoring worden verzameld en gebundeld in STOWA-rapporten door het netwerk. Daarnaast worden jaarlijks zes tot acht workshops georganiseerd om kennisdeling binnen het vakgebied mogelijk te maken. Door dit netwerk kan het gebruik van dijkmonitoring vergroot worden en wil het netwerk de volledige potentie van dijkmonitoring benutten. BZIM geeft samen met Arcadis, Fugro, Deltares en STOWA sturing aan het netwerk, levert ondersteuning aan dijkbeheerders en vormen samen het kernteam.

### 2.2. Het studiegebied

Het studiegebied van dit onderzoek is het WVV. Het waterschap ligt in de provincies Gelderland, Utrecht en twee gebieden van de Overijsselse gemeente Olst-Wijhe aan de westzijde van de IJssel. Sterke en goed onderhouden dijken zijn belangrijk, omdat dit gebied deels onder zeeniveau ligt. De Randmeerdijken, de IJsseldijk en de Grebbedijk zijn de primaire dijken in het gebied (*Waterschap Vallei en Veluwe*, z.d.). Deze dijken beschermen tegen hoogwater uit de IJssel, Neder-Rijn en randmeren. Het beheergebied bestaat totaal uit 141 kilometer aan primaire dijken. Verder beheert het waterschap 47 kilometer aan regionale dijken, die het land beschermen langs de kleinere rivieren en kanalen, zoals de Eem, Laak en het Apeldoorns Kanaal. De overige 60 kilometer bestaat uit dijken en kades die liggen in de uiterwaarden van de rivieren en meren. In Figuur 1 is een overzicht afgebeeld van de primaire, regionale en overige keringen van WVV

De primaire waterkeringen van het WVV zijn de IJsseldijk, de Grebbedijk en de Noordelijke Randmeerdijken zijn aangegeven in Figuur 1. De versterking van de Noordelijke Randmeerdijk is in 2023 afgerond. De Grebbedijk zit op dit moment in de planuitwerkingsfase van het project. In deze fase van het project wordt het voorkeursalternatief uitgewerkt tot een definitief ontwerp. Uit de beoordeling van de IJsseldijk is gebleken dat deze niet meer voldoet aan de nieuwe normen. Voor de IJsseldijk is nu een trajectaanpak opgesteld om tot een passende versterkingsopgave te kunnen komen.

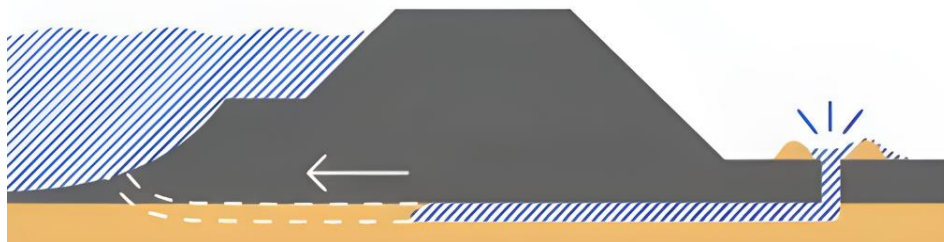


Figuur 1: Overzicht van kades en dijken, Rood: Primaire keringen, Blauw: regionale keringen, Groen: Overige keringen  
(Naar: Waterschap Vallei en Veluwe open geodata portaal, 2024)

### 2.3. Faalmechanismen

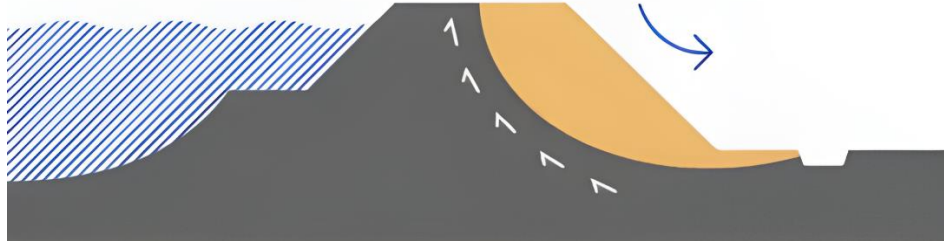
Door monitoring kunnen kwetsbare plekken voor het optreden van faalmechanismen worden geïdentificeerd. Een faalmechanisme is een opeenvolging van gebeurtenissen waardoor een dijk kan bezwijken. Langjarige monitoring gericht op het gedrag van waterspanningen in dijken, is relevant voor de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit (*HWBP*, z.d.-b).

Bij het faalmechanisme piping is er sprake van hoogwater waardoor er onder hoge druk grondwaterstromingen onder de dijk kunnen ontstaan (*Deltares*, z.d.). Deze grondwaterstroom voert zand mee in een 'pipe', naarmate er meer zand wordt weggespoeld groeit de tunnel. Het uittredepunt is een well of sloot aan de binnenzijde van de dijk. Hier komt het zand onder druk weer naar het oppervlakte. Een zand meevoerende well is vaak het eerste zichtbare teken dat duidt op piping. Na verloop van tijd kunnen de waterkanalen groot genoeg worden om de stabiliteit van de dijk in gevaar te brengen. De tunneltjes kunnen leiden tot verzakkingen of het volledige falen van de dijk. In Figuur 2 is schematisch afgebeeld hoe het faalmechanisme piping ontstaat.



Figuur 2: Piping als gevolg van waterstroming door de ondergrond waarbij water grond wegspoelt en de dijk ondermijnt  
(Wiki noodmaatregelen, z.d.)

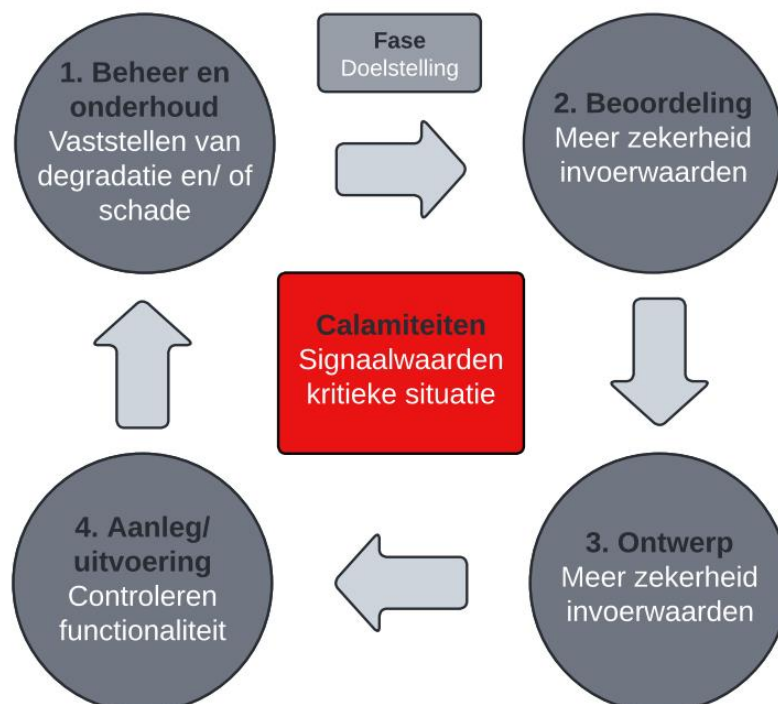
Macro-instabiliteit binnenwaarts verwijst naar de instabiliteit van de landzijde van de dijk. Het probleem ontstaat wanneer de binnenwaartse helling instabiel wordt als gevolg van een hoge waterspanning in de grond van de dijk. Het gevolg is dat het kan leiden tot grote verzakkingen of scheuren aan de landzijde van de dijk. Dit kan leiden tot het volledige falen van de dijk. In Figuur 3 is het faalmechanisme macro-instabiliteit binnenwaarts schematisch afgebeeld.



Figuur 3: Macro-instabiliteit binnenwaarts, het afschuiven van het binnentalud door de waterdruk tegen de kering en de verhoogde waterspanning in de grond (Wiki noodmaatregelen, z.d.)

## 2.4. Monitoren van dijken

In hoofdstuk 2.3. zijn de belangrijkste faalmechanismen uitgelegd die gemonitord kunnen worden. Inzicht krijgen in parameters die belangrijk zijn bij faalmechanismen is een mogelijk doel. Het doel van monitoring hangt ook af van de fase in de levenscyclus waarin de dijk zich bevindt (van Beek, 2017). Dijkmonitoring draagt bij aan de optimalisatie van risicobeheer, dijkveiligheid en het beheer en onderhoud, dit zowel bij de zorgplicht en de uitvoering van versterkingsprojecten. Het is belangrijk om gedurende de hele levensfase van de dijk te monitoren. De fases van een levenscyclus bestaan uit 1. Beheer en onderhoud, 2. Beoordeling, 3. Ontwerp en 4. Aanleg/uitvoering. De monitoring gedurende het beheer en onderhoud van de dijk draagt bij aan het vroegtijdig detecteren van problemen. Het monitoren van faalmechanismen is van belang voor de beoordeling en het ontwerp van dijken. Tijdens de uitvoering van de versterking wordt de functionaliteit van de dijk gemonitord. In Figuur 4 staat het doel van dijkmonitoring tijdens elke levensfase van de dijk.



Figuur 4: Rol van monitoring in verschillende levensfasen (Naar: van Beek, 2017)

Door monitoring kan onderhoud van dijken worden gebaseerd op actuele data van de dijksterkte, zo wordt onderhoud geoptimaliseerd. Ook verbetert het de veiligheid van de dijken door real-time data over de stabiliteit van de dijk. Het planmatig opstellen, uitvoeren en optimaliseren van dijkmonitoring over de gehele levensduur van de dijk wordt Life Cycle Monitoring (LCM) genoemd. De opbrengsten van monitoring gedurende de hele levenscyclus zijn een betere kwaliteit van de dijk en kostenbesparing op de lange termijn (Koelewijn & van der Meer, 2017). Het monitoren van dijken kan voor veel verschillende doelen worden ingezet, daarom is er onderscheid gemaakt tussen basismonitoring en projectmonitoring (Zomer et al., 2024).

#### 2.4.1. Basismonitoring

De basismonitoring van dijken is gericht op de gehele levenscyclus van de dijk. Het is het basisniveau van dijkmonitoring dat systeemdekkend aanwezig moet zijn en continue moet functioneren. Hoe de basismonitoring wordt geïmplementeerd en uitgevoerd hangt af van de uitgangssituatie en ambitie van de beheerder. Dit niveau van monitoring kan ingezet worden in elke fase van de levenscyclus van de dijk. Basismonitoring moet meegroeien met veranderingen van het dijksysteem door versterkingsprojecten en veranderende taken van het waterschap.

#### 2.4.2. Projectmonitoring

Wanneer al basismonitoring voor een versterkingsproject aanwezig was wordt dit ook wel nul-monitoring genoemd. Nul-monitoring wordt een lange periode gedaan om de uitgangssituatie van een dijk voor een versterkingsproject te kunnen bepalen. Dit kan voor een project nog verder uitgebreid worden om aanvullende informatie over dijkvakken te verzamelen. Tijdens het project is het projectteam verantwoordelijk voor het monitoren en het waarborgen van de dijkveiligheid. Als het project wordt afgerond en daarna de beheer- en onderhoudsfase in gaat ligt de verantwoordelijkheid weer bij het waterschap. De ingezette instrumenten dragen bij aan de zorgplicht van de dijk. Deze kunnen worden behouden en toegevoegd aan het basisnetwerk.

In Figuur 5 staat wat het verband is tussen basis- en projectmonitoring. Hierin staan ook de doelen voor het inrichten van een monitoringsnetwerk en de aspecten waar het op beoordeeld wordt.



Figuur 5: Dijkmonitoring met bij behorende doelen en rechts de beoordelingsaspecten bij de implementatie van dijkmonitoring binnen een organisatie (Zomer et al., 2024)

### 3. Onderzoeksmethode

Dit hoofdstuk behandelt de onderzoeksmethoden. De eerste twee deelvragen richten zich op de toegepaste meet- en monitoringstechnieken, de laatste twee deelvragen gaan in op het opgestelde monitoringsplan en de wijze waarop dit door het waterschap is ontwikkeld en toegepast. Om data te verzamelen ligt de focus op een kwalitatief onderzoek. De methodes die gebruikt worden om de onderzoeksvragen te beantwoorden zijn interviews en het opstellen van de storyline. De case study gaat over WVV. In dit hoofdstuk wordt per deelvraag uitgelegd hoe de informatie wordt verzameld om de deelvraag te beantwoorden.

#### 3.1. Interviews

Om de deelvragen te kunnen beantwoorden zijn experts van het WVV geïnterviewd. Bij onderzoek naar dijkmonitoring wordt vaak gebruik gemaakt van interviews (de Lange, 2019; Vermeulen, 2023). De experts van het waterschap hebben de functie van dijkbeheerders, adviseurs, beleidsmedewerkers en beleidsadviseurs. In Tabel 1 staat een lijst met de geïnterviewde medewerkers van WVV. De namen van de geïnterviewden zijn opgenomen in dit verslag met toestemming. Het interview met expert 1 en expert 2 zijn geanonimiseerd.

Tabel 1: Lijst van geïnterviewden

Naam	Functie	Datum	Appendix
Expert 1	Adviseur	08-05-24	<a href="#">B.1</a>
Karel Hagemans	Dijkmonitoringsexpert IJsseldijk	16-05-24	<a href="#">B.2</a>
Expert 2	Adviseur	16-05-24	<a href="#">B.3</a>
Renée Rookus	Adviseur waterkeringen en projectleider toetsing	21-05-24	<a href="#">B.4</a>

Aan de hand van de interviews kon een diepgaand inzicht gekregen worden om de storyline te kunnen schrijven en de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden. De geïnterviewden zijn experts op het gebied van dijkbeheer en hebben allemaal een functie gerelateerd aan dijkmonitoring. Voor de interviews is de structuur van een semigestructureerd interview gebruikt. Bij een semigestructureerd interview zijn een deel van de vragen voorafgaand vastgelegd. Het geeft de mogelijkheid om door te vragen op verkregen antwoorden.

Voor de interviews zijn de deelvragen opgedeeld in verschillende onderwerpen. In Appendix A is het interviewschema toegevoegd. Niet iedereen had de expertise om elke vraag te kunnen beantwoorden. Wanneer een bepaald onderwerp niet besproken is, staat dit vermeld bij het betreffende interview. De interviews zijn na correctie en toestemming opgenomen in Appendix B. In het interview zijn de volgende onderwerpen behandeld:

1. Algemeen | Functie en betrokkenheid
2. Toepassingen van meet- en monitoringstechnieken
3. Technische randvoorwaarden en specificaties
4. Besluitvorming dijkmonitoring
5. Dataverwerking
6. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen
7. Algemeen | Leerpunten & adviezen

#### **Deelvraag 1: Welke meet- en monitoringstechnieken worden toegepast en waarom?**

Toepassingen van meet- en monitoringstechnieken (onderwerp 2) van het interview geeft inzicht in de meet- en monitoringstechnieken die het WVV gebruikt voor dijkmonitoring. Van het waterschap is al bekend dat peilbuizen worden gebruikt voor monitoring. Over deze monitoringstechniek is meer informatie ingewonnen. In het interview is ingegaan op de doelstellingen en hoe deze doelstellingen passen bij de verschillende levensfasen van de dijk.

***Deelvraag 2: Wat zijn de technische randvoorwaarden en specificaties voor de meet- en monitoringstechnieken?***

Technische randvoorwaarden en specificaties (onderwerp 3) in het interview gaat over de technische aspecten van meet- en monitoringstechnieken. De technische randvoorwaarden verwijzen naar de specifieke technische eisen, beperkingen en voorwaarden waaraan de meet- of monitoringstechnieken moeten voldoen. De specificaties gericht op dijkmonitoring gaan over wat de sensoren moeten kunnen waarnemen.

De technische randvoorwaarden en specificaties voor de toegepaste meet- en monitoringstechnieken zijn opgesteld door het waterschap. In het rapport van de Vries et al. (2013) is een beoordelingskader opgesteld met de belangrijkste criteria voor monitoringstechnieken. In de interviews zijn hieruit de relevante criteria voor het opstellen van de storyline meegenomen in de vragen. De kalibratie en validatie van monitoringstechnieken is ook meegenomen in de interviews.

***Deelvraag 3: Hoe is de besluitvorming om te starten met dijkmonitoring verlopen?***

Het is belangrijk om inzicht te krijgen in de opzet van het monitoringsplan van het WVV. Er is veel bestaande literatuur over monitoringsplannen beschikbaar bijvoorbeeld, van Beek (2017) en van Montfoort & Wiggers (2020). De bestaande opzet van monitoringsplannen kunnen dan worden vergeleken met de casus van het waterschap. Besluitvorming dijkmonitoring (onderwerp 4) gaat verder in op de specifieke informatie die nodig is om deze deelvraag te beantwoorden. De aanleiding voor het opzetten van een dijkmonitoringsnetwerk is achterhaald. Verder kwam naar voren wie de betrokken partijen waren en of er gebruikt is gemaakt van bestaande monitoringsplannen. In secties 2.4.1. en 2.4.2. zijn de begrippen basisonderzoek en projectmonitoring uitgelegd. Het is belangrijk om te achterhalen hoe het waterschap deze vormen van monitoring inzet. Dit komt ook terug in de interviewvragen. Zo kan een volledige beschrijving van het monitoringsplan gemaakt worden voor de storyline. In de interviews is het belangrijk om de aanleiding van het opzetten van een monitoringsnetwerk te vinden.

***Deelvraag 4: Hoe heeft de beheerder de dataverwerking en -analyse georganiseerd; en hoe is dit gebruikt voor besluitvorming over versterkingsmaatregelen?***

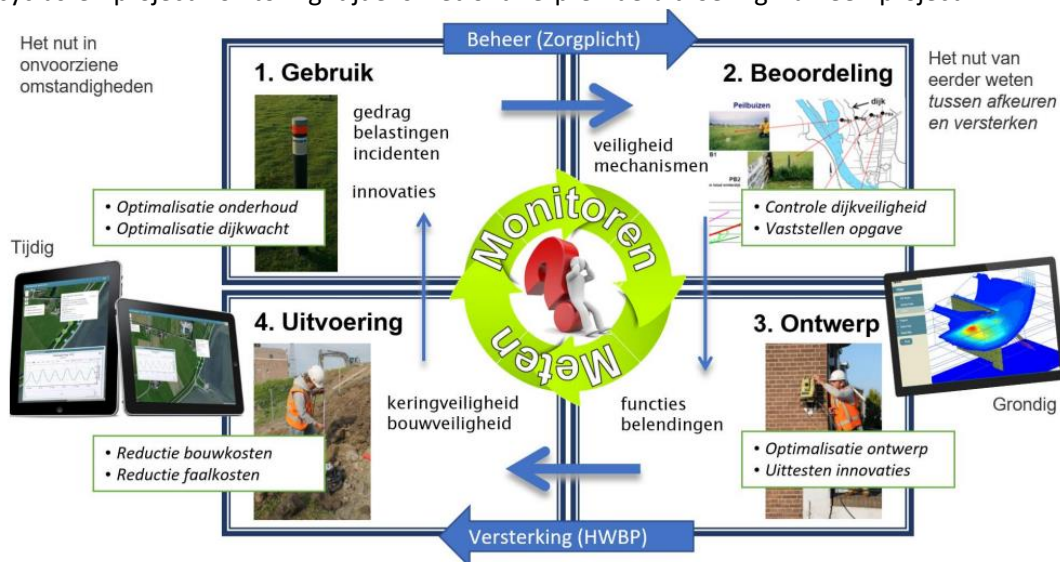
Deze deelvraag gaat over hoe informatie verkregen door dijkmonitoring wordt verwerkt door de dijkbeheerders, onderwerp 5 'dataverwerking' gaat hier verder op in. Om een goed beeld te krijgen zijn de parameters, gebruikte systemen en de methodes en tools om de dijksterkte te berekenen belangrijk. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen (onderwerp 6) gaat in op de invloed die dijkmonitoring heeft op de besluitvorming over versterkingsmaatregelen.

### 3.2. Storyline

De ervaringen van WVV worden gedeeld in de vorm van een storyline. Het doel van deze storyline is om de recente ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken binnen WVV te onderzoeken en te analyseren. Hierdoor kan meer inzicht worden verkregen in de manier waarop deze meet- en monitoringstechnieken worden ingezet. Dit kan bijdragen aan verbeterd dijkbeheer, onderhoud en toepassing van versterkingsmaatregelen wanneer nodig. Dit kan de kennisdeling en samenwerking binnen de sector tussen dijkbeheerders, kennisinstellingen en bedrijven bevorderen. De storyline dient ook als een inspiratiebron voor andere dijkbeheerders en adviseurs in de sector.

De storyline is een methode om de actuele dijkmonitoringstechnieken van het WVV te kunnen delen op het platform van het Netwerk Dijkmonitoring. Het is geschreven aan de hand van de interviews en verzamelde informatie van alle deelvragen. De storyline is gericht op het verspreiden van de kennis in het project, de storyline is toegevoegd in Appendix C. Het onderzoeksrapport is gericht op het beantwoorden van de deelvragen. Dijkmonitoring kan worden ingezet over de gehele levenscyclus van

de dijk, in Figuur 6 staan de levensfasen en de rol van monitoring per fase. Dit sluit aan op secties 2.4.1. Basismonitoring en 2.4.2. Projectmonitoring. Waarin basismonitoring ingezet wordt tijdens de gehele levenscyclus en projectmonitoring tijdens het ontwerp en de uitvoering van een project.



Figuur 6: Belang van monitoring in verschillende levensfasen van de dijk (Ritsema et al., 2019)

In Figuur 6 staat duidelijk beschreven wat de doelen van monitoring zijn per levensfase van de dijk. Het rapport van Ritsema et al. (2019) beschrijft de meerwaarde van monitoring voor dijkbeheerders. Hierin wordt informatie over de voordelen van monitoring, voorbeelden van toepassingen, resultaten en het belang van kwaliteitsborging en optimalisatie gegeven.

Voor het schrijven van de storyline is het belangrijk om al deze aspecten mee te nemen. Verder kunnen er per levensfase of doelstelling andere technieken relevant zijn voor het monitoren van de dijk. Aan de hand van het stroomschema kan per meet- of monitoringstechniek het doel, de opzet van het monitoringsplan en de besluitvorming over versterkingsmaatregelen bepaald worden.

Het interview wordt afgesloten met leerpunten en adviezen. Dit wordt opgenomen in de storyline als informatiebron voor andere waterschappen. Met de interviews en de literatuur kan een complete storyline geschreven worden over dijkmonitoring van het WVV.



## 4. Resultaten: meet- en monitoringstechnieken

### 4.1. Toepassingen van technieken

Om een beter begrip te krijgen van de keuzes voor meet- en monitoringstechnieken worden eerst de doelstellingen van het meten en monitoren besproken. Daarna wordt bij de meet- en monitoringstechnieken ingegaan op de ingezette technieken en hoe die zijn gekoppeld aan de doelstellingen van het waterschap.

#### 4.1.1. Doelstellingen

Het WWV heeft meerdere doelstelling die ze willen bereiken door te meten en monitoren. Hieronder staan de belangrijkste doelstellingen van het waterschap.

##### **Inzicht vergroten**

De eerste belangrijke doelstellingen van het waterschap is om meer inzicht te krijgen in de dijksterkte, dit werd benoemd door de experts. Stijghoogte, tot waar grondwater stijgt in een buis of het potentiële niveau van het grondwater, blijkt een kritische factor te zijn in de berekeningen van de dijksterkte. Om hier meer inzicht in te krijgen is het noodzakelijk om te monitoren. Een beter inzicht in de stijghoogte draagt bij aan het maken van scherpere en betrouwbaardere berekeningen.

##### **Aanscherpen van de versterkingsopgave**

Een tweede doelstelling is het aanscherpen van de versterkingsopgave door een nauwkeuriger beoordeling. Door meer inzicht in de kritische parameters, zoals stijghoogtes te verkrijgen kan de scope van grootschalige projecten mogelijk worden verkleind. Als uit monitoring blijkt dat een dijk minder sterk is dan deze in eerste instantie was beoordeeld, is dit ook waardevol. Dit inzicht draagt bij aan de zorgplicht van het waterschap en helpt om de veiligheid voor bewoners te garanderen. Dit betekent dat de dijken moeten voldoen aan de normen om als veilig en betrouwbaar te worden beschouwd. De dijksterkte hoeft echter niet verder te gaan dan de gestelde norm, er worden geen hogere prestaties verwacht dan dat in de richtlijnen wordt vereist. Met het bereiken van deze doelstelling worden projecten efficiënter en nauwkeuriger.

##### **Verkleinen van onzekerheden en risico's**

Een beter inzicht in de dijksterkte helpt om onzekerheden en risico's te verkleinen. Deze doelstelling is gericht op een meer risico gestuurd beheer. Op deze manier kunnen onnodig dure versterkingsmaatregelen voorkomen worden, maar wanneer nodig kunnen er ook extra versterkingsmaatregelen worden genomen. Door monitoring kan de veiligheidsmarge op een veilige manier bepaald worden. Het verkleinen van onzekerheden is ook van belang om te voorkomen dat bewoners onnodig hun huis moeten verlaten. Het is van belang om bewoners niet in onzekerheid te laten leven over mogelijke toekomstige verlies van eigendommen. Met monitoring worden deze onzekerheden weggenomen.

De doelstellingen van monitoring zijn gericht op het verkrijgen van nauwkeurige gegevens, verbeteren van de veiligheid, efficiëntie van dijkversterkingen en minimaliseren van de impact op de omgeving.

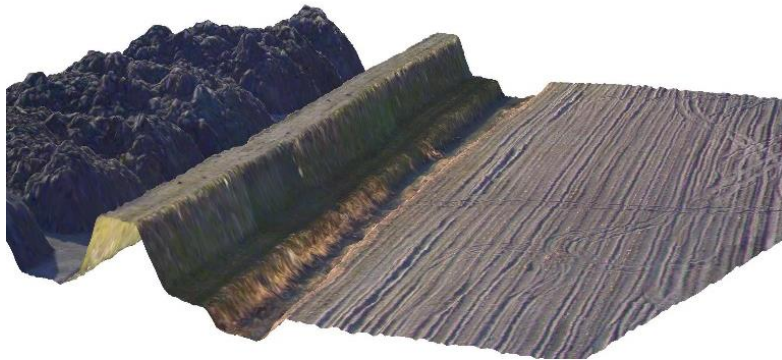
#### 4.1.2. Meettechnieken

Om de doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma te behalen zijn verschillende meettechnieken ingezet om meer informatie over de dijk te verzamelen. Een meting is een eenmalige handeling om specifieke informatie te krijgen. Om meer informatie over dijken te verzamelen moeten parameters, zoals de geometrie en de grondopbouw van een dijk bepaald worden. Deze parameters zijn bepaald door verschillende grondonderzoeken uit te voeren.

De beoordeling van de primaire keringen moest in een korte tijdsperiode uitgevoerd worden. Er was geen tijd voor monitoring, daarom is ingezet op geotechnisch onderzoek dat op relatief korte termijn kon worden uitgevoerd. Er wordt gewerkt vanuit de bestaande richtlijnen en protocollen om de benodigde parameters te bepalen. Met deze meettechnieken kunnen de parameters worden bepaald die het belangrijkst zijn als input voor de berekeningen van de beoordeling. De onderstaande metingen zijn uitgevoerd tijdens de beoordeling van de dijken. De meettechnieken zijn ingezet door het waterschap, de verdere toelichting van de technieken is op basis van literatuur.

### **LiDAR**

Light Detection And Ranging (LiDAR) is een lasermeting die ingezet wordt om de geometrie van een waterkering op afstand in te kunnen meten (*ta-survey*, 2017). De LiDAR sensor meet de afstand tot miljoenen punten in de omgeving. Dit resulteert in een nauwkeurig ingemeten 3D beeld van de dijk. In Figuur 7 is een voorbeeld afgebeeld van een ingemeten dijk in 3D.



Figuur 7: 3D beeld van LiDAR (*ta-survey*, 2017)

### **Boringen**

Boringen zijn een techniek om de bodemopbouw van de dijk in kaart te brengen (*Informatiepunt Leefomgeving*, z.d.-a). Hierbij wordt een holle buis in de grond geduwd en eruit gehaald om een monster van de grond te krijgen. Vervolgens wordt dit visueel geïnspecteerd en naar het lab gestuurd. In het laboratorium kunnen verschillende proeven worden gedaan voor classificatie van de grond. In het lab wordt de korrelgrootte bepaald en worden triaxiaalproeven uitgevoerd. Deze proef wordt toegepast om de schuifsterkte van de grond te berekenen en de interne wrijvingshoek en de cohesie te bepalen (van der Kaap, z.d.). De wrijvingshoek is een belangrijke input voor stabiliteitsberekeningen voor het faalmechanisme macro-instabiliteit.

### **Sonderingen**

Bij een sondering wordt een kegelvormige punt (conus) de grond ingedrukt (*HHSK*, 2021). De conus meet de weerstand die het voelt bij het wegdrücken van de grondlaag. Aan de hand van de resultaten wordt bepaald hoe de bodemopbouw eruitziet. Verder geeft de sondering inzicht in de draagkracht van verschillende grondlagen.

### **Pompproeven**

Om de doorlatendheid van grondlagen te bepalen kunnen pompproeven worden uitgevoerd. Dit kan nodig zijn als er niet genoeg informatie over doorlatendheid is verkregen met andere metingen. Bij een pompproef wordt water onttrokken uit een watervoerende laag (*Informatiepunt Leefomgeving*, z.d.-b). Tijdens en na de proef wordt de stijghoogte in peilbuizen op zoveel mogelijk punten om de pomp gemeten. Door het continu meten van de verlaging van het grondwaterpeil kan informatie over de doorlatendheid worden verzameld.

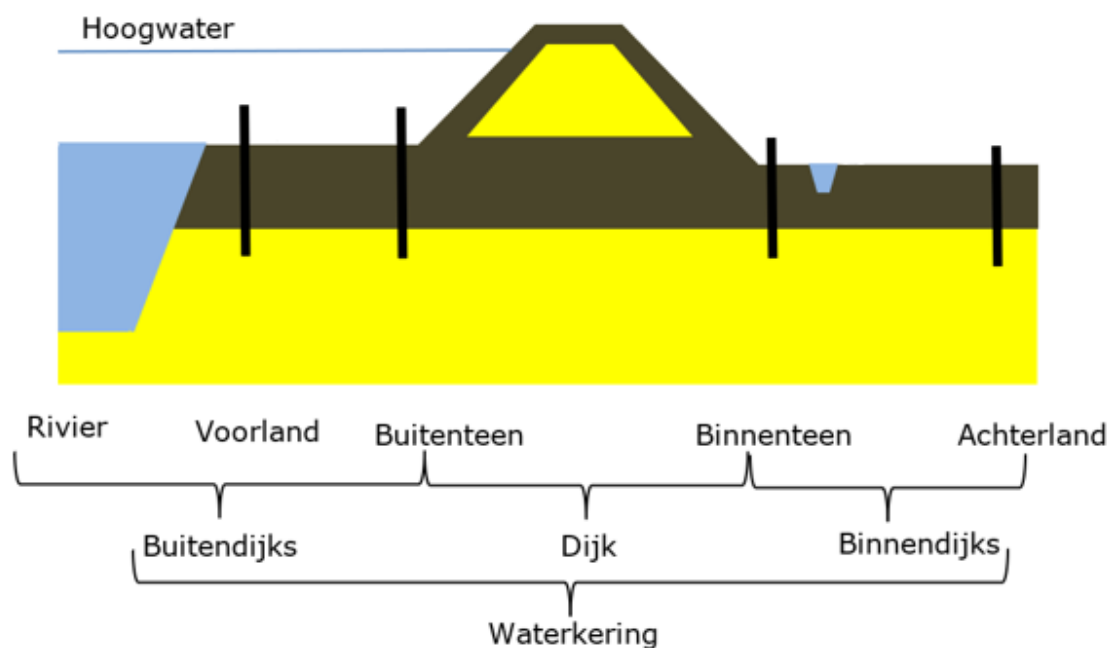
### 4.1.3. Monitoringstechnieken

Bij het monitoren van de dijken worden gegevens verzameld over een langere periode. De start van monitoring volgde bij het WVV uit de beoordeling van de dijken, maar dijken worden ook intensief gemonitord bij hoogwatersituaties. De verschillende ingezette technieken en waarom hiervoor is gekozen wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

#### Peilbuizen

Een peilbuis is een meetinstrument dat gebruikt wordt om de grondwaterstand of de stijghoogte in de grond te monitoren. Uit een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd na beoordeling van de IJsseldijk is gebleken dat de meest kritische parameter waterspanning was. In de beoordeling was de waterspanning bepaald op basis van een model, dat vanwege ingebouwde zekerheid conservatieve uitkomsten gaf. Door het monitoren met peilbuizen kan het stijghoogte verloop in een meetraai bepaald worden. De peilbuis wordt geplaatst in de watervoerende laag van de grond om de stijghoogte af te kunnen lezen.

Het monitoren van de stijghoogte is nuttig wanneer er veel kennis is over de grondopbouw en de onzekerheid over de stijghoogte dominant is (van der Krogt et al., 2020). Het monitoren helpt om de onzekerheid over de positie van de freatische lijn te verminderen. De freatische lijn is de bovenkant van de grondwaterstand. Met een meetraai dat kan bestaan uit twee, drie of vier peilbuizen wordt het grondwaterverloop in kaart gebracht. In Figuur 8 is een doorsnede van een meetopstelling van vier peilbuizen met bijbehorende begrippen weergegeven. WVV maakt gebruik van meetraaien van twee tot vier peilbuizen, waarbij een raai van twee peilbuizen uit de binnenteen en buitenteen locaties bestaan en bij een raai van vier peilbuizen, buizen in het voor en achterland staan.



Figuur 8: Dwarsdoorsnede van een meetopstelling peilbuizen met links het hoogwater en rechts het achterland (Naar: van Montfoort & Wiggers, 2020)

De stijghoogte van grondwater kan achter een dijk boven het maaiveld liggen. In dat geval is het belangrijk dat de peilbuis hoog genoeg is om dit te kunnen waarnemen. Het waterschap maakt gebruik van een datalogger in de peilbuis die telemetrisch de data verstuurd. In 2020 werd bij de start van het monitoringsproject gewerkt met handmatig uit te lezen loggers. Het nadeel is dat deze tijdens hoogwater in het voorland niet uitgelezen kunnen worden. Daarom is door het waterschap gekozen

om bij de start van de uitbreiding van het peilbuisnetwerk om alles volledig te automatiseren met telemetrie.

### **GeoBeads/waterspanningsmeters**

Bij de Grebbedijk zijn door het waterschap in de kleidijk waterspanningsmeters geplaatst. Dit is een monitoringssysteem die doormiddel van een sensornetwerk een dijk continue kan monitoren. De waterspanning, temperatuur en inclinatie wordt gemeten met GeoBeads (de Vries et al., 2013). Deze monitoringstechniek lijkt veel op het gebruiken van peilbuizen. Een waterspanningsmeter meet de druk die het grondwater uitoefent op de bodem terwijl een peilbuis de grondwaterstand meet. De waterspanningsmetingen worden omgerekend naar een stijghoogte.

### **Monitoring van de grasmat**

Het monitoren van de sterkte van de grasmat wordt gedaan door de grastoets. De grastoets bestaat uit twee onderdelen, de vegetatiebeoordeling en de sterkte van de zode. Voor de beoordeling van de vegetatie worden vegetatieopnames gemaakt en de sterkte wordt bepaald aan de hand van de bedekkingsgraad in combinatie met de zodekwaliteit. De bedekkingsgraad wordt beoordeeld door een visuele inspectie, bij twijfel wordt er een zode gestoken om deze te beoordelen. De resultaten van het monitoren geven een beeld van de samenstelling en de structuur van de vegetatie dat aanwezig is op de dijk. Het beoordelen van de vegetatie kan bijdragen aan de wettelijke verplichte beoordeling van de dijken (*handreikinggrasbekleding, z.d.*).

### **Monitoring van de hoogte van de kering op basis van AHN**

Het waterschap is bezig met het opzetten van een monitoringssysteem om de hoogte van een waterkering blijvend te monitoren. Met het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) kun je een goede eerste indruk van de hoogte krijgen. Op dit moment wordt het nog niet actief gemonitord, maar het waterschap is bezig met het opzetten van deze monitoring.

### **Drones met Infraroodcamera**

Samen met andere waterschappen wordt bij hoogwatersituaties een drone ingezet. Met de drone worden infraroodbeelden verzameld om de temperatuur van het water te bepalen. Als op de beelden een rondje wordt geïdentificeerd waar het veel warmer is kan dit een indicatie zijn voor een wel. Een wel is een plek waar het water achter de dijk uit de grond omhoog komt. Dit wordt ingezet bij een hoogwatersituatie die niet eerder is voorgekomen. Wanneer de waterstand al eerder is voorgekomen is de situatie al in kaart gebracht en zijn de zwakke plekken die geïnspecteerd moeten worden al bekend bij het waterschap.

### **Visuele inspecties van dijken**

Het waterschap maakt ook gebruik van visuele inspecties door de buitendienst. Standaard worden de dijken twee keer per jaar geïnspecteerd (*Waterschap Vallei en Veluwe, z.d.*). Dit gebeurt aan het begin en aan het einde van het hoogwaterseizoen die van oktober tot maart duurt. Tijdens deze inspecties wordt gelet op beschadigingen aan de dijk, zoals kale plekken of graverijen door dieren. Ten tijde van hoogwater en extreme droogte kunnen wanneer nodig ook dijkwachters ingezet worden. Een dijkwacht is een vrijwilliger of medewerker van het waterschap die de dijken inspecteert en schades meldt.

Het monitoren van stijghoogtes, de grasmat en de hoogte van de kering wordt gedaan om de actuele/werkelijke sterkte van de dijk beter in kaart te brengen. Het verval van de stijghoogte tijdens hoogwater zegt veel over de dijk. De monitoring met drones en visuele inspecties wordt gedaan in uitzonderlijke situaties om de veiligheid te waarborgen en te voorkomen dat dijken falen.

## 4.2. Technische randvoorwaarden en specificaties

De technische randvoorwaarden zijn de specifieke technische eisen, beperkingen en voorwaarden waaraan de monitoringstechnieken moeten voldoen. De specificaties gericht op dijkmonitoring gaan over wat de sensoren moeten kunnen waarnemen. In dit hoofdstuk ligt de focus op peilbuizen, tijdens de interviews is alleen dit onderwerp naar voren gekomen.

### 4.2.1. Beoordelingsmatrix

Voor de Handreiking Life Cycle (Koelewijn & van der Meer, 2019) is een beoordelingssystematiek ontwikkeld voor dijkmonitoringstechnieken. Dit is een hulpmiddel om dijkmonitoringstechnieken te kunnen beoordelen. Er is een matrix ontwikkeld die kan worden gebruikt om technieken te beoordelen en optimaliseren. In Figuur 9 staat de beoordelingsmatrix met de toelichting per aspect. Aan de rechterkant staan de Kritieke Prestatie Indicatoren (KPI's). Dit wordt gebruikt om de prestaties van technieken kwalitatief te analyseren.

KWALITEITSASPECT		KWALITEITSKLASSE			Toelichting bepalende aspecten	
		Laag	Gemiddeld	Hoog		
A	Juiste informatie				Begrip risico's en fenomenen	Koppeling met beslissing
B	Tijdig beschikbaar				Nulmeting(en)	Waarschuwingstijd
C	Gebruikswaarde				Risicoreductie	Opportuniteitsvergroting
D	Betrouwbare informatie				Data-validatie (cross-checks)	Robuustheid

Figuur 9: Voorbeeld beoordelingsmatrix, links: Kwaliteitsaspecten met scores, Rechts: KPI's

De matrix werkt als hulpmiddel om de kwaliteit van een monitoringssysteem te beoordelen. Om de technische randvoorwaarden en specificaties van de monitoringstechnieken van het waterschap in kaart te brengen is gebruik gemaakt van de KPI's. De aspecten juiste informatie en gebruikswaarde zijn in dit hoofdstuk in mindere mate van belang. In sectie 5.4. Dataverwerking gekoppeld aan versterkingsmaatregelen zijn deze kwaliteitsaspecten wel meegenomen. Voor de technische randvoorwaarden en specificaties gaat het hier om 'tijdig beschikbaar' en 'betrouwbare informatie'.

### Meetfrequentie

Voor het kwaliteitsaspect 'tijdig beschikbaar' zijn twee aspecten van belang, nulmetingen en waarschuwingstijd. Nulmetingen zijn belangrijk voorafgaand aan grote projecten en waarschuwingstijd is belangrijk om adequaat te kunnen handelen bij calamiteiten. Het monitoringsnetwerk wordt nu opgezet voor een langjarige periode, hierin wordt ingezet op verzamelen van informatie voor versterkingsprojecten. De data worden nu ingezet voor de beoordeling van dijken, dit betekent dat het nog niet wordt gebruikt bij calamiteiten. Om van data naar een faalkans te komen moeten berekeningen worden uitgevoerd, daarom kan het nu nog niet gebruikt worden.

Het waterschap werkt met automatische loggers die de data van de peilbuizen constant uitlezen. Bij het opslaan van de data kun je een keuze maken hoe vaak het uitgelezen moet worden. Bij recente projecten leest het waterschap de data eens in de zes uur uit. De meetfrequentie bij hoogwater is belangrijk als input voor stabiliteitsberekeningen. In die situatie wil je de hoogwatergolf goed kunnen volgen, daarom wordt de grondwaterstand in de peilbuis bij hoogwater elk half uur uitgelezen.

### Meetnauwkeurigheid (Robuustheid)

Om de meetnauwkeurigheid van de peilbuizen te garanderen worden waterdichte peilbuizen ingezet. Dit zorgt ervoor dat bij hoogwater de peilbuis in de buitenteen en de peilbuis in het voorland onderwater kunnen staan, maar de metingen onaangetaast blijven. Sinds 2023 maakt het waterschap ook gebruik van automatische loggers (telemetrie). Dit maakt dat data regelmatig en nauwkeurig kan worden verzameld. Verder wordt de uitgelezen informatie gekalibreerd en gevalideerd.

**Kalibratie en validatie**

De kalibratie en validatie worden grotendeels uitgevoerd door de externe beheerder, op dit moment Eijkelkamp. In het systeem Flood Early Warning System (FEWS), ontwikkeld door Deltares, wordt de data verzameld. Tijdens de data-acquisitie controleert het systeem de gegevens op basis van vooraf ingestelde grenswaarden. Als metingen buiten het bereik van deze grenswaarden vallen, worden ze gemarkeerd met een waarschuwingssymbool om aan te geven dat de meting mogelijk niet klopt. Voor extra controle voert het waterschap op willekeurige momenten steekproeven uit om te kijken of de data er nog logisch uitzien.

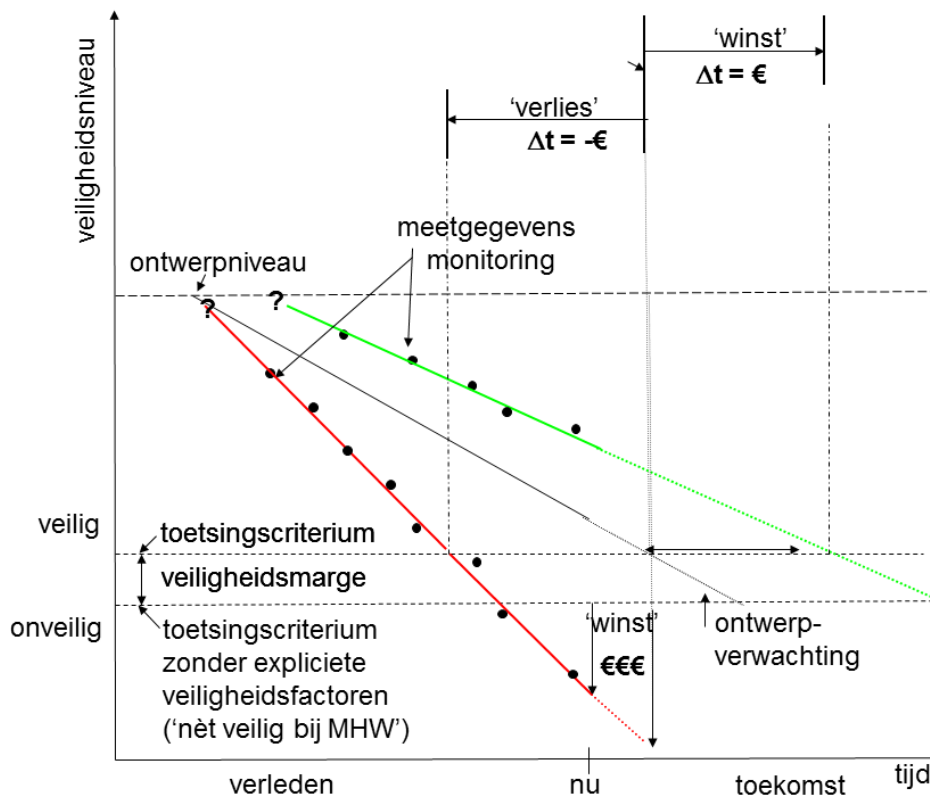
## 5. Resultaten: monitoringsplan

In dit hoofdstuk is beschreven hoe het WVV heeft besloten om een monitoringnetwerk op te zetten. Daarna wordt beschreven hoe het monitoringnetwerk bij de IJsseldijk en Grebbedijk zijn gerealiseerd en geïmplementeerd. Hierin wordt ook toegelicht of het als basismonitoring of projectmonitoring is toegepast door het waterschap. Vervolgens is er gekeken hoe de monitoringsdata wordt verwerkt en gekoppeld aan de besluitvorming over dijkmonitoring. Aan de hand van de interviews in Appendix B is hier antwoord gegeven op deelvragen drie en vier.

### 5.1. Aanleiding

Het waterschap heeft een wettelijke plicht om te zorgen voor veilige dijken. Het waterschap houdt dijken op orde door toetsing, beoordelingen en verbeterprojecten. Het monitoren van dijken is geen wettelijke verplichting, maar een keuze van het waterschap om de beoordeling te kunnen aanscherpen. Het initiatief voor monitoring en de onderbouwing komt vanuit de vakgroepen. Vervolgens is het aan de teamleider of manager om budget vrij te maken of om subsidie aan te vragen bij het HWBP. Het monitoren is een afweging van kosten. Als door het aanscherpen van berekening de versterkingsopgave kan worden verkleind is monitoring voor het waterschap een aantrekkelijke keuze.

In Figuur 10 is een schematische weergave van het veiligheidsniveau van een dijk over tijd afgebeeld. In het zwart wordt de ontwerpverwachting zonder monitoring weergegeven. Door monitoring en analyse kan het werkelijke veiligheidsniveau worden bepaald. Dit levert twee mogelijke scenario's op voor monitoring, het groene en rode scenario. In het groene scenario is er 'winst' doordat de achteruitgang van de dijk minder snel gaat dan voorzien. Dijkversterking kan dan worden aangescherpt of uitgesteld. In het rode scenario is er eerder een dijkversterking nodig, dit kan als verlies worden aangemerkt. Er staat wel een grotere winst tegenover, omdat een potentiële dijkdoorbraak wordt vermeden. De verwachting is dat het groene scenario het vaakst voorkomt door de conservatieve opzet van de toetsingsvoorschriften.



Figuur 10: Veiligheid over tijd, ontwerpverwachting (zwarte lijn), in het rode scenario 'verlies' en in het groene scenario 'winst' door monitoring (Koelewijn & van den Berg, 2014)

Door het opzetten van een monitoringsprogramma, gericht op het verzamelen van gedetailleerde data kunnen de conservatieve uitkomsten van de beoordeling scherper bepaald worden. Hiermee kan een scherper ontwerp voor dijkversterking gemaakt worden.

Belangrijk bij het verzamelen van de waterspanningsdata zijn hoogwatermetingen. Tijdens hoogwater wordt de meest waardevolle data verzameld voor de rekenmodellen. Hoogwatersituaties zijn het best te vergelijken met de normsituatie en zijn daarom waardevol voor de simulatie. Met hoogwaterdata kunnen berekeningen worden uitgevoerd om de dempingsfactor te bepalen. Hoogwater treedt op wanneer het gehele voorland onder water staat. Monitoring is daarom het effectiefst als het meerjarig kan worden ingezet, zodat de kans op het verzamelen van hoogwatermetingen in de meetreeks toeneemt. Om het als input te gebruiken voor berekeningen is genoeg data belangrijk.

De deadline om te voldoen aan de nieuwe strengere normen van de overheid is in 2050, zoals opgenomen in de Waterwet. Met 2050 als deadline is er nog veel tijd om de versterkingsmaatregelen van de IJsseldijk uit te voeren. Daarom wordt er nu ver voor het begin van het versterkingsproject gestart met monitoring. Door langjarige monitoring kan het bijdragen aan het aanscherpen van de versterkingsopgave.

## 5.2. Realisatie monitoringsnetwerk

Bij het WVV zijn er twee primaire dijken waar monitoring wordt ingezet. Dit zijn de IJsseldijk en de Grebbedijk. Dijkmonitoring wordt door het waterschap op dit moment ingezet vanuit de beoordeling van de keringen. Dit wordt gedaan omdat het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) monitoring subsidieert voor beoordeelde dijktrajecten die niet aan de norm voldoen (HWBP, z.d.-c). Wanneer dijkmonitoring niet gekoppeld is aan een versterkingsproject is het lastig om hier subsidie voor te krijgen. Hieronder wordt per dijk toegelicht hoe de monitoring is ingezet en op welke locaties.

### **IJsseldijk**

De realisatie van het monitoringsprogramma bij het traject IJsseldijk begon na de beoordeling van het traject IJsseldijk. Tijdens de beoordeling is de IJsseldijk op veel plekken afgekeurd op de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit. In 2020 en 2021 zijn meerdere monitoringspunten geplaatst, waaruit bleek dat deze waardevol zijn bij het berekenen van de dijksterkte. Daarom is in 2023 gestart met het verder uitrollen van een monitoringsnetwerk om te zorgen dat de IJsseldijk in 2050 weer voldoet aan de norm. De initiële beoordeling die verder aangescherpt moest worden vormde de basis voor het uitrollen van het monitoringsnetwerk.

Het monitoringsprogramma is gericht op het verkrijgen van nauwkeurige en bruikbare gegevens om de berekeningen te kunnen aanscherpen. Stijghoogte is zowel in de toetsing voor macro-instabiliteit en piping een belangrijke parameter en daarom is het monitoren met peilbuizen een logische keuze.

Met de stijghoogte kan een dempingsfactor worden afgeleid. Dit wordt gebruikt voor de veiligheid en stabiliteit van dijken, omdat de dempingsfactor de relatie beschrijft tussen de buitenwaterstand bij hoogwater en de stijghoogte van het grondwater in het achterland (Schematiseringshandleiding piping, 2021). Wanneer er sprake is van hoogwater, oefent dit druk uit op het grondwater in en achter de dijk. De dempingsfactor geeft aan hoeveel druk van het hoogwater wordt doorgegeven aan het grondwater bij het uittredepunt. Een hoge dempingsfactor betekent dat veel energie verloren gaat in de waterstroom. Dan is het effect van hoogwater op de grondwaterstand kleiner. De mate van demping is belangrijk in de berekeningen voor het faalmechanisme piping.



De stijghoogte is een belangrijke parameter voor macro-instabiliteit omdat het de waterdruk in de ondergrond beïnvloed. Een grote waterdruk kan de schuifsterkte van de grond verminderen en verhoogt het risico op afschuiving.

De expertise van de dijkbeheerders wordt ingezet om meetraaien slim te plaatsen. Meetraaien bestaan doorgaans uit twee, drie of vier peilbuizen. De binnenteeën en de buitenteeën van de dijk zijn de standaard locaties. In het voorland en achterland kunnen ook nog peilbuizen geplaatst worden. Op deze manier wordt het gehele effect van het voorland en achterland meegenomen om het volledige stijghoogteverloop in kaart te brengen. Dit is belangrijk voor het berekenen van de dempingsfactor. Op dit moment zijn bij de IJsseldijk twintig meetraaien geplaatst. Afhankelijk van de locatie staan er in deze raaien twee, drie of vier peilbuizen. Dit meetnet wordt verder uitgebreid waarbij vijftien tot twintig nieuwe meetraaien worden aangelegd met vier peilbuizen per meetraai om het volledige stijghoogteverloop in kaart te brengen. Bij deze uitbreiding worden de huidige meetraaien waarschijnlijk ook aangevuld tot vier meetraaien. Figuur 8 in sectie 4.1.3. geeft een overzicht van een meetraai peilbuizen.

### **Grebbedijk**

In 2011 zijn tijdens hoogwater zand meevoerende wellen geconstateerd (van den Berg & Koelewijn, 2014). Om dit te verklaren heeft het waterschap gemonitord voor het project Livedijk Grebbedijk. Er is gemonitord met waterspanningsmeters en op enkele locaties met peilbuizen ter controle voor de stijghoogtes. Aan de hand van hoogwatermetingen werd het inzicht in de dijk vergroot en kon de actuele sterkte beter bepaald worden wat de toetsing verbeterd. De GeoBeads-sensoren waren gevoelig genoeg om de veranderingen in waterspanningen waar te kunnen nemen.

Voor het versterkingsproject zijn in 2015 oude peilbuizen opnieuw in gebruik genomen. In 2017 zijn ook nieuwe peilbuizen geplaatst en in gebruik genomen. De waterspanningsmetingen moeten omgerekend worden naar een stijghoogte, daarom is bij de uitbreiding gekozen voor peilbuizen. De data van het monitoren zijn benut voor de analyse voor meerdere faalmechanismen. Het is gebruikt voor het schematiseren van het stijghoogteverloop voor het faalmechanisme binnenwaartse macro-instabiliteit, het verhang bepalen bij piping en het afleiden van de schematiseringsfactor van macro-instabiliteit.

### **5.3. Life Cycle Monitoring (LCM)**

In sectie 2.4. Monitoren van Dijken is het begrip LCM geïntroduceerd. Bij LCM wordt monitoring toegepast over de gehele levenscyclus van de dijk, zoals afgebeeld in Figuur 6. Het waterschap is begonnen met een monitoringsnetwerk opzetten na de beoordeling van de dijken. Het doel was om meer inzicht te krijgen om tot een beter ontwerp te komen. Voor een volledig monitoringsplan moet er ook een doel zijn voor monitoring na het afronden van het versterkingsproject.

Het monitoren is gestart vanuit de zorgplicht (beoordeling). De verzamelde informatie wordt gebruikt voor de optimalisatie van het ontwerp. Na de afronding van het project is het doel om de representatieve peilbuizen aan te houden, omdat het waterschap blijvend inzicht wil in de sterkte van de dijk. Dit draagt bij aan de veiligheidsbeoordelingen die het waterschap moet uitvoeren. Monitoring moet worden opgezet zodat de informatiebehoefte niet alleen rekening houdt met de huidige fase, maar met de gehele cyclus of zelfs de volgende cyclus. Goed databeheer is essentieel om dit mogelijk te maken. Belangrijk is om hier budget voor vrij te maken, want het beheren en onderhouden van peilbuizen kost geld.

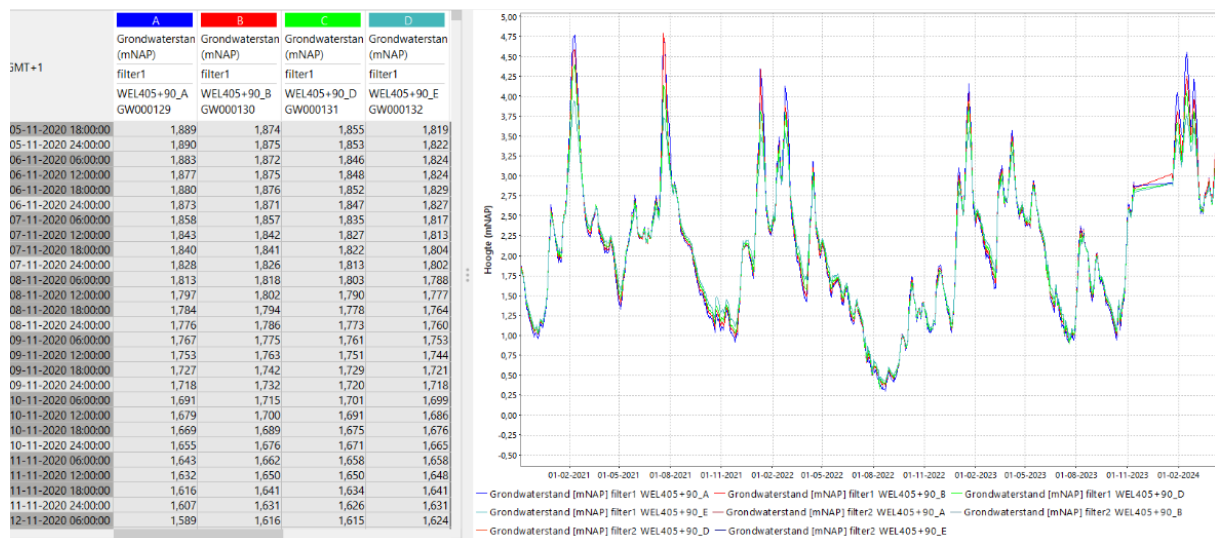
In het algemeen plaatst het waterschap de peilbuizen voor langjarige monitoring. Deze data worden gebruikt voor de gehele levenscyclus. Door de peilbuizen te blijven gebruiken is er een continu inzicht in de staat van de dijk. De implementatie van het monitoringsnetwerk gebeurt momenteel vanuit de

beoordeling, maar na het voltooiën is de ambitie om over te gaan tot basismonitoring. Dit betekent dat het waterschap toewerkt naar een LCM systeem.

#### 5.4. Dataverwerking gekoppeld aan versterkingsmaatregelen

De verzamelde meet- en monitoringsdata moet verwerkt worden om het te kunnen gebruiken voor het beheer. Het succes van monitoring hangt af van goed datamanagement. Deze sectie gaat dieper in op hoe de data wordt ingewonnen en hoe dit vervolgens wordt geanalyseerd en daarna gebruikt wordt bij het nemen van besluiten over versterkingsmaatregelen. De verwerking van monitoringsdata kan gekoppeld worden aan de KPI's uit Figuur 9. In dit hoofdstuk gaat dit over 'juiste informatie' en 'gebruikswaarde'. 'Juiste informatie' gaat over het verkrijgen van monitoringsdata dat faalmechanismen kan signaleren en of dit gekoppeld kan worden aan beslissingen. Bij 'gebruikswaarde' gaat het over de veiligheidsrisico's reduceren met behulp van monitoringsdata en de mogelijkheid om een projectuitvoering flexibeler te maken door continue inzicht.

De huidige beheerder van de peilbuizen is Eijkelkamp, zij plaatsen en beheren de peilbuizen en uploaden de data in FEWS. Dit programma wordt beheerd door Deltares. De verzamelde data worden in FEWS opgeslagen. FEWS wordt vooral gebruikt als database voor de monitoringsdata. Het wordt ook gebruikt voor de waterstanden van de IJssel uit te lezen. De waterstand van de IJssel wordt bij een aantal meetpunten gemeten. Met deze punten kan een geïnterpoleerde waterstand per kilometer berekend worden. Dit wordt gebruikt als input bij analyses en berekeningen. In Figuur 11 is een voorbeeld van de peilbuisdata in FEWS weergegeven. De peilbuisdata en waterstanden wordt vanuit FEWS gekopieerd voor uitgebreide analyses in andere programma's.



Figuur 11: Voorbeeld van een meetraai peilbuisdata in FEWS van het WVV

De analyses voor het berekenen van de dempingsfactor worden in Excel of Python uitgevoerd. Met de dempingsfactor kun je inzien wat de vertragende werking van het voorland is. De dempingsfactor wordt gebruikt in de software om de faalkans van de dijk te bepalen. Het waterschap maakt gebruik van Riskeer, D-GEO Flow en D-Stability. De applicatie Riskeer wordt gebruikt voor een gedetailleerde risicobeoordeling voor het faalmechanisme piping. D-GEO Flow richt zich ook op het faalmechanisme piping, dit programma is gedetailleerder in het bepalen van de faalkans. D-Stability wordt gebruikt om de faalkans door macro-instabiliteit te bepalen. Deze inzet van monitoringsdata zorgt voor een hoge kwaliteit van de KPI 'juiste informatie'. Met deze analyses worden de faalkansen in kaart gebracht en vervolgens gebruikt voor de besluitvorming.

De faalkans berekeningen worden gebruikt voor de besluitvorming van het WVV. In de besluitvorming voor versterkingsmaatregelen speelt monitoring een belangrijke rol bij het waterschap. Er wordt veel

tijd en geld geïnvesteerd om een monitoringsnetwerk aan te leggen. Het doel is om meer inzicht te krijgen waardoor het waterschap efficiënter en veiliger te werk kan gaan. Vanuit de initiële beoordeling van de IJsseldijk en de uiteindelijke versterkingsmaatregelen krijgt het waterschap een goed inzicht in de netto vermeden kosten.

De visie van het waterschap is om scherpere analyses voor dijkbeoordeling uit te kunnen voeren. Met deze data kunnen beslissingen beter worden onderbouwd waardoor versterkingsmaatregelen nauwkeuriger en effectiever kunnen worden uitgevoerd. Met deze inzet van monitoringsdata is de KPI 'gebruikswaarde' ook van hoge kwaliteit.

## 6. Discussie

In dit hoofdstuk wordt de relevantie en de beperkingen van het onderzoek besproken. Het verkrijgen van informatie doormiddel van expertinterviews vormde de kern van deze studie, waarbij vier interviews zijn afgenomen bij WVV. Er zijn interviews afgenomen bij beleidsmedewerkers en dijkbeheerders met kennis over dijkmonitoring. Hoewel de aanpak veel waardevolle informatie opleverde, brengt het ook beperkingen met zich mee.

De interviews zijn gebruikt voor de resultaten. Een eigen interpretatie van resultaten kan leiden tot subjectieve conclusies. Dit betekent dat persoonlijke opvattingen van invloed kunnen zijn op de analyse en uiteindelijke bevindingen. Verder zijn er maar vier interviews afgenomen, dit kwam door de korte tijdsperiode en het beperkte aantal medewerkers die kennis hadden over dijkmonitoring. Hierdoor bestaat er onzekerheid of alle data in de interviews is verzameld.

In grote lijnen werden consistente antwoorden gegeven op de voorgelegde vragen. Ook werd ter verificatie het transcript voorgelegd aan de deelnemende experts. De meest voorkomende monitoringstechniek, peilbuizen, kwam in elk interview naar voren. Andere meet- en monitoringstechnieken kwamen vaak wel naar voren maar niet in elk interview. Dit kan verklaard worden door de specifieke projectkennis die per expert anders was.

Verder kon er beperkt antwoord worden gegeven op deelvraag 2. De kennis over de technische randvoorwaarden en specificaties van de experts was beperkt. In de interviews zijn alleen de technische aspecten van peilbuizen naar voren gekomen. De kennis over technische aspecten was niet aanwezig bij de geïnterviewde experts. Dit heeft twee oorzaken, de eerste oorzaak is dat een deel van de kennis niet bij het waterschap aanwezig is, omdat metingen door externe partijen worden uitgevoerd. De tweede oorzaak is dat de hydroloog met meer technische kennis over peilbuizen niet beschikbaar was voor een interview. De andere respondenten hadden wel kennis over de technische aspecten over peilbuizen, maar dit antwoord is beperkt. Verder is voor het beantwoorden van deelvraag twee gebruik gemaakt van een beoordelingsmatrix. Deze is niet behandeld tijdens interviews en daarom is het ook onduidelijk of het waterschap hier zelf ook gebruik van maakt.

Ondanks het ontbreken van een volledig antwoord op deelvraag 2 geeft dit onderzoek een volledig beeld om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden. Een dieper inzicht in de technische aspecten van had bijgedragen aan een beter begrip van de gebruikte meet- en monitoringstechnieken.

## 7. Conclusie

In dit rapport is onderzoek gedaan naar de meet- en monitoringstechnieken van het WVV. De onderzoeksvraag luidde: 'Wat zijn de actuele ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken bij WVV en op welke manier dragen deze bij aan een verbeterd beheer, onderhoud en de implementatie van passende versterkingsmaatregelen?'. Door interviews te houden bij medewerkers van het waterschap is een inzicht gekregen in de recente ontwikkelingen op het gebied van dijkmonitoringstechnieken. Om tot een volledige conclusie te komen is antwoord gegeven op 4 deelvragen. De resultaten van de deelvragen zijn opgedeeld in 2 hoofdstukken, hoofdstuk 4: 'Resultaten: Meet- en monitoringstechnieken' en hoofdstuk 5: 'Resultaten: monitoringsplan'. Hierin is antwoord gegeven op de vier deelvragen.

### 1. Welke meet- en monitoringstechnieken worden toegepast en waarom?

WVV maakt gebruik van diverse meet- en monitoringstechnieken. Voor metingen zijn LiDAR, boringen, sonderingen en pompproeven gedaan. Monitoring wordt gedaan met peilbuizen, waterspanningsmeters, drones en visuele inspecties. Deze technieken zijn ingezet om verschillende doelen te bereiken. De belangrijkste doelen waren om meer inzicht te krijgen in de dijksterkte, het aanscherpen van de versterkingsopgaven en het verkleinen van onzekerheden en risico's. De monitoring van dijken wordt gedaan met peilbuizen en waterspanningsmeters. Deze technieken worden toegepast om de stijghoogte te bepalen, dit is een belangrijke parameter in de berekeningen voor piping en macro-instabiliteit.

### 2. Wat zijn de technische randvoorwaarden en specificaties voor de meet- en monitoringstechnieken?

De technische randvoorwaarden en specificaties voor de monitoringstechnieken van WVV omvatten aspecten zoals meetfrequentie, meetnauwkeurigheid, betrouwbaarheid en validatie van sensoren. In dit onderzoek zijn de specificaties van peilbuizen naar voren gekomen. De peilbuizen worden eens in de zes uur uitgelezen in een standaardsituatie. Tijdens hoogwater wordt deze frequentie verhoogd naar elk half uur. De meetnauwkeurigheid van peilbuizen wordt gegarandeerd door waterdichte peilbuizen en automatische loggers die de data telemetrisch versturen. Validatie wordt uitgevoerd door de externe beheerder Eijkelkamp, verder doet het waterschap steekproeven ter controle.

### 3. Hoe is de besluitvorming om te starten met dijkmonitoring verlopen?

Het WVV heeft besloten om te gaan monitoren na de beoordeling van de primaire keringen. In de beoordeling zat nog veel onzekerheid, omdat het op basis van modellen gedaan werd. Uit de beoordeling bleek dat de dijk niet meer voldeed aan de veiligheidseis voor de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit. Hierna is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waaruit bleek dat de belangrijkste parameter stijghoogte is. Om hier een nauwkeurig inzicht in te krijgen is gestart met monitoring. Monitoring biedt de mogelijkheid om de beoordeling te verfijnen, waardoor op basis van gedetailleerde data versterkingsopgaven kunnen worden aangescherpt.

### 4. Hoe heeft de beheerder de dataverwerking en -analyse georganiseerd; en hoe is dit gebruikt voor besluitvorming over versterkingsmaatregelen?

De data worden verwerkt door Eijkelkamp, dit is een externe beheerder. De data worden vervolgens gebruikt om analyses uit te voeren om aan de hand van de stijghoogte de dempingsfactor of andere parameters te bepalen. Dit wordt door het waterschap gedaan in Excel of Python. Vervolgens wordt de faalkans voor piping of macro-instabiliteit in de modelleringsprogramma's Riskeer, D-GEO Flow en D-stability berekend. De analyses vormen de basis voor besluitvorming over versterkingsmaatregelen, waarbij monitoringsdata wordt gebruikt om risico's te identificeren en preventieve maatregelen te kunnen nemen. Om deze deelvraag te beantwoorden zijn ook de kwaliteitsaspecten 'juiste informatie' en 'gebruikswaarde' meegenomen. Deze aspecten kunnen allebei als hoog worden gekwalificeerd en dat verhoogt de kwaliteit van het monitoringssysteem.

Door het beantwoorden van de deelvraag kan nu antwoord gegeven worden op de hoofdvraag. Dit onderzoek heeft aangetoond dat dijkmonitoringstechnieken significant bijdragen aan verbeterd beheer en onderhoud van dijken. Door het inzetten van meet- en monitoringstechnieken worden meer inzichten in de dijksterkte verzameld. De meet- en monitoringstechnieken dragen bij aan het verzamelen van nauwkeuriger en betrouwbaardere gegevens over de dijken, wat leidt tot effectievere en efficiënte versterkingsopgaven.

## 8. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen gedeeld. Verder worden mogelijkheden gegeven voor vervolgonderzoek.

Het allereerste advies dat volgt uit de interviews is dat er meer gemonitord moet worden. Wanneer uit de beoordeling van de dijken bij een waterschap blijkt dat een dijk niet voldoet voor de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit is monitoring van grote waarde. Meer inzicht in de stijghoogte speelt een groot aandeel bij de berekeningen voor deze faalmechanismen. Het inzicht vergroten bij projecten is cruciaal om versterkingsmaatregelen gericht te kunnen uitvoeren. Door monitoring komt er meer grip op de werkelijke sterkte van de dijken, zo kan er meer focus komen op de dijkvakken die in slechte staat verkeren. In 2050 moet de versterkingsopgave van het HWBP voltooid zijn, dit is haalbaar wanneer er meer focus komt op de slechte dijkvakken door monitoring.

Een tweede aanbeveling is om monitoring uitgebreid en ver voor een versterkingsproject op te zetten. In de praktijk zie je dat er beperkt en te laat wordt gestart met het meten en monitoren. Dit levert een te korte meetreeks op waardoor het niet benut kan worden. Om de kans op hoogwatergolven in de metingen te vergroten is het wenselijk om meerjarig te monitoren. Wanneer er een lange goede meetreeks beschikbaar is kan het effectief gebruikt worden voor het aanscherpen van berekeningen.

Om meer en eerder te meten en monitoren is geld nodig. Hieruit volgt ook een oproep voor het HWBP vanuit het waterschap om monitoring makkelijker en sneller te gaan subsidiëren. Dit is bij het WVV wel gebeurd, maar dit heeft veel tijd gekost. Door een standaardtraject op te zetten voor het vrijmaken van budgetten voor monitoring, hoeven bewezen technieken zoals peilbuizen niet telkens te worden verantwoord. In vergelijking met dijkversterkingsprojecten is het monitoren van dijken een kleine investering voor het HWBP. Het verkrijgen van budgetten voor monitoring is een uitdaging en meestal alleen mogelijk wanneer er een versterkingsproject loopt. Als dit proces makkelijker wordt gemaakt komt er meer inzicht in de daadwerkelijke versterkingsopgaven. Dit kan veel tijd en geld schelen in de dijkverbeteringen tot 2050.

Voor vervolgonderzoek kan er ingezet worden op verschillende aspecten. In de toekomst kan gekeken worden naar de lange termijn effecten van het monitoringsnetwerk van het WVV. Verder gaan de ontwikkelingen op het gebied van data-analysetechnieken heel snel. Bij het waterschap zijn plannen om actuele sterktes te gaan tonen in een dashboard. Met actueel inzicht kan de inzet van monitoring nog verder worden uitgebreid, bijvoorbeeld bij hoogwater situaties. Deze ontwikkelingen zijn interessant voor mogelijk vervolgonderzoek en de verdere implementatie van dijkmonitoring in het dijkbeheer.

## Referenties

- Bouma, J., Maasbommel, M., & Schuurman, I. (2012). *Handboek meten van grondwaterstanden in peilbuizen*. stowa.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202012/STOWA%202012-50.pdf>
- de Lange, B. (2019). *Dijkmonitoring in dijkbeheer*. Universiteit Twente.  
<https://essay.utwente.nl/80538/1/Lange-Birgit-de.pdf>
- de Vries, G., ter Brake, C. K. E., de Bruijn, H., Koelewijn, A. R., van Lottum, H., Langius, E. A. F., & Zomer, W. S. (2013). *Dijkmonitoring: Beoordeling van meettechnieken en visualisatiesystemen*. Stichting IJkdijk. <https://edepot.wur.nl/253798>
- Deltares*. (z.d.). Piping - Delta noodmaatregelen. Geraadpleegd 10 juni 2024, van <https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Piping>
- Handreiking grasbekleding*. (z.d.). Monitoring.
- HHSK*. (2021). Bodemonderzoek voor dijkversterking KIIJK.  
<https://www.schielandendekrimpenerwaard.nl/actueel/nieuws/bodemonderzoek-voor-dijkversterking-kijk/#:~:text=Een%20sondering%20geeft%20een%20goed,het%20wegdrukken%20van%20de%20laag.>
- HWBP*. (z.d.-a). Wie we zijn en wat we doen. <https://www.hwbp.nl/over-hwbp/wie-we-zijn-en-wat-we-doen>
- HWBP*. (z.d.-b). Subsidiabiliteit monitoring waterspanningen. Geraadpleegd 10 juni 2024, van <https://www.hwbp.nl/kennisbank/subsidiabiliteit-monitoring-waterspanningen>
- HWBP*. (z.d.-c). Financiering HWBP en projecten. Geraadpleegd 18 juni 2024, van <https://www.hwbp.nl/werkwijze/financiering-hwbp-en-projecten>
- Informatiepunt Leefomgeving*. (z.d.-a). Boringen - Grondmechanisch en geo-hydrologisch onderzoek. Geraadpleegd 11 juni 2024, van <https://tl.iplo.nl/@192700/boringen-grondmechanisch-geo-hydrologisch-0/>
- Informatiepunt Leefomgeving*. (z.d.-b). Pomp-, put- en infiltratieproeven - Processen en modellen. Geraadpleegd 11 juni 2024, van <https://tl.iplo.nl/@194103/pomp-put/>
- Kenniscentrum InfoMil*. (z.d.). Waterwet. Geraadpleegd 24 juni 2024, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterwet/>
- Koelewijn, A., & van den Berg, F. (2014). *Monitoringsfilosofie voor de Nederlandse waterkeringen*. [http://www.dijkmonitoring.nl/\\_sitefiles/file/GEO\\_juli2014\\_vandenBerg\\_Koelewijn.pdf](http://www.dijkmonitoring.nl/_sitefiles/file/GEO_juli2014_vandenBerg_Koelewijn.pdf)
- Koelewijn, A., & van der Meer, M. (2017). *Life cycle monitoring of dikes*.  
<https://www.issmge.org/uploads/publications/1/45/06-technical-committee-07-tc201-09.pdf>
- Koelewijn, A., & van der Meer, M. (2019). *Handreiking Life Cycle Monitoring—Groene Versie*. Deltares. <https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/187991186/Handreiking-Life-Cycle-Monitoring-Groene-Versie.pdf?version=1&modificationDate=1623668540569&api=v2>
- Ritsema, I., Kleine, M. de, van der Meer, M., Bakkenist, S., & Leuvenink, K. J. (2019). *Visie op meten en monitoren voor waterkeringen*.  
[https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/187991186/1230123-010-GEO-0007\\_v1.0-Visie-op-meten-en-monitoren-voor-waterkeringen-ir-secr-.pdf?version=1&modificationDate=1623668534868&api=v2](https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/187991186/1230123-010-GEO-0007_v1.0-Visie-op-meten-en-monitoren-voor-waterkeringen-ir-secr-.pdf?version=1&modificationDate=1623668534868&api=v2)
- Schematiseringshandleiding piping*. (2021). Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.  
<https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/157029/sh-piping-28-mei-2021-v4.pdf>



- Sensoren.* (2019). stowa.  
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Sensoren%2C%20versie%20juni%202019.pdf>
- Ta-survey.* (2017). Dijkonderzoek met drones: LiDAR. <https://www.ta-survey.nl/page/323/NL/drone-onderzoek/technieken/LiDAR>
- Unie van Waterschappen.* (z.d.). Dijken. Geraadpleegd 15 mei 2024, van <https://unievandwaterschappen.nl/waterveiligheid/dijken-in-nederland/>
- van Beek, V. M. (2017). *Handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan t.b.v. Piping.* Deltares. [http://www.dijkmonitoring.nl/\\_sitefiles/file/1221356-000-GEO-0010-v2-r-Handreiking%20voor%20het%20opstellen%20van%20een%20monitoringsplan%20t.b.v.%20piping.pdf](http://www.dijkmonitoring.nl/_sitefiles/file/1221356-000-GEO-0010-v2-r-Handreiking%20voor%20het%20opstellen%20van%20een%20monitoringsplan%20t.b.v.%20piping.pdf)
- van den Berg, F. P. W., & Koelewijn, A. (2014). *IV-Keten.* Deltares. [http://www.dijkmonitoring.nl/\\_sitefiles/file/technologieen-en-toepassingen/1207933-000-VEB-0001-v2-r-IV-Ketendef-.pdf](http://www.dijkmonitoring.nl/_sitefiles/file/technologieen-en-toepassingen/1207933-000-VEB-0001-v2-r-IV-Ketendef-.pdf)
- van der Kaap, J. (z.d.). *Wiertsema & Partners.* Triaxiaalproeven. Geraadpleegd 11 juni 2024, van <https://www.wiertsema.nl/ons-werk/geotechnischlaboratorium/sterkte-proeven-kopie/triaxiaalproeven>
- van der Krogt, M. G., Klerk, W. J., Kanning, W., Schweckendiek, T., & Kok, M. (2020). *Value of information of combinations of proof loading and pore pressure monitoring for flood defences.* Structure and Infrastructure Engineering. <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1857794>
- van Hooijdonk, A. (2023). *Water Forum.* Kosten dijkversterking stijgen mogelijk van 12 miljard naar 23,9 miljard euro. <https://www.waterforum.net/39189-kosten-dijkversterking-stijgen-mogelijk-van-12-miljard-naar-239-miljard-euro/>
- van Montfoort, R., & Wiggers, A. (2020). *Handreiking Meetnetten en Grondwatermonitoring voor Piping.* HWBP. <https://www.hwbp.nl/documenten/publicaties/2020/01/01/handreiking-meetnetten-en-grondwatermonitoring-voor-piping>
- Vermeulen, K. (2023). *Developing a measuring & monitoring strategy for dikes reinforced with innovative anti-piping filter solutions.* Universiteit Twente.
- Waterschap Vallei en Veluwe.* (z.d.). Beheer kades en dijken. Geraadpleegd 16 juni 2024, van <https://www.vallei-veluwe.nl/wat-doet-waterschap/zorgen-veilig-dijken/waterveiligheid-2023/beheer-kades-dijken/>
- Waterschap Vallei en Veluwe open geodata portaal.* (2024). [Shapefiles]. <https://open-geodata-portaal-valleienveluwe.hub.arcgis.com/maps/61a71061eb244977bcd49a3e06e89f96/about>
- Wiki noodmaatregelen.* (z.d.). Faalmechanismen. Geraadpleegd 28 juni 2024, van <https://www.wikinoodmaatregelen.nl/faalmechanismen/piping>
- Zomer, W., Rens, N., Klaarbergen, I., van der Meer, M., & Veendorp, M. (2024). *Spoorboekje Implementatie Dijkmonitoring.* stowa. <https://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/2338656#:~:text=Het%20spoorboekje%20implementatie%20dijkmonitoring%20kan,van%20het%20dijkbeheer%20te%20implementeren.>

# Appendix

## Appendix A: Interviewvragen

### 1. Algemeen | Functie & betrokkenheid

---

1. Wie bent u?
2. Wat is uw functie bij het Waterschap Vallei en Veluwe?
3. Wat zijn uw werkzaamheden in deze functie?
4. Op welke manier bent u in deze functie betrokken bij dijkmonitoring?

### 2. Toepassingen van meet- en monitoringstechnieken

---

1. Wat zijn de meettechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?
2. Waarom zijn deze meettechnieken ingezet voor dijkmonitoring?
3. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van de meettechnieken?
4. Hoe worden de locaties van de metingen bepaald?
5. Wat zijn de monitoringstechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?
6. Waarom zijn deze specifieke monitoringstechnieken uitgekozen voor dijkmonitoring?
7. Op welke locaties worden de technieken toegepast?
  - 7.1. Waarom zijn deze locaties gekozen?
8. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma?
  - 8.1. Zijn de monitoringstechnieken ingezet voor een specifieke levensfase van de dijk?
  - 8.2. Worden de monitoringstechnieken ingezet over de gehele levenscyclus van de dijk?
9. Wordt het doel van het inzetten van de monitoringstechnieken bereikt?

### 3. Technische randvoorwaarden en specificaties

---

1. Kunt u ons meer vertellen over de specifieke technische eisen die Waterschap Vallei en Veluwe stelt aan de meet- en monitoringstechnieken voor dijkmonitoring? (Hieronder een lijst van mogelijke eisen)
  - 1.1. De meetfrequentie
  - 1.2. De meetnauwkeurigheid
  - 1.3. Meetomstandigheden waarin de techniek moet werken (betrouwbaarheid)
  - 1.4. Specifieke doelen waaraan de meetdata moet voldoen

2. Hoe worden de gemeten data van de meet- en monitoringstechnieken gekalibreerd en gevalideerd?
3. Welke specifieke controles en tests worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat de meetapparatuur consistent en accuraat blijven?

#### **4. Besluitvorming dijkmonitoring**

---

1. Wat was de aanleiding om te beginnen met monitoren, had het inzetten van monitoringstechnieken een specifiek doel?
2. Welke belanghebbenden waren betrokken bij dit besluitvormingsproces om te starten met dijkmonitoring en welke rol speelden zij?
3. Wordt er bij Vallei en Veluwe projectmatig gemonitord of vind er ook project overstijgende monitoring plaats?
4. Wordt er voor het opstellen van een monitoringsplan gebruik gemaakt van handreikingen, zo ja welke?

#### **5. Dataverwerking**

---

1. Welke monitoringsdata/parameters worden verzameld?
2. Van welk/wat voor systeem maakt Waterschap Vallei en Veluwe gebruik om de meet/monitoringsdata op te slaan en in te zien? Is dit een intern systeem of wordt er gebruik gemaakt van een systeem uit de markt?
3. Welke methode en tools worden gebruikt voor de dataverwerking en -analyse om de algehele conditie van de dijk te beoordelen?

#### **6. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen**

---

1. Hoe worden de resultaten van het dijkmonitoringsprogramma gebruikt bij het nemen van beslissingen met betrekking tot dijkbeheer, onderhoud en eventuele versterkingsmaatregelen?
2. Is dijkmonitoring effectief om de besluitvorming over versterkingsmaatregelen te kunnen ondersteunen?
3. Welke belanghebbenden waren betrokken bij het gebruik van dijkmonitoringsdata in dit besluitvormingsproces over versterkingsmaatregelen en welke rol speelden zij?

#### **7. Algemeen | Leerpunten & adviezen**

---

1. Wat zijn leerpunten uit de monitoringsprojecten binnen uw organisatie?
  - 1.1. Welke meet- en monitoringstechnieken voldeden/voldoen aan de verwachtingen van het Waterschap Vallei en Veluwe en welke niet, waarom?
2. Welk advies zou u andere waterschappen of organisaties geven?

## Appendix B: Interviews

### Appendix B.1 – Expertinterview 1

**Locatie: Kantoor BZIM, Deventer**

**Geïnterviewde: Expert 1**

**Datum: 08-05-2024, 10:30**

#### 1. Algemeen | Functie en betrokkenheid

---

1. Wat is uw functie bij het Waterschap Vallei en Veluwe? (Anonieme omschrijving)

Ik focus mij op waterkeringen en waterveiligheid. Ik evalueer technische aspecten en vertaal de uitkomsten naar praktische effecten voor het waterschap en het beheergebied

2. Wat zijn uw werkzaamheden in deze functie?

Mijn werkzaamheden zijn erg divers. Ik houd me bezig met de technische stabiliteit van waterkeringen, het inschatten van faalkansen en het bepalen van noodzakelijke maatregelen.

3. Op welke manier bent u in deze functie betrokken bij dijkmonitoring?

Ik hou me bezig met het opzetten van een dijkmonitoringsnetwerk. We hebben in 2020 en 2021 diverse monitoringpunten geplaatst om te kijken of monitoring ons gaat helpen bij het scherper kunnen berekenen van de dijksterkte. Dat hebben we daarmee aangetoond. Vervolgens zijn we in 2023 begonnen met de eerste raaien van de uitbreiding van het monitoringsprogramma. We hebben daar voor een iets andere opzet gekozen. Voorheen hadden we handmatige uit te lezen loggers, vanaf 2023 gaat het uitlezen via de ether (3/4G) en streven we naar 'alles geautomatiseerd'. Dat is dus eigenlijk de opmaat voor het meer grootschalige monitoringsnetwerk wat we uit willen gaan rollen vanaf nou 2024 of 2025 mede onder subsidiëring van het HWBP.

#### 2. Toepassingen van technieken

---

1. Wat zijn de meet- en monitoringstechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Dan richt ik me heel even op de op het tweede deel qua monitoringstechnieken. Naast peilbuizen hebben we ook nog GeoBeads, die staan in de Grebbedijk en dat is ook een monitoringstechniek. Wellicht moeten wij, maar dat hangt af van de monitoringsresultaten van de reguliere peilbuizen gegevens of in ieder geval metingen. Het kan zijn dat wij waterspanningsmeters moeten gaan plaatsen in onze dijk en dan met name de kleidijken. Ja, qua meettechnieken is het wel breder. We zijn met drones bezig. We zijn met LiDAR bezig, met name met BZ. We hebben ook de geotechnische metingen. Dat zijn allemaal metingen van grondopbouw, grondsterkte, de echt de geotechnische metingen. Wat geen monitoring is, want het is gewoon een eenmalige meting en je weet het. Een andere monitoringstechniek is het monitoren van de grasmat. We gaan ook een monitoringsysteem opzetten om de hoogte van de kering blijvend te monitoren.

Hoe wordt de sterkte van de grasmat en de hoogte gemonitord?

Monitoren is het herhaaldelijk meten. De sterkte van de grasmat deden we altijd op indicatorsoorten en soortenrijkdom. Daar zijn we wat van afgestapt en volgens mij gaat het nu meer, maar daar ben ik inhoudelijk ook niet helemaal van op de hoogte hoor, meer over de treksterkte van plaggen. De hoogte is op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). We moeten dat monitoringsprogramma nog op gaan zetten. Maar zal het dus wel zijn dat we dus gewoon eigenlijk onszelf opleggen om jaarlijks de AHN te gaan vergelijken.

Naslaginformatie: monitoring grasmat

We monitoren onze bekledingen tot nu toe met de grastoets die door een extern bureau is uitgevoerd. Dit jaar wordt gewerkt aan een grastoets die we hopelijk met eigen (dijk)beheerders uitvoeren. De grastoets kent twee onderdelen: 1. vegetatiebeoordeling en 2. sterkte zode.

Ik hoop dat we dit jaar nog kunnen starten met de grastoets nieuwe stijl. Het vegetatietype in combinatie met de bedekkingsgraad bepaald de zodekwaliteit, bij twijfel plagsteken om de zodekwaliteit te bepalen.

## 2. Op welke locaties worden de technieken toegepast?

De focus ligt nu op de dijken die minder goed uit de beoordeling komen. Ik zie nog geen reden om de dijken die zijn goedgekeurd in de beoordeling om daar te gaan monitoren. Dat gaat misschien wel komen.

### 2.1. Waarom zijn deze locaties gekozen?

De dijken worden beoordeeld op sterkte en op basis van de uitkomsten, wat dus een vrij conservatieve uitkomst is. Uit de beoordeling blijkt dus dat er nog best wel veel verborgen sterkte in de dijk zit. Oftewel de dijken die goed zijn beoordeeld. Daar zit dus nog een bepaalde extra sterkte. Het zou heel raar zijn als we daar moeten gaan monitoren, want hij voldoet. Maar dat is inzicht voor nu. De dijken die zijn afgekeurd of in ieder geval de vakken die binnen intrek zijn afgekeurd. Kan het maken dat je wel binnen een afgekeurd traject wil gaan meten op een vak dat is goedgekeurd. Want dat vak zegt ook weer iets over de andere vakken.

### Gebeurt het meten van goedgekeurde vakken al?

Nou dat gaan we doen of is in ieder geval de opzet. We hebben ons, in 2020, 2021 en 2023 gefocust op vakken die slecht zijn. Dat is natuurlijk onze eerste monitoring. We hebben nu in totaal iets van 10 of 12 raaien staan. Als we straks naar de 60 raaien gaan, dan zou het misschien best wel kunnen zijn dat we juist ook op vakken die goedgekeurd zijn wel willen gaan monitoren.

### En dat zegt wat over de dijk in het geheel?

Ja dat wil zeggen, want grond reageert natuurlijk over het algemeen wel hetzelfde. Als je eenzelfde opbouw en eenzelfde dikte en dezelfde omstandigheden hebt, dus daar kan het ene vak wel iets zeggen voor een ander vak. Want het kan soms zijn dat je een meetraai wil plaatsen en dan moeite hebt met plaatsing. Want misschien werkt een grondeigenaar niet mee, of zijn de lokale omstandigheden toch net weer anders. Bijvoorbeeld op je voorland, op je bovenste meter, dan in je andere vakken. Dan ga je kijken of je het kunt vergelijken en als je het kan vergelijken is dat een reden om een meter te plaatsen in een vak die dus goed is.

## 3. Waarom zijn deze specifieke meet- en monitoringstechnieken uitgekozen voor dijkmonitoring?

Het is een vrije full proof keuze. We hebben al heel veel ervaring met peilbuizen. We kennen de voor- en nadelen en we weten ook wel hoe we ermee moeten rekenen over het algemeen. Er zijn nog wel wat onduidelijkheden soms. Maar dit is gewoon een keuze voor in ieder geval de zekere weg.

## 4. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma?

Meer inzicht. En daar valt heel veel onder. Uit de beoordeling zijn de vakken gekomen die niet voldoen aan de norm. Uit gevoeligheidsanalyse die is uitgevoerd in 2022 is gebleken dat waterspanningen een aanzienlijk aandeel hebben in de afkeuring. Het is een vrij grote knop, waar we aan kunnen draaien. Als de waterspanning heel negatief is, dan zie je dat afkeuren groot wordt. Maar als de waterspanning dus meer richting positief gaat, dan gaat de afkeuring ook vrij snel richting goed. Het is wel gebleken dat het een gevoelige parameter is. In de beoordeling hebben we eigenlijk onze waterspanningen op basis van een model bepaald. Maar in een model zit een bepaalde zekerheid. Dat is ook conservatief, dus je kan daar gewoon een stuk scherper gaan. Inzicht is dus wat mij betreft heel breed. Maar wat we uiteindelijk wel kunnen gebruiken voor scherpere berekeningen. Alle winsten, die daaronder vandaan

komen, want ik ben ook breder bezig dan alleen maar met dijksterkte, ook effecten zijn belangrijk. Kijk, als je daar op dat plaatje achter je kijkt, dan zie je een boerderij staan. Stel wij gaan niet monitoren, dan zou het kunnen zijn dat die boerderij die daar ligt. Dat daar dan misschien wel een berm moet komen. Als je dus beter inzicht hebt door monitoring kan beter de sterkte bepaald worden, dan kan het zijn dat die boerderij gespaard blijft. Je hebt te maken met woonplekken van mensen en dat is heilig. We moeten daar heel zorgvuldig mee omgaan. Als die mensen op een gegeven moment een seintje krijgen, jullie moeten je huis uit. Dan moet je zeker zijn van dit signaal en er niet 3 jaar later achter komen dat het toch niet nodig is. We hebben de tijd om onze berekeningen aan te scherpen. Om te voorkomen dat misschien mensen een deel van een tuin kwijtraken dat er een kippenhok weggaat of dat een woning voor niets weg moet.

#### 4.1. Zijn de monitoringstechnieken ingezet voor een specifieke levensfase van de dijk?

We zijn nu in gesprek met het HWBP en daar heeft BZIM aan bijgedragen om via de HWBP een aanzienlijk aantal kilometers langs de IJssel gesubsidieerd krijgen. Wij als waterschap gaan vermoedelijk ook een duit in het zakje doen voor onszelf. We gaan over 30 km monitoring aanbrengen. De insteek daarvan verschilt. Want wij krijgen van het HWBP, de monitoring vergoed voor toekomstige verbeterprojecten. Dat is om de lengte van je totale scope te verkleinen, dus misschien geen 30 km, maar 20 km aan dijkverbetering en de impact naast je dijk verkleinen. Dus om de lengte van je bermen ook te beperken. In de praktijk zie je in de uitkomst van de beoordeling een grote scope en een lange berm. De uitkomsten van de beoordeling wil je beter inzichtelijk hebben om uiteindelijk een beter dijkverbeteringsplan te maken. Wat we nu doen is inderdaad op basis van uitkomsten van de beoordeling. Die willen we verifiëren of aanscherpen en dat is uiteindelijk de basis voor je verbetering. Ik ben mij ervan bewust dat de stap van beter inzicht naar verbetering groot is. Waarschijnlijk is een raai op de kilometer ook nog te weinig, want als je wil gaan verbeteren moet je ook weer gaan verdichten, maar het geeft al een eerste beeld. Dus de punten die we nu plaatsen, kunnen we hopelijk nog lang laten staan. Het zou best kunnen zijn dat we uiteindelijk voor een verbetering alsnog iets moeten gaan verdichten. Na de verbetering kunnen er misschien weer een paar peilbuizen uit, omdat die niet voldoen of te weinig inzicht geven. Dus dan moeten we gaan kijken of ons systeem dan ook weer past voor die beheerfase waar in gaat. Het aantonen dat je dijkverbetering inderdaad alles compleet dekt. Dat die goed is uitgevoerd, dat die robuust genoeg is uitgevoerd of dat je toch weer plekken tegenkomt die niet goed lijken. Het is heel lastig, om nu met een bepaalde scope peilbuizen te gaan plaatsen, want die scope die gaat dus nog wijzigen. Maar ik denk wel dat dat de scope van de peilbuizen, die wij dus nu zelf gaan plaatsen, die staan er hopelijk wel gewoon voor een lange tijd en die geven ons als beheerder informatie.

#### 4.2. Worden de monitoringstechnieken ingezet over de gehele levenscyclus van de dijk?

Ze zijn nu geplaatst voor de beoordelingsfase van de dijk. Ja er komt natuurlijk ooit wel weer een dijkverbetering voor de delen die nu goed zijn en dan hebben we in ieder geval wel die informatie. Dan weten we wat er gebeurt onder de dijk en dan kunnen we daar toekomstig wel een dijkverbetering op uitvoeren. Echter het kan natuurlijk zijn dat die peilbuis al lang weg zijn, want een peilbuis of in ieder geval in een opnemer modem gaat 10 jaar mee. Ik weet dus niet zomaar of het nou handig is om elke 10 jaar weer nieuwe loggers te gaan installeren als je weer hetzelfde meet. Ik denk dus dat we misschien niet voor elke elk monitoringspunt een hele levenscyclus gaan halen. Als het monitoringsdoel wordt behaald binnen 10 jaar heeft die in principe zijn werk gedaan.

#### 5. Is het doel van het inzetten van de meet- en monitoringstechnieken bereikt?

Nee, want we gaan pas net beginnen.

### **3. Technische randvoorwaarden en specificaties**

---

*Dit onderwerp is niet behandeld tijdens het interview, omdat expert 1 niet de specialistische kennis had om dit te beantwoorden.*

#### 4. Besluitvorming dijkmonitoring

---

1. Wat was de aanleiding om te beginnen met monitoren, had het inzetten van monitoringstechnieken een specifiek doel?

Zoals aangegeven, uit de beoordeling waren we met een gevoeligheidsanalyse aan het kijken wat de meest gevoelige parameter was. Dat bleek dus onder andere waterspanningen. Dan kom je al snel op dat je meer inzicht wil krijgen in waterspanning.

2. Welke belanghebbenden waren betrokken bij dit besluitvormingsproces om te starten met dijkmonitoring en welke rol speelden zij?

Dat was de toenmalige projectleider van de beoordeling. We hebben beide gezien dat dit gewoon wel een hele belangrijke factor is die we moeten meewegen. Om te komen tot een scherpe beoordeling en een scherp ontwerp. We kunnen het als overheid gewoon niet maken om op basis van aannames de verkeerde besluiten te maken.

3. Wordt er bij Vallei en Veluwe projectmatig gemonitord of vind er ook project overstijgende monitoring plaats?

We hebben natuurlijk uitvoeringsprojecten, waarin we monitoren. Project overstijgend dat is maar net hoe je hem aanvliegt. Wij gaan nu monitoren als voorbereiding voor project IJssel. Ja dat kan je zien als een project. Als je het vanuit de beheerorganisatie Vallei en Veluwe aanvliegt is het denk ik lastiger om dat geld wat je ervoor nodig hebt los te krijgen als je het niet vanuit een project aanvliegt. Vanuit een project kun je het makkelijker koppelen aan projectresultaten, dus het vanuit een project aanvliegen is uiteindelijk makkelijker.

Blijven de peilbuizen uiteindelijk staan?

Ja, maar het is even de vraag of dat kan, maar ik zie onze peilbuizen ook meer als assets. Dat dat zijn onze punten, waar we in hebben geïnvesteerd. Dat zijn buizen de grond in en de opnameapparatuur, dat is allemaal vervangbaar. Het is natuurlijk zonde om een peilbuis eruit te gaan trekken. Dan kun je hem beter onder het maaiveld afdoppen en mogelijk kunnen we hem later nog weer inzetten.

4. Wordt er voor het opstellen van een monitoringsplan gebruik gemaakt van handreikingen, zo ja welke?

We hebben voor de peilbuizen die we nu hebben geplaatst gebruik gemaakt van de handreiking POV piping voor het monitoren van piping. We hebben onze peilbuizen nu dus ook geplaatst voor piping. Dat is wel het dominante mechanisme. Voor macrostabiliteit hebben we ook een opgave, maar volgens mij zijn de waterspanningen die we schematiseren ook bruikbaar voor macrostabiliteit.

#### 5. Dataverwerking

---

1. Welke monitoringsdata worden verzameld?

Het is even de vraag van wat we nu binnenkrijgen en wat we uiteindelijk willen. We hebben nu een contract met Eijkelkamp en dat contract is eindigt. Eijkelkamp die plaatst en beheert onze grondwatermonitoringspunten en dat zijn dus nu punten voor de waterkeringen, maar dat zijn er nog weinig. De meeste punten zijn gewoon puur grondwater punten, van ons primaire meetnet, maar ook van gemeenten. Het contract is ongeveer 15 jaar oud. Toen waren er nog nauwelijks peilbuizen die via de ether hun data konden verzenden. Die werden allemaal handmatig uitgelezen. Dus de specificaties die wij nu hebben zijn verouderd ten opzichte van de specificaties die we eigenlijk willen hebben. Er zijn nu gesprekken met mogelijke andere aanbieders, er is heel veel informatie te leveren en je moet je afvragen wat je wil weten. Uiteindelijk gaat het om de data die we toe willen passen in de modellen. Dat is de grondwaterstand en dan zegt een raai, dus meerdere punten op een lijn meer dan een

meetpunt. Bijkomend bij de peilbuis werkzaamheden willen we informatie over de doorlatendheid van de peilbuis en hoe snel die reageert op een peil verandering. Het water in de peilbuis reageert op een waterstands daling buiten de peilbuis, oftewel is het filter nog goed. Er is heel veel metadata die wat zegt over je werkelijke data die je binnenkrijgt. Dit kun je gebruiken voor de validatie van je data. Uiteindelijk gaat het dus om data die je kan inpluggen in je modellen, maar ook om de data om het monitoringssysteem optimaal te gaan beheren. Kosten en zekerheid voor het systeem is belangrijk, want je wil dat het systeem werkt als het hoogwater is.

2. Van welk/wat voor systeem maakt Waterschap Vallei en Veluwe gebruik om de meet/monitoringsdata op te slaan en in te zien? Is dit een intern systeem of wordt er gebruik gemaakt van een systeem uit de markt?

Ik weet dat Eijkelkamp ook een soort viewer heeft. Maar we halen ook de data uit de database en dat zetten we in ons eigen systeem. Het is in ieder geval onze data. Wij hebben het systeem opgezet, dus de data die gevalideerd is en waar het om gaat moeten we bij ons in huis hebben en niet zomaar bij een externe partij laten.

3. Welke methode en tools worden gebruikt voor de dataverwerking en -analyse om de algehele conditie van de dijk te beoordelen?

In principe zijn de uitkomsten van monitoring input voor een nieuwe som. Het is een reeks aan berekeningen die je moet maken om uiteindelijk te komen tot dijksterkte. Water doet veel voor sterkte in een grondlichaam, dus dit heeft een belangrijk aandeel.

## **6. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen**

---

1. Hoe worden de resultaten van het dijkmonitoringsprogramma gebruikt bij het nemen van beslissingen met betrekking tot dijkbeheer, onderhoud en eventuele versterkingsmaatregelen?

Dan moet ik natuurlijk wel wat vooruitlopen op de resultaten, dus ik weet het nog niet. We hebben berekeningen alvorens ons monitoringsprogramma en berekeningen na ons dijkmonitoringsprogramma. Oftewel, daarin kan je gewoon een netto vermeden uitgaven bepalen. Je hebt de kosten voor je monitoringsprogramma. Als daaruit blijkt dat je 10 km minder moet gaan verbeteren kan je aangeven dat de kosten minder zijn. Als je hierop inzoomt kun je het beheer hier ook op aanpassen, dus een meer risico gestuurd beheer. Op basis van monitoringsresultaten kan er uitkomen dat je op een locatie geen problemen hebt, dan kan het beheer hier minder intensief. Dat bespaart ook weer geld. Met de berekeningen kun je heel veel aantonen, dat het anders kan of anders moet. Daar volgen maatregelen uit, hierin hebben we als waterschap dijkveiligheid voorop. Het moet aan de norm voldoen of aan de norm gaan voldoen, maar daar hoeven niet veel schepjes bovenop. Als we op een locatie meer moeten doen, dan is het zo en als we op één locatie minder kunnen doen, dan is dat mooi meegenomen. Met berekeningen kunnen we alles aantonen samen met het inzicht van de beheerder. Dat is ook van belang, want berekeningen zeggen ook niet alles. Gezamenlijk kunnen we komen tot een aanscherping van beheer of een aanscherping voor je calamiteitenorganisatie. Als we meer weten, dan kunnen we gericht sturen.

2. Is dijkmonitoring effectief om de besluitvorming over versterkingsmaatregelen te kunnen ondersteunen?

Dat denk ik wel en het is zeker mede effectief. We gaan dijkmonitoren, maar we gaan ook nog meten. We gaan dus nog meten geotechnische sonderingen, grondonderzoek en boringen omdat eigenlijk alle data die je hebt langs je dijk moet een beetje in verhouding zijn. Dus je kunt wel meer zeggen over het grondwater verhang, of in ieder geval je stijghoogte. We gaan ook weer informatie verzamelen over de technische opbouw en de ondergrond. Scenario's die daar aanhangen en scenario's uitsluiten die nu heel zwaar meewegen, bij een bij een negatief oordeel. We gaan meer informatie verzamelen en monitoring is daar een onderdeel van. We gaan heel veel meer rekenen en meer nieuwe inzichten



toepassen. Monitoring is gewoon een ingrediënt, in onze totaaloplossing die we zien voor onze visie om te komen tot een scherpe analyse. We varen nu op aannames berekeningen uit een model, maar meten is weten. We weten dan gewoon werkelijk wat er gebeurt. Dus ja dijkmonitoring is effectief alleen er is meer dan alleen maar dijkmonitoring. Het combineren van meten en monitoren helpt om uitkomsten lokaler te bepalen. Monitoring zien we nu op kilometerniveau. We gaan ook aanvullend grondonderzoek doen, dus meer berekeningen maken. Als na de berekening blijkt dat er toch iets niet goed is. Als we dan de waterspanning optimaliseren door monitoring kunnen we er toch nog meer uithalen. Dat kan reden zijn om er nog een punt tussen te plaatsen. Het is een iteratief proces. We hebben nu een basis eens in de kilometer, we gaan geotechnisch onderzoek doen en misschien moeten we daarna toch nog weer verdichten of komt er een andere gevoelige parameter bovendrijven.

3. Welke belanghebbenden waren betrokken bij het gebruik van dijkmonitoringsdata in dit besluitvormingsproces over versterkingsmaatregelen en welke rol speelden zij?

Dat zijn met name de specialisten. Die hebben wel aangegeven van we hebben de analyse gedaan, maar waar zit nu die gevoeligheid. Zij tonen aan dat dat dat die gevoeligheid met name in waterspanningen zit.

## **7. Algemeen | Leerpunten & adviezen**

---

1. Wat zijn leerpunten uit de monitoringsprojecten binnen uw organisatie?

In 2020 en 2021 hebben we peilbuizen geplaatst met die handmatige loggers. Uiteindelijk het plaatsen van die handmatige loggers en dus ook het uitlezen en het ophogen van de peilbuizen was lastig. Want bij hoogwater lopen ze in en meet je niks meer, in ieder geval niks relevants. We zijn in 2023 overgestapt op waterdichte peilbuizen en automatische loggers. Ik merkte wel dat dus voor het bureau best wel heel erg ingewikkeld was. Dus dat heeft best wel veel energie gekost om dat voor elkaar te krijgen. Ik heb daar best wel veel van geleerd, dus van het plaatsen. Alleen om dat dus niet zomaar even wordt uitgevoerd. Dat is best een intensief project/proces geweest. We zijn nu nog aan het opzetten, dat is dus een constante leer.

1.1. Welke meet- en monitoringstechnieken voldeden/voldoen aan de verwachtingen van het Waterschap Vallei en Veluwe en welke niet, waarom?

We hebben ook in de beoordeling met een grondradar metingen uitgevoerd. Met de grondradar worden er pulsen de grond in gestuurd en op basis van een puls kan je achterhalen of de grond zand, klei, veen of wat dan ook is. Dat is niet goed gegaan, want wij vonden het uitvoerend bureau eigenlijk achteraf gezien te weinig ervaring hebben met de grond grondradar. In de eerste hele droge zomer die we hadden, hebben zij metingen uitgevoerd en alles bleek zand. Omdat het uitgedroogd was werd alles als zand gelezen. Daar waren we niet blij mee en uit dat project hebben we de stekker getrokken. Meten en monitoren is duidelijk en volgens mij voldoen de meeste wel. We hebben gekozen voor peilbuizen, omdat dit een bewezen techniek is die waarschijnlijk bruikbare resultaten oplevert.

2. Welk advies zou u andere waterschappen of organisaties geven?

Meer meten en meer monitoren. Ik zie dat er nu heel veel dijkversterkingsprojecten dat al een project is uiteindelijk door meten en monitoren en betere inzichten als een kaartenhuis in elkaar vallen. Dan kun je zeggen dat is goed nieuws. Ja het is goed nieuws, want we hoeven niet te gaan versterken. Maar zelfde voorbeeld wat ik net gaf van die boerderij. Er is al gecommuniceerd u moet uw huis uit. En het waterschap, dat gaat dus alsnog meten of betere software in zitten. Dus meer inzicht te krijgen en 3 jaar later blijkt ja u hoeft toch niet weg. Dat hadden we als BV Nederland kunnen voorkomen als wij dus meer zouden gaan meten en monitoren en dus ook de resultaten scherper in berekeningen weg gaan zitten. Dus het is wel dat we als Nederland vaart moeten gaan maken, want 2050 alle dijken op orde lijkt ver weg. Maar we moeten ons wel focussen op de juiste dijkvakken die echt slecht zijn. Wat we nu aan het doen zijn is wat minder effectief, dus volgens mij is het een oproep voor alle waterschappen en ook voor het HWBP om de monitoring volledig gesubsidieerd te maken. Dat is een

kleine investering in vergelijking met dijkverbetering. Dat is de enige manier waarop wij als Nederland BV echt grip gaan krijgen op de werkelijke sterkte van de keringen. Daarbij komt wel de plicht voor waterschappen om daar ook iets mee te gaan doen. Want we moeten dan wel ook gaan rekenen en gaan toepassen. We kunnen en we moeten als Nederland hierin gaan investeren. Dus ook om een vergelijkbaar beeld te krijgen in Nederland. We toetsen natuurlijk onze kering al heel lang, en dat geeft een inzicht. Echter de laatste beoordeling die we hebben uitgevoerd in 2016 tot 2022 op basis van de overstromingskans. Ik denk dat we zeker scherper zijn gaan zitten als voorheen. Maar het blijft een eerste beeld. En het eerste beeld moet en kan een stuk scherper, dan hebben we tijd voor nodig. Dat is goed, laten we onze tijd goed inzetten en dus nu al beginnen met monitoren.

## Appendix B.2 – Expertinterview 2

**Locatie: Kantoor Waterschap Vallei en Veluwe, Apeldoorn**

**Geïnterviewde: Karel Hagemans**

**Datum: 16-05-2024, 13:00**

### 1. Algemeen | Functie & betrokkenheid

---

1. Wie bent u?

Ik ben Karel Hagemans.

2. Wat is uw functie bij het Waterschap Vallei en Veluwe?

Ik zit hier sinds 1 februari en ben aangenomen om met de monitoring van de IJsseldijk bezig te gaan.

3. Wat zijn uw werkzaamheden in deze functie?

De data van de peilbuizen, want daar gaat het eigenlijk om. Peilbuisdata die worden verzameld in een database, die neem ik op en die kan ik dan analyseren. Daar komen dan bepaalde parameters uit. Ja dat is eigenlijk wat ik vooral doe.

4. Op welke manier bent u in deze functie betrokken bij dijkmonitoring?

Ja mijn functie richt zich wel volledig op dijkmonitoring, dus ik heb niet andere dingen erbij, zoals Arnoud en Renée dat hebben. Ik zit eigenlijk alleen bij het dijkmonitoringsverhaal langs de IJsseldijk.

### 2. Toepassingen van technieken

---

1. Wat zijn de meettechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Volgens mij heb je LiDAR en dat soort dingen. Dan praat je meer over de vorm van het talud en dat soort dingen.

2. Waarom zijn deze meettechnieken ingezet voor dijkmonitoring?

Daar hou ik mij niet mee bezig dus dat zou ik niet weten.

3. Wat zijn de monitoringstechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Door het waterschap zijn peilbuizen geplaatst langs de IJsseldijk. Daarin doen ze loggers die meten het af. Je hebt dus automatische loggers die gewoon automatisch naar de database alles updaten per uur of je hebt soms per 6 uur of per dag dat ligt een beetje aan de logger. Dan heb je ook nog handmatige en die worden handmatig ingewonnen, dus die zitten in een peilbuis. Het nadeel daarvan is dat bij hoogwater als ze in het voorland staan in de buitenteen van de dijk, als ze onderwater staan kun je ze niet bereiken. Dan heb je er helemaal niks aan, totdat het weer droog ligt en de beheerder van de peilbuizen die leest het dan vervolgens af. Dus wij willen op een gegeven moment naar een meer automatisch systeem.

#### 4. Waarom zijn deze specifieke monitoringstechnieken uitgekozen voor dijkmonitoring?

Wij hebben langs de IJsseldijk, dus een beoordeling gedaan op eigenlijk een hele waslijst aan allemaal verschillende faalmechanismen. De IJsseldijk is aan de hand van de eisen die gesteld zijn voor 2050 uit mijn hoofd, die zijn dus redelijk recentelijk beoordeeld en die zijn dus afgekeurd. Op twee nou eigenlijk pak 'm beet twee à drie faalmechanismen. Dat zijn macrostabiliteit binnenwaarts en piping. Dat zijn de grootste uitdagingen langs de IJsseldijk. Die grondwatermonitoring dat heeft zoveel effect, de parameters die je daaruit kan halen. Die heeft heel veel effect op de berekening die je maakt. In de beoordeling. Daarom kun je dus als je dat monitort, dus in plaats van aannames doen, dat veel gedaan is. Als je meet, dan weet je precies wat er aan de hand is in dat stukje dijk. Dan blijkt, dat hebben wij nu dus met BZ bij jullie in Deventer aan de hand van 4 meetraaien al kunnen zien dat het enorme effecten heeft. De monitoring is positief, dus dat ze in plaats van afgekeurd zijn dat ze goed gekeurd worden.

#### 5. Op welke locaties of bij welke projecten worden deze technieken toegepast?

Nou allereerst gewoon de mate van afkeuring, dus de beoordeling die is laatst geweest. Dan wordt eigenlijk vooral gekeken, langs de IJsseldijk waar is hier een uitdaging op piping of op macrostabiliteit. Dan worden er ook nog wat landschappelijke dingen meegenomen, bijvoorbeeld zit er een kolk voor of achter dat negatief effect heeft bij piping op de dijk. Dat soort dingen neem je allemaal mee. Ik ben zelf nog niet echt betrokken geweest bij de huidige aanleg van de peilbuizen, omdat ik er sinds februari ben, dus dat heeft de voorganger William gedaan, maar die is nu vertrokken. Die heeft een andere baan nu. Dus die heeft eigenlijk de aanleg verzorgd, maar wij gaan nu richting een nieuwe aanleg van zo'n 80 peilbuizen. 80 nieuwe peilbuizen dus dan gaan we daar allemaal analyses op loslaten, sowieso waar zijn ze allemaal op afgekeurd. Dan kijk je verder, wat kunnen we in dit gebied verwachten op basis van piping of macrostabiliteit. Je neemt allemaal verschillende dingen mee, dus ook het landschap ook hoe dik is de waterremmende laag. De deklaag, hoe dik is die en hoe ziet de ondergrond eruit qua andere ondergrond types. Zo kun je nog heel veel andere dingen bedenken en dat nemen we allemaal mee.

#### 6. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma?

Nou het belangrijkste is om echt goed inzicht te krijgen in de IJsseldijk. De verwachting is dat we heel veel afgekeurde kilometers IJsseldijk kunnen weg rekenen hiermee, maar dat is niet het doel op zich, dat staat voorop. Het doel is dat je dus wel precies weet wat hier aan de hand is, dus mocht het zo zijn dat gedeeltes IJsseldijk slechter zijn dan beoordeeld, dan is het juist positief, want dan is dat goed voor onze zorgplicht richting de inwoners die wij beschermen voor waterveiligheid. Dat is eigenlijk het primaire doel, zou ik zeggen.

##### 6.1. Zijn de monitoringstechnieken ingezet voor een specifieke levensfase van de dijk?

Nou we richten met de toekomstige uitbouw van het netwerk richten wij ons niet op 2050 waar nu de beoordeling op is gedaan, maar verder richting 2075. Dat we dan ook nog die toekomstige aanscherping alvast ons daarop focussen. Als je dijkversterking gaat doen, is dat echt lange termijn werk en een dijkversterkingsproject duurt ook heel lang, dus in de richting dat je zo'n project daadwerkelijk hebt uitgevoerd, dan kom je al bijna richting de nieuwe aangescherpte normen, 2075 of zelfs 2100. Daar spelen we alvast op in. Met de beoordeling hebben wij dus nu een kader geschetst van hoe het er nu voorstaat. Maar we gaan richting een aangescherpt kader, van hoe het daadwerkelijk is. Dat is dus zonder de versterkingsmaatregelen meegenomen. Dus nu denken we te weten wat het is, maar als we monitoren weten we precies wat er aan de hand is. Dan gaat dat hoogstwaarschijnlijk de boel wel aanscherpen.

##### 6.2. Worden de monitoringstechnieken ingezet over de gehele levenscyclus van de dijk?

Ja, dat wordt allemaal meegenomen, dus de aanleg dat focust zich op het eerste. We focussen ons nu eerst op wat afgekeurd is. Daarna gaan we ook echt kijken van waar wat afgekeurd, is dat dusdanig slecht wat sowieso versterkt moet gaan worden. Nou, dan gaan we nog veel specifiek daarop

focussen. Maar als nou over zoveel jaar blijkt, na deze dijkversterking, is het voorlopig wel goed. Dan kunnen we het ook nog uitbouwen naar andere plekken, dus die goedgekeurd zijn om nog meer te weten te komen op die plekken dat je dat je die niet uit het oog raakt. De prioriteit ligt nu bij de meest afgekeurde stukken en nog specifiek waar ook de faalmechanismen overlappen. Dus waar zowel op macrostabiliteit als op piping de IJsseldijk is afgekeurd, dus daar focussen we ons nu allereerst op, omdat we verwachten als we dat beter inzichtelijk kunnen hebben dan hebben we eigenlijk twee vliegen in één klap. Dan haal je het meest uit de monitoring.

7. Wordt het doel van het inzetten van de monitoringstechnieken bereikt?

Ja dat denk ik wel. We hebben nu met BZ aan de hand van slechts 4 raaien al een redelijk beeld gecreëerd langs de IJsseldijk. Nu we eigenlijk echt al onze monitoringsdata beter op orde gaan krijgen en nog meer monitoringpunten gaan aanleggen. Ja wordt dat eigenlijk alleen maar beter, het inzicht in de dijk. Nu hebben we een beeld aan de hand van 4 raaien. Er zijn er in totaal 20 met een beetje wisselvallige data, dus als we dat op orde kunnen krijgen plus nog extra peilbuizen erbij.

Hoeveel peilbuizen zitten er in een raai?

Ja dat dat varieert nu sommigen hebben er twee, sommige hebben er 3. Er zijn ook nog een aantal met 4. Maar we willen eigenlijk naar raaien met 4 peilbuizen, zodat je echt het hele effect van het voorland en ook het achterland helemaal kan meenemen. Dan krijg je echt het beste beeld van de grondwaterstroming.

Naslaginformatie: peilbuizen

We hebben momenteel 20 meetraaien, daarin zijn hebben de raaien 2, 3 of 4 peilbuizen per raai. Bij de uitbreiding van die 80 nieuwe peilbuizen willen we naar 4 buizen per raai, hierbij willen we waarschijnlijk ook de huidige raaien gaan aanvullen. Het zullen ongeveer tussen 15 en 20 nieuwe raaien kunnen zijn, maar dat is nu nog niet met zekerheid te zeggen.

### **3. Technische randvoorwaarden en specificaties**

---

1. Kunt u ons meer vertellen over de specifieke technische eisen die Waterschap Vallei en Veluwe stelt aan de meet- en monitoringstechnieken voor dijkmonitoring? (Hieronder een lijst van mogelijke eisen)

Meetfrequentie

De meetfrequentie dat we bij dat project recentelijk hebben aangehouden was elke 6 uur. Dus om de 6 uur hadden we aangenomen voor de data, dat moet je beter navragen, maar ik geloof dat hij om de 6 uur meting had gebruikt. Nu heb je ook peilbuisdata die die elk uur al wordt geüpdatet. Ja, in principe heb je van uur tot uur niet zo'n enorm verschil, maar 6 stappen van 6 uur, dat is wel redelijk goed.

Is de meetfrequentie bij hoogwatersituaties hetzelfde of meet je dan vaker?

We focussen ons op hoogwatersituaties, want die komen eigenlijk dichtst bij die situaties, nou ze komen niet bij de normsituaties in de buurt dus, maar ze geven wel het beste beeld. Eigenlijk een soort simulatie als het ware. Voor andere situaties is het wat minder van belang. Dus voor die waterveiligheid waar we ons nu op focussen is die data bij hoogwater het belangrijkste. (het waterschap noemt het hoogwater als het hele voorland onderwater staat)

Meetnauwkeurigheid

Nou we gaan dus richting automatisch loggers die zorgen er wel gewoon voor dat je een constante stroom hebt van data. We hebben wel peilbuizen gehad, die gaan dan kapot of dan stromen ze zelf onder bij hoogwater als ze in het voorland liggen. Ja dan heb je juist wat je wil weten, dat heb je dan weer niet. We willen gewoon eigenlijk naar gewoon, zo'n geautomatiseerd systeem, waardoor je gewoon altijd data inwint.

### Meetomstandigheden

Het blijkt dus ook dat koeien die kunnen het ook vertrappen. Dus al je in een van de weilanden een peilbuis hebt staan, het is voorgekomen. Dat wil je niet hebben. Ja in hoogwatersituaties kan je gewoon een opgehoogde peilbuis hebben dat die er bovenuit steekt. Volgens mij heb je ook nog een methode waardoor je het waterdicht kan maken, maar ik weet niet heel precies hoe dat specifiek werkt die techniek. Wij willen wel echt dat vooral de buitenteen en het voorland goed meegenomen wordt.

### Specifieke doelen

Als het betrouwbare informatie is, een betrouwbare meting en als die ook tijdens hoogwater situaties gewoon voldoende door blijft meten. Dan kun je gewoon die parameters goed bepalen. Die willen we vervolgens uit die analyses volgen. Daar gaat het vooral omdat je die uitkomsten van die analyses die stop je dan vervolgens in software. Waarmee je dus de faalkans kan berekenen van de dijk. Dat is uiteindelijk wat je wil weten, hoe groot is de kans dat die in zo'n situatie zou falen?

#### 2. Hoe worden de gemeten data van de meet- en monitoringstechnieken gekalibreerd en gevalideerd?

Kalibratie doet geloof ik de beheerder voor ons. Dat is Eijkelkamp momenteel. Ik weet niet hoe ze dat precies doen.

#### 4. Welke specifieke controles en tests worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat de meetapparatuur consistent en accuraat blijven?

Volgens mij is dat echt een vraag voor Eijkelkamp. In principe zoals ik het heb, wij krijgen het in de database en daar gaan we vervolgens mee werken. Dus ja, volgens mij is dat echt een vraag voor Eijkelkamp.

## **4. Besluitvorming dijkmonitoring**

---

*Dit onderwerp is niet behandeld tijdens het interview, omdat Karel geen kennis heeft over besluitvormingen binnen het waterschap.*

## **5. Dataverwerking**

---

#### 1. Welke monitoringsdata worden verzameld?

Nou waar we eigenlijk vooral naar op zoek zijn als het gaat om het piping verhaal, macrostabiliteit heb ik eigenlijk geen ervaring mee. Maar ik ben vooral met piping bezig geweest. Wat we uit de data halen is een dempingsfactor. Die dempingsfactor bepaal je in de buitenbeen van de raai eigenlijk. Daarmee kun je aan de hand van die demping, die dempingsfactor kun je zien hoeveel, ja wordt eigenlijk de vertragende werking van het voorland meegenomen. Dat vormt dan vervolgens de parameter die je in software stopt. Daarmee reken je vervolgens de faalkans uit.

#### 2. Van welk/wat voor systeem maakt Waterschap Vallei en Veluwe gebruik om de meet/monitoringsdata op te slaan en in te zien? Is dit een intern systeem of wordt er gebruik gemaakt van een systeem uit de markt?

Dat gebeurt in FEWS een programma van Deltares. Daar wordt door Eijkelkamp geüpload. Daarin kun je de data gewoon kopiëren. Je kan niet eruit halen als een CSV, maar je stopt het gewoon in een Excel tabel of je kan het volgens mij ook importeren in Python. Python doe ik zelf niet zo heel veel maar vooral Excel tot nu toe. Dat is een database waarin je ook wel sommige analyses kunt uitvoeren, maar de analyses die wij doen voor die dempingsfactor die moet je echt in Excel of in python doen. Zo geavanceerd zijn die tools niet in dat systeem, dus ik gebruik het vooral als een database waar je zowel de monitoringsdata uit kan halen als de waterstanden van de IJssel. Dan heb je een aantal meetpunten

langs de IJssel en je hebt ook een geïnterpoleerde waterstand waar die per kilometer wordt berekend en die gebruiken we ook wel eens.

3. Welke methode en tools worden gebruikt voor de dataverwerking en -analyse om de algehele conditie van de dijk te beoordelen?

In Excel heb ik die dempingsfactor geanalyseerd. Dat rolt eruit en dat kun je vervolgens verwerken in Riskeer. Dat is een ander programma, daarin zitten allemaal profielen. Die zijn al eerder aangemaakt door ons. In zo'n profiel kun je zowel de dempingsfactor invoeren, maar om bij de faalkans te komen moet je een paar aanpassingen maken. Wat je dan doet in Riskeer, je zet dan het intredepunt, bij piping heb je een intrede en uitredepunt. Voor de weg van het grondwater en dat intredepunt plaats je eigenlijk op de plek waar de peilbuis staat. Van de buitenteense peilbuis, dus als je zo'n raai hebt van peilbuizen, heb je eerst het voorland dan buitenteen, binnenteen en achterland. Dan plaats je het intredepunt in dat systeem bij de buitenbeen, vervolgens moet je dan de waterstand aanpassen aan de nieuwe geometrie. Nou en dat vond dan een nieuwe invoer en daar rolt dan een nieuwe faalkans uit. Dat is een hele diepe dive, een beetje de beschrijving te hebben. Dan heb je ook nog D-Geo Flow en dat is door Deltares gemaakt. Dat is een nog een nieuwe aanscherping op piping berekeningen. Want dat modelleringsprogramma is net wat gedetailleerder, je neemt net wat meer parameters mee. Dat is wel een aanscherping voor ons. Het is nu nog even de vraag wat we daar precies mee gaan doen. We willen dat wel in de toekomst gewoon als standaard gebruiken in onze berekeningen. Dat is nog een beetje aanzien hoe we dat gaan integreren in ons programma. Vooral in een monitoringsprogramma. Het is ook niet nog niet in de beoordeling gebruikt, maar uiteindelijk willen we dat wel gaan toepassen.

## 6. **Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen**

---

*Dit onderwerp is niet behandeld tijdens het interview, omdat Karel geen kennis heeft over besluitvormingen binnen het waterschap.*

## 7. **Algemeen | Leerpunten & adviezen**

---

1. Wat zijn leerpunten uit de monitoringsprojecten binnen uw organisatie?

Voor mij is het belangrijkste leerpunt dat als we die data goed op orde kunnen krijgen, kunnen we een aangescherpt beeld creëren. Dat is ook dat ze automatisch worden ingelezen dat je geen gedoe hebt met handmatig inlezen dat soort dingen. Dat vooral denk ik qua leerpunten, maar we zijn ook nog maar net begonnen. Er zullen sowieso nog wat extra leerpunten bij komen.

1.1. Welke meet- en monitoringstechnieken voldeden/voldoen aan de verwachtingen van het Waterschap Vallei en Veluwe en welke niet, waarom?

Nou met het project was onze verwachting wel dat het de berekeningen zal aanscherpen en die verwachting is met het project wat we bij jullie bij BZ hebben gedaan is wel redelijk uitgekomen. Ja op een raai na, maar die had helemaal geen voorland, dus dan heb je ook eigenlijk geen demping. Dat was ook wel een goeie om mee te nemen voor de variatie aan type raaien die we hadden. Was het wel goed om die mee te nemen voor een latere vertaalslag naar de rest van de IJssel.

2. Welk advies zou u andere waterschappen of organisaties geven?

Wij zijn eigenlijk een van de weinige waterschappen die dat ook toepassen buiten Rijn en IJssel en Noorderzijlvest. Ik zou zeggen tegen andere waterschappen, als je veel problemen hebt met piping en ook met macrostabiliteit. Dan heeft het een grote toegevoegde waarde om te gaan monitoren. Ook ter voorkoming van veel dijkversterkingen, want die kosten echt miljoenen per kilometer. Uiteindelijk het HWBP, een soort alliantie tussen alle waterschappen en het rijk, die moeten het ook al omarmen. Als zij die miljarden willen uitgeven aan dijkversterking dan ben je verder van huis dan dat je monitoring

toepast en uiteindelijk veel minder hoeft te versterken. Ook voor het rijk is dat een enorme kostenbesparing.

### Appendix B.3 – Expertinterview 3

**Locatie: Kantoor Waterschap Vallei en Veluwe, Apeldoorn**

**Geïnterviewde: Expert 2**

**Datum: 16-05-2024, 15:00**

#### **1. Algemeen | Functie & betrokkenheid**

---

1. Wat is uw functie bij het Waterschap Vallei en Veluwe? (Anonieme omschrijving)

Ik ben adviseur.

2. Wat zijn uw werkzaamheden in deze functie?

Ik beoordeel de dijken of ik toets de dijken aan de verschillende faalmechanismen of enkele daarvan en ik adviseer ook vergunningen met name vergunningen bij dijkversterkingen. Allemaal de technische kant ervan.

3. Op welke manier bent u in deze functie betrokken bij dijkmonitoring?

Nou ja op dit moment alleen advisering niet uitvoerend en ook niet het proces van dijkmonitoring.

#### **2. Toepassingen van technieken**

---

1. Wat zijn de meettechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Ja meettechnieken hebben we tijdens de beoordeling veel gedaan. Dat zijn nou ja, momentopnamen en ook punt opnames zijn er geweest. Veel boringen en sonderingen hebben we gedaan en uit die boringen zijn ook labonderzoeken geweest voor verschillende parameters. Sterkte parameters, maar ook korrelgroottes en doorlatendheden. Doorlatendheden niet echt, maar vooral korrelgroottes.

2. Waarom zijn deze meettechnieken ingezet voor dijkmonitoring?

Omdat op korte termijn, we hadden weinig tijd voor meet en monitoring voor de beoordeling van de IJsseldijken in dit geval. Trouwens ook de andere primaire trajecten die we moesten beoordelen. Dus tijd voor monitoring was er niet en de kennis, hoe monitoren in te zetten bij de beoordeling was er destijds nog niet. Dus we hebben vooral ingezet op meten en sonderingen en boringen. Dat kan op vrij korte termijn uitgevoerd worden.

3. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van de meettechnieken?

Het verkrijgen van parameters voor de berekeningen.

4. Wat zijn de monitoringstechnieken die worden of werden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Naar mijn weten alleen grondwatermonitoring. Er is ook nog wel oppervlaktewater metingen binnen water dus, als polderpeil metingen. Die worden eigenlijk ingezet voor hydrologie. Maar voor dijk beoordeling kan daar informatie uitgehaald worden. Vaak is die monitoring van oppervlaktewater ver verwijderd van de dijk bij een bij een stuw of een gemaal ver binnendijks. Soms zijn er gemalen ook wel in de dijk. Dan heb je er iets meer aan voor de dijk en anders moet je het vertalen, die waterstand metingen ver van de dijk naar waterstanden dicht bij de dijk. Voor piping, heb ik daar zeker bij dijktraject 11.1 een doorvertaling gemaakt. Min of meer een logische doorvertaling alleen zonder dat echt te kunnen toetsen. Om daarmee waterstanden bij de dijk te bepalen, vaak omdat polderpeilen die gemeten worden bij gemalen en stuwen ver binnendijks vaak veel lager zijn dan de bodempeilen

van de sloten bij de dijk. Dat is fysiek natuurlijk niet mogelijk en daarom gaan we uit van een oplopend peil tot in de haarvaten, dus bij de dijk.

5. Waarom zijn deze specifieke monitoringstechnieken uitgekozen voor dijkmonitoring?

Nou ja, we doen dus nu voornamelijk grondwater metingen. Omdat die bij hoogwater op korte afstand tot een groot verval of juist niet kunnen leiden. Dan heb je minder aan monitoring binnendijs of ver binnendijs. Ver binnendijs is het grondwater meer gelijkmatig en heb je dus een groter bereik voor een peilbuis. Voor dijken, dus voor waterveiligheid heb je in de buurt van de dijk vaak een groot verhang en heb je dus meerdere peilbuizen nodig. Die hadden we niet, dus hebben we daar op ingezet. Sluit niet uit om ook nog oppervlaktewaterpeilingen te laten doen. In de dijksloten die we ook niet hebben, maar dat kan nog volgen.

6. Op welke locaties of bij welke projecten worden deze technieken toegepast?

Op dit moment wordt het al gedaan bij de Grebbedijk, omdat hij in de versterking zit. Daar hebben we ook minder zicht op, omdat het meer binnen het projectteam wordt gehouden. Wij zijn nu bezig met een traject aanpak. Of daarop vooruitlopend en dat passen we nu toe op de IJsseldijk.

Is de monitoring bij de Grebbedijk ingezet voor versterking?

Ja, bij de Grebbedijk is het eigenlijk dat die eerste pijlbuizen zijn geslagen op het moment dat er al een project was opgestart. Bij het eerste begin van het project, terwijl we bij de IJsseldijk zijn we nu nog voor een versterkingsproject bezig, dus we zitten zelfs nog voor de trajectaanpak. De trajectaanpak is voor de versterking.

Had je bij de Grebbedijk willen monitoren voor het versterkingsproject?

Je hebt het liefste, zo lang mogelijk tijdreeksen, dus hoe eerder je dan begint met meten voor een versterking. Of voor het proces tot men komt tot het ontwerp, hoe meer je erin kan halen. Ze hebben ze zo snel mogelijk erin gezet naar mijn weten. Eerder konden ze het niet zetten en bij de IJsseldijk hebben we die mogelijkheid wel, dus daarom beginnen we nu al te monitoren voor dijkversterkingsprojecten worden opgestart

7. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma?

Doelstelling is ten eerste om de beoordelingsresultaten aan te scherpen en dus de versterkingsopgave te verkleinen. Ten tweede om de vakken die alsnog een versterking nodig hebben om mogelijk daar de versterking aan te scherpen. Je krijgt minder onzekerheid over de locatie waar gemeten wordt en als je dus meer weet over de specifieke locatie is er dus minder onzekerheid en kan je dus scherpere ontwerpen.

7.1. Zijn de monitoringstechnieken ingezet voor een specifieke levensfase van de dijk?

Ja dat zal uitwijzen ik heb daar minder zicht op. Ik weet wel dat het vaak ook te maken heeft met beheer. Het kost natuurlijk geld om een bepaalde buis aan te houden. Er zal geld voor vrijgemaakt moeten worden om peilbuizen aan te houden. Dan moeten ze ook in het systeem landen van het waterschap en in het netwerk. Dan is nog even de vraag van welke peilbuizen houd je aan of hou je ze allemaal aan of maak je daar een keuze in na de versterking. Ja, daar ben ik niet bij betrokken. Bij de IJsseldijk zitten we nu tussen de beoordeling en versterking in. De beoordeling is afgerond en we zitten nu voor de trajectaanpak en de trajectaanpak volgt op de beoordeling. We zitten nu een beetje in een tussenfase.

### **3. Technische randvoorwaarden en specificaties**

---

1. Kunt u ons meer vertellen over de specifieke technische eisen die Waterschap Vallei en Veluwe stelt aan de meet- en monitoringstechnieken voor dijkmonitoring? (Hieronder een lijst van mogelijke eisen)



Ja die staan als het goed is in de uitvraag. We hebben tot nu toe van die pilotprojecten gedaan van de IJssel. We hebben nu stuk of 20 raaien uit mijn hoofd, die zijn in twee fasen erin gezet. Ja, je zou in die in die uitvraag moeten kijken in die PV-programma van eisen, welke eisen daar precies aan zijn gesteld.

2. Hoe worden de gemeten data van de meet- en monitoringstechnieken gekalibreerd en gevalideerd?

Ja, die eerste validatie wordt automatisch gedaan via de systemen waar die nu in terecht komt. Dat heet FEWS uit mijn hoofd. Ik kan daar ook inkijken. Daarin kan je bepaalde uiterste grenswaarde instellen en als dat daarboven of daaronder komt, dan kan het een geel of rood of oranje driehoekje volgens mij uit mijn hoofd krijgen. Dan word je dus geattendeerd dat er mogelijk waarden zijn geregistreerd, die niet mogelijk zijn. Dus dat is automatisch validatie. Ja of het bruikbaar is, daar wordt ook naar die metingen gekeken en zo is er ook bij de pilot vastgesteld dat bepaalde peilbuizen buitendijks niet zijn opgehoogd. Omdat namelijk de waterstand dermate veel overeenkwamen met de buitenwaterstanden dat die grondwaterstanden eigenlijk als niet valide zijn beschouwd. Ja zo is dus eigenlijk vastgesteld dat ze niet zijn opgelengd tijdens die hoogwaters, of dat ze te laat zijn opgehoogd. Of dat ze al onder water stonden voordat ze opgehoogd konden worden. Dat is ondervangen nu bij de toekomstige peilbuismetingen door ze waterdicht te maken. Zodat ze niet meer opgelengd hoeven te worden in ieder geval niet buitendijks en bij mijn weten ook binnendijks is dat zo toegepast.

3. Welke specifieke controles en tests worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat de meetapparatuur consistent en accuraat blijven?

Nee ja wat ik zei, is die automatische validatie wordt toegepast, dus een opgegeven bereik wordt op nou ja ingezet. Dat kan trouwens nog wel aangescherpt worden, omdat ze vaak nu ingesteld zijn voor hydrologie. Nog niet zozeer specifiek voor waterkeringen waarbij je een grondwaterstand stijghoogte kan krijgen boven maaiveld en nu het wordt vaak het maaiveld aangehouden of de bovenkant peilbuis als max. Dat kan hoger bij dijken, omdat het buitendijks veel hogere peilen zijn dan binnendijks maaiveld. Ik weet niet of dat al is aangescherpt, maar dat is wel op het netvlies om dat aan te scherpen. Registratie van ophogen van peilbuizen. Dat is wel de bedoeling geweest om dat te registreren en ook op te nemen in FEWS. Wanneer ze zijn opgelengd en dan met welke lengtes de peilbuizen zijn opgelengd. Ik weet zo niet of het al is doorgevoerd of dat het nu ook goed werkt of niet. Best wel over nagedacht en ook wel over gecommuniceerd. Maar of het allemaal nu goed werkt? Dat dat weet ik niet.

#### 4. Besluitvorming dijkmonitoring

1. Wat was de aanleiding om te beginnen met monitoren, had het inzetten van monitoringstechnieken een specifiek doel?

Ja de doelen die had ik natuurlijk net beschreven om de scope te verkleinen en de beoordeling aan te scherpen en de onzekerheid te verkleinen, zodat indien nodig een scherper ontwerp kan komen in de toekomst. We hebben nu nog ruim de tijd voor dat er een ontwerp gemaakt wordt, dus om lange meetreeksen te krijgen en daarmee de kans op een hoogwater meting in je reeks te krijgen vergroten. Daar hebben we later ook wat aan.

2. Welke belanghebbenden waren betrokken bij dit besluitvormingsproces om te starten met dijkmonitoring en welke rol speelden zij?

Wij hebben het meeste belang bij de monitoring bij de dijk, het advies en beoordelingsteam voor de waterkeringen. Ja calamiteitenorganisatie heeft er ook wel belang bij, maar is daar niet echt bij betrokken. Hydrologie of de grondwater meetnet is er wel bij betrokken geweest of wij gebruiken ook een systemen, onze grondwater metingen komen in het grondwatermeetnet. Voor hen is onze meting wat minder interessant en andersom is hun meting voor ons wat minder interessant. Er is wel een grijs gebied daartussen. We kunnen elkaar versterken en het is handig om gebruik te maken van bestaande afspraken. Ja en de opslag van het meetnet ook met betrekking van het doorzetten naar de

basisregistratie ondergrond (BRO) waar de grondwater metingen en de grondwaterputten allemaal in terecht moeten komen. Maken we dus gebruik van de bestaande procedures die er zijn voor de hydrologie.

3. Wordt er bij Vallei en Veluwe alleen projectmatig gemonitord of vind er ook project overstijgende monitoring plaats?

Dat laatste is steeds meer het geval. Er zijn nu ver gevorderde plannen voor een gebiedsdekkend meetnet voor geohydrologie en nu dus ook voor de waterkeringen. Eerder is dat meer projectmatig. Beginnend bij de IJsseldijk ja, andere dijken zijn nog niet. Ja de Grebbedijk als eerste, maar die zat dan wel al in het project. Bij de IJsseldijk is het nu meer gebiedsdekkend, dus overstijgend.

4. Wordt er voor het opstellen van een monitoringsplan gebruik gemaakt van handreikingen, zo ja welke?

Niet dat ik weet.

## 5. Dataverwerking

---

1. Welke monitoringsdata/parameters worden verzameld?

Ja stijghoogtes, bij mijn weten is het doel om stijghoogtes te gaan meten. Niet, gronddrukken, we gaan alleen meten in watervoerende pakketten. Dus dat zijn dan stijghoogtes en niet zozeer waterdrukken in waterremmende lagen zoals klei en veen. Daar komen dan stijghoogtes in NAP uit.

2. Van welk/wat voor systeem maakt Waterschap Vallei en Veluwe gebruik om de meet/monitoringsdata op te slaan en in te zien? Is dit een intern systeem of wordt er gebruik gemaakt van een systeem uit de markt?

Nou ja, wij gebruiken dus FEWS om grafieken in te krijgen en dan kan je er ook bepaalde reeksen in selecteren en inzoomen. Je kan verschillende meetpunten tegelijkertijd aanklikken om ze naast elkaar te kunnen zetten. Dat kan zowel over een raai als in de lengterichting van de dijk om daarin weer vergelijkingen te kunnen doen en waardes uit te halen die voor een berekening nuttig zijn. Vanuit FEWS moet het ook nog naar de BRO zodat het landelijk wordt opgeslagen en het voor iedereen toegankelijk is.

3. Welke methode en tools worden gebruikt voor de dataverwerking en -analyse om de algehele conditie van de dijk te beoordelen?

Ja, er zijn wel wat ideeën geweest hoe je dat kan berekenen en die zijn ook al wel wat verder gevorderd. Daar ben ik meer zijdelings bij betrokken geweest. Vooral William, onze oude collega die heeft de eerste beschietingen gedaan en bij mijn weten wordt dat in ieder geval nu door Karel opgepakt.

## 6. Besluitvorming over versterkingsmaatregelen

---

1. Hoe worden de resultaten van het dijkmonitoringsprogramma gebruikt bij het nemen van beslissingen met betrekking tot dijkbeheer, onderhoud en eventuele versterkingsmaatregelen?

Nou ja, er zijn ideeën om actuele sterktes te tonen in een dashboard. Er is al een voorlopig dashboard gemaakt. Een concept of een pilot eigenlijk pilotproject extern, maar wel met flinke ondersteuning vanuit het waterschap. Daar zou het in kunnen landen als we daarmee doorgaan. Dan kan je dus actuele sterktes ook presenteren binnen het waterschap of zelfs extern. Maar zover is het nog niet. Dat is niet verder doorgezet op dit moment. Het is dus wel de bedoeling dus om de scope te verkleinen en ook de programmering van versterking van de IJsseldijk, zodat de IJsseldijk in 2050 op orde is, daar wordt het bij gebruikt. Het is de bedoeling dat wij de scope verkleinen en omdat die scope wordt verkleind, hebben we meer tijd om tot 2050 tot een meest efficiënte versterking te komen. Ja qua kosten en qua

tijd anders, als wij niet voorzien dat wij nu tot een verkleining van de scope komen dan moeten we nu beginnen met versterken.

## 2. Is dijkmonitoring effectief om de besluitvorming over versterkingsmaatregelen te kunnen ondersteunen?

Jazeker, omdat vooral doorlatendheid in onze berekeningen van piping en macrostabiliteit uit monitoring komen. Je hebt die doorlatendheid van de ondergrond van zowel de water scheidende lagen als de watervoerende lagen. Die hebben we voornamelijk uit REGIS gehaald of het grondwatermodel Azuren wat op regen is gebaseerd. Dat zijn best wel grove modellen en enigszins verouderd. Ja je kan ook een puntmetingen doen door uit je boarding een monster te nemen en daaruit de doorlatendheid te halen. Dat is echt een super lokale puntmeting en eigenlijk is voor piping veel meer een gebiedsdekkende gemiddelde doorlatendheid nodig, omdat daar een heel gebied buitendijks zorgt voor intrede van grondwater. Wat allemaal bij dat ene puntje binnendijks uitkomt. Met monitoring krijg je veel meer, dat gemiddelde intrede van grondwater in het voorland. Dan krijg je daar een beter beeld van.

## **7. Algemeen | Leerpunten & adviezen**

---

### 1. Wat zijn leerpunten uit de monitoringsprojecten binnen uw organisatie?

Ja de eerste resultaten van William die laten zien dat de demping inderdaad meer is dan aangehouden in de beoordeling. In de beoordeling zijn we ook bij grote waterpartijen vanuit gegaan dat er geen weerstand is bij de intree. Dat de watervoerende pakketten direct in verbinding staan met het buitenwater. Dat was een conservatieve aanname bij de beoordeling, omdat er moeilijk een inschatting konden worden gemaakt van die demping. De inschatting was ten tijde van de beoordeling wel dat die erg conservatief was. Maar we hadden geen betere inschatting beschikbaar. Nu kunnen we ook aantonen met metingen dat ook bij grote waterpartijen wel degelijk een intrede weerstand zit. Zo kunnen we tot grotere leklengtes komen in het voorland. En daarmee tot kleinere faalkans voor piping, met name.

#### 1.1. Welke meet- en monitoringstechnieken voldeden/voldoen aan de verwachtingen van het Waterschap Vallei en Veluwe en welke niet, waarom?

Grondradar hebben we gedaan, dat hebben we ook langs de hele IJsseldijk ingezet en dat heeft niet tot gewenste resultaten geleid. Met name, omdat het veel gemeten is in de kernzone, dus over het asfalt en het asfalt is veelal voorzien van geleidende elementen. Die dus de meting verstoren, dus in de kernzone, hadden we geen goed beeld. Maar er is ook gemeten op het moment, in september 2018 en toen was er een enorme hittegolf en een enorme droogte. Waar dus het bedrijf dat de metingen heeft gedaan, niet op heeft gekalibreerd of op aangepast. Zodoende is dus, overal waar ze gemeten hebben voornamelijk zand gemeten. Wat we met boringen konden weerleggen. Er werd zand gemeten omdat er een hele grote weerstand dus weinig geleiding is gemeten. Dat had dus niks te maken met dat er zand zat maar er zat geen water in de klei. Ja en zodoende leverde het niks op. Wat wel heeft gewerkt zijn de sonderingen en boringen. Dat heeft wel tot gewenste resultaten geleid.

### 2. Welk advies zou u andere waterschappen of organisaties geven?

Als je een grondradar wil toepassen, gebruik het dan voornamelijk in de natte periode of kalibreer op de droogte van de situatie ten tijde van de meting. Ja monitoring dat is dus langdurig en dat zou ik dus altijd inzetten ver voor een dijk ver voor een dijkversterking plaatsvindt. Zodat je dus lange tijd reeksen meet en daarmee een hoogwaterpiek mee kan nemen. Ja of in ieder geval kan vangen en de hoogste pieken zijn vaak de meest interessante voor de aanscherping.

## Appendix B.4 – Expertinterview 4

### **Locatie: Teams**

**Geïnterviewde: Reneé Rookus**

**Datum: 21-05-2024, 15:00**

## **1. Algemeen | Functie & betrokkenheid**

---

### 1. Wie bent u?

Renée Rookus

### 2. Wat is uw functie bij het Waterschap Vallei en Veluwe?

Wij hebben functietitels in die rol ben ik beleidsmedewerker. Dat is zeg maar wat op je contract staat, je aanstelling. Maar beleidsmedewerker is heel breed, dat zegt niet zoveel. Dat kan je bijvoorbeeld zijn op ecologie of hydrologie of waterkeringen, dus meestal stel ik mij voor als adviseur waterkeringen dat dekt de rol beter. Wat bij mij anders ligt is dat ik sinds begin dit jaar ook de rol vervul van projectleider van de toetsing binnen het waterschap.

### 3. Wat zijn uw werkzaamheden in deze functie?

Nou ja dus projectleider voor de toetsing. Daarnaast geef ik waterkeringsadvies bij bijvoorbeeld vergunningverlening. Maar het kan ook gewoon advisering binnen het waterschap zijn. Of dat er andere projecten lopen waarbij er wat vragen op komen rond waterveiligheid. Dan met name geotechniek, dan word ik vaak gevraagd. Ik geef alweer 6 jaar geotechnisch advies voor project dijkversterking Grebbedijk. Ja dat is het zo'n beetje samengevat, er zijn natuurlijk altijd dingen die er nog bijkomen.

### 4. Op welke manier bent u in deze functie betrokken bij dijkmonitoring?

Ja dat rolt enerzijds een beetje uit de beoordeling. We hebben de afgelopen jaar de veiligheidsbeoordeling uitgevoerd van de primaire keringen. We zijn nu bezig met de toetsing van de regionale keringen. Voor de primaire, dan moet je dus denken aan bijvoorbeeld de IJsseldijk en de Grebbedijk. Maar de Grebbedijk was al afgekeurd. Dus voor ons was het hoofdzakelijk de IJsseldijk. En ja, daar komt uit dat er behoorlijk wat dijkstrekking dat niet voldoet. Nou, dan weet je dat je daar aan de slag gaat en dat je daar opnieuw aan gaat rekenen, want bij een dijkverbetering zelf ga je het nog wat meer in detail bekijken. Daarop voorbereidend is het best handig om de input voor die berekeningen scherper te hebben. Om zeker te weten wat nou precies je scope is, waar nou echt de problemen zitten. Monitoring met bijvoorbeeld peilbuizen helpt je om de werkelijke dijksterkte beter in kaart te brengen. We hebben nu ook al behoorlijk wat peilbuizen geplaatst en gaan dit netwerk verder uitbreiden. Ik heb de afgelopen jaren ook plannen gemaakt voor locaties voor peilbuizen, wat handige plekken zijn. Ik heb, samen met mijn oud-collega William, wat analyses gemaakt; onderzocht wat we allemaal uit die peilbuizen kunnen halen. Allemaal op een vrij globaal niveau. Maar sinds ik de rol van projectleider van de toetsing van mijn collega over heb genomen heb ik me teruggetrokken uit de monitoringsplannen bij de IJssel.

## **2. Toepassingen van meet- en monitoringstechnieken**

---

### 1. Wat zijn de meettechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

We hebben voor de beoordeling primaire en voor de toetsing van de regionale keringen behoorlijk wat grondonderzoeken uitgezet. Langs de Eemkade hebben we het afgelopen jaar bijvoorbeeld boringen gezet, sonderingen gedaan en sterkteparameters bepaald. Grondonderzoek kan natuurlijk heel breed zijn. Je kan puur kijken naar de bodemopbouw. Je kan ook de doorlatendheid proberen te achterhalen. Dan kun je weer meer denken aan pomp proeven. Of je gaat de sterkte parameters in schatten. Dan moet je bijvoorbeeld denken aan triaxiaalproeven.

### 2. Waarom zijn deze meettechnieken ingezet voor dijkmonitoring?

Je hebt input nodig voor je berekeningen.

3. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van de meettechnieken?

Nou ja, wat ik net aangaf. Je gaat rekenen aan de dijk en daar heb je input voor nodig. Je hebt in feite gewoon sommen die je draait, ja wel wat ingewikkelder via glijvlak modellen bijvoorbeeld, maar daar heb je nog steeds waardes voor nodig die je erin zet. In feite zijn het gewoon formules die je invult.

4. Hoe worden de locaties van de metingen bepaald?

Je wil in ieder geval in beeld hebben waar de zwakke plekken zijn en hoe die eruitzien. Dat is het belangrijkste, want over het algemeen is het de zwakste schakel waar die op misgaat, als je een overstroming krijgt. Het tweede is dat je toch wel een redelijk representatief beeld wilt van het hele dijktraject. Daarvoor wil je bijvoorbeeld elke 200 m een boring/sondering hebben. Als je dan in beeld hebt van, hier willen we extra focus hebben, want we verwachten dat het slecht is om wat voor reden dan ook, dan ga je daar wat verfijnen.

Is grondopbouw niet heel lokaal?

Ja dat is heel lokaal dat klopt. Dat vang je dan vervolgens in een geotechnisch lengteprofiel. Als de ondergrond nou heel veel wisselt of je bent om andere redenen onzeker van het verloop los je dat op door in scenario's te rekenen. Dan zeg je oké, we weten niet precies hoe het hier op deze meter zit, want je kan niet op elke 10m een boring zetten, dat is niet te betalen. Dan zeg je we zien deze verscheidenheid in de grondopbouw terug en we schatten dat dit voorkomt op zoveel procent in en dat dit voorkomt op zoveel procent. Dan zeg je eigenlijk ik weet het niet zeker genoeg om te kiezen voor een bepaalde bodemopbouw. Maar ik zeg binnen dit vak komen deze grondsoorten voor en de kans dat op dit plekje die grondsoort zit is bijvoorbeeld 70% en zoveel procent wat anders. Dan heb je hierin een aantal scenario's van bodemopbouw.

5. Wat zijn de monitoringstechnieken die worden ingezet door het Waterschap Vallei en Veluwe?

Peilbuizen is toch wel de standaard. Daar kunnen we ook het meest uithalen. We hebben een heel netwerk aan peilbuizen, wat we nog verder uitbreiden. Wat we ook live kunnen inzien in FEWS. We kunnen gewoon standaard bij die data en dat terugzien van tientallen jaren op een aantal plekken, dus dat is de grote klapper. Ook met reden, want die waterspanningen doen gewoon veel, dat heeft veel impact op zowel de toets voor piping als een toets voor macrostabiliteit. Dus voor de waterkering is het van belang en daarnaast is het ook voor hydrologie van belang. Een andere kant van het waterschap. Dus dat is de grote klapper. Verder hebben we ook nog wel wat puntjes waar we andere dingen hebben liggen. We hebben bij de Grebbedijk ook nog wat waterspanningsmeting zitten. In de kleidijk zelf, dat is net een wat ander systeem.

6. Waarom zijn deze specifieke monitoringstechnieken uitgekozen voor dijkmonitoring?

Ja, wat ik eerder al aangeef he. Het heeft veel impact in de berekeningen die je doet. Als je puur kijkt vanuit wij als waterschap, heb je de rol om de dijk te keuren. En of je deze goedkeurt of afkeurt dat hangt er totaal mee samen welke informatie je hebt. Maar het hangt er nog een beetje vanaf, als jij het hebt over monitoring dan denk ik al snel aan systemen die je daarvoor hebt, maar je kan natuurlijk ook zeggen dat monitoring wat breder is. Als je bijvoorbeeld ook het inspecteren, gewoon door onze mensen buiten erbij pakt. Ja dan is monitoren natuurlijk meer, want we hebben aardig wat mensen in de buitendienst die gewoon controleren hoe het erbij ligt. En het bijvoorbeeld melden als er kale plekken zijn. Dan wordt het vervolgens weer ingezaaid en houd je die plek in de gaten. Maar ik weet niet wat je helemaal tot monitoring rekent.

7. Op welke locaties of bij welke projecten worden deze technieken toegepast?

Als je een dijkversterkingsproject hebt of je hebt toetsingen. Dat is waar je het in feite aan koppelt. Dus daarvoor ga je een waterspanningsnetwerk opzetten. Alleen dat waterspanningsnetwerk of dat peilbuisnetwerk, dat heeft geen zin als je daar een jaar meetdata van hebt, dat is niks. Je moet het over

een termijn kunnen zien, dus probeer je op de project vooruit te lopen. Dat is waarom we daar nu ook al mee bezig zijn bij de IJssel, terwijl het dijkversterkingsproject nog niet in gang gezet.

Maar er is natuurlijk meer waarvoor we monitoring toepassen. Als je kijkt naar waterveiligheid dan gaat het om de dijken. Voor een meer algemeen antwoord moet je praten met een hydroloog. Hier gaat het over dijken, dus dan zet je peilbuizen in een raai over de dijk heen. Je kan er ook nog wat in het voorland of achterland zetten als je meer informatie wil, maar de basis is over de dijk heen. Dus een aan de binnenteen en een aan de buitenteen is standaard.

#### Hoe worden de raaien opgezet?

Dat hangt ervan af. Je hebt daar verschillende opzetten voor. Je kan een pilot doen. Dat doe je vaak op een kleiner gebiedje dat je het intensief bekijkt. Dus dan kun je binnen een kleine afstand meerdere raaien hebben en die onderling vergelijken. Maar dat is dan vooral, omdat je er wat dieper in wil duiken, in die materie, en dat vervolgens wil kunnen door vertalen naar een groter gebied. Het liefst zou je elke zoveel 100 meter een raai zetten. Dat is dan al een dicht netwerk. Maar zoveel raaien gaat ook in de papieren lopen. Dus momenteel houden we geen standaard afstand tussen raaien aan maar kijken we naar de berekeningen die we hebben. Met onze beheerders kennis weten we nou, dit zijn plekken waar we echt meer informatie moeten hebben en daar zetten we de raaien neer.

#### 8. Wat zijn de belangrijkste doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma?

Het beter in beeld krijgen van de input van je berekeningen. Daar gaat het uiteindelijk om en daarmee de scope die je hebt, dus hoe veel strekking van je dijk aan de norm voldoet.

##### 8.1. Zijn de monitoringstechnieken ingezet voor een specifieke levensfase van de dijk?

Ja, de monitoring is hier natuurlijk aan gekoppeld. Kijk dit soort dingen opzetten, dat kost geld, zo simpel is het. Je moet altijd een doel hebben om te kunnen verantwoorden waarom je het gaat doen. Anders komt er geen budget vrij. Daarom is het eigenlijk altijd gekoppeld aan ofwel toetsing, ofwel aan een dijkverbetering. Maar dat betekent niet dat we het alleen daarvoor neerzetten. Dat is de aanleiding, maar het is niet het enige doel. Dus we doen er wel ons best voor om dit netwerk te handhaven. Kijk bijvoorbeeld naar de Grebbedijk. Er zijn een aantal raaien geplaatst die voor het project niet meer nuttig zijn, want de dijkontwerpberekeningen zijn klaar. Nou ja, dan is het heel fijn als je nieuwe data binnenkrijgt, maar dat is te laat. Daar kun je niks meer mee. Op een gegeven moment moet je gewoon zeggen, deze informatie hebben we, dat verwerken we nog en alles wat nu binnenkomt, daar hebben we niks meer aan. Daar kunnen we nu niks meer mee in deze fase, daar zijn we bij project Grebbedijk nu wel aangekomen. Dat betekent niet dat we daar nu zeggen van nou ja, opdoeken die peilbuizen. Want we weten dat het gewoon hele nuttige informatie is die we ook bij de volgende toetsingen weer kunnen gebruiken. Dus daar zetten we dan vervolgens wel op in om die gewoon te behouden en om die ook te blijven op beheren.

##### 8.2. Worden de monitoringstechnieken ingezet over de gehele levenscyclus van de dijk?

Ja, dat was niet altijd zo hoor. Dat is echt een omslag die we nu maken. Bij de voorgaande projecten was het vaak nog zo dat peilbuizen werden geslagen voor het project en na het project was er geen budget meer om dat te beheren en dan was het klaar. Nu zetten we alles op alles om daar budget voor vrij te maken, zodat we de peilbuizen kunnen behouden en beheren, de meetdata kunnen blijven gebruiken en scherper kunnen rekenen bij de komende toetsingen en dijkverbeteringen.

#### Naslaginformatie: Grebbedijk

Voor het versterkingsproject van de grebbedijk zijn in 2015 bestaande peilbuizen opnieuw in gebruik genomen en in 2017 nieuwe buizen geplaatst en in gebruik genomen. De monitoring is benut voor: - het schematiseren van het stijghoogteverloop bij binnenwaartse macrostabiliteit, het verhang bij piping en het afleiden van de schematiseringsfactor macrostabiliteit.

### **3. Technische randvoorwaarden en specificaties**

---

1. Kunt u ons meer vertellen over de specifieke technische eisen die Waterschap Vallei en Veluwe stelt aan de meet- en monitoringstechnieken voor dijkmonitoring? (Hieronder een lijst van mogelijke eisen)

#### 1.1. De meetfrequentie

Ja, als ik het dan even terug pak op piping of op peilbuizen, dan gaat het erom dat je zo'n hoogwatergolf wil kunnen volgen. Dus dan is het niet echt van belang om elke minuut data binnen te krijgen. Elk half uur ja dat doen we meestal wel, maar dat hoeft eigenlijk ook niet altijd. Het is meer dat je erin terug kan zoeken als je wil, maar je wil wel het verloop kunnen zien. Dus ja, vaak houden we iets van een meetpunt elk kwartier, of elk half uur zoiets aan. Het hangt ervan af hoe ver je terug wilt kunnen kijken en hoe groot het databestand wordt. Vroeger zat er veel meer tijd tussen meetmomenten. Ja, als we nog verder teruggaan, dan was het gewoon met de hand uitlezen, dus daar zit nog meer tijd tussen. Als je gewoon terugkijkt naar de dataloggers. Dan was het eerder gewoon elke dag, omdat je anders zoveel data kregen dat computers het niet meer konden verwerken. Nu is dat niet meer zo, dus kan het gewoon constant worden gemeten. Dan is het eigenlijk het omzetten van die meting naar een bestand wat makkelijker te verwerken is waarbij je kiest van wil ik het nou op slaan per minuut, per uur, per kwartier, per dag. Dan maak je daar een keuze in.

2. Hoe worden de gemeten data van de meet- en monitoringstechnieken gekalibreerd en gevalideerd?

Dat hebben we grotendeels uitbesteed. Dat zit bij Eijkelkamp. Dat is degene die bij ons de peilbuizen zowel plaatst als beheert en de data uploadt in FEWS. Dan hebben we een aantal hydrologen die af en toe eens even een steekproef houden en kijken of het er allemaal nog logisch uit ziet. Over het algemeen loopt dat goed. Als je daar echt meer van wilt weten, als je wilt weten hoe die kalibratie loopt, dan moet je eens met een hydroloog gaan praten. Daar heb ik zelf minder verstand van.

#### 4. Besluitvorming dijkmonitoring

---

1. Wat was de aanleiding om te beginnen met monitoren, had het inzetten van monitoringstechnieken een specifiek doel?

Ja dat komt terug op wat ik al eerder heb gezegd. Toetsingen, dijkversterkingsprojecten, daar is het aan gekoppeld. Je hebt input nodig voor je berekeningen.

2. Welke belanghebbenden waren betrokken bij dit besluitvormingsproces om te starten met dijkmonitoring en welke rol speelden zij?

De organisatie is natuurlijk het waterschap. Wij hebben de taak om de dijken op orde te houden., Het is gewoon een wettelijke taak. Dat betekent niet dat het wettelijk verplicht is om te gaan monitoren, maar het is wel wettelijk verplicht om je dijken op orde te houden via toetsing, via beoordeling, via verbeterprojecten. Welke monitoring hiervoor nodig is schatten wij zelf in, dan komt vaak wat meer van onderop uit de organisatie. Misschien wat anders gezegd, maar het is niet dat de directie denkt van goh wij moeten een peilbuis meetnet opzetten. Dat is ook logisch, want daar zit die kennis niet, die zit onder andere bij het team waar ik in zit. Meestal komt het initiatief vanuit die vakgroepen; dat we zeggen van jongens als we hierop inzetten, dan is dat zo waardevol. Dan hebben we zoveel winst in die berekeningen dat dat financieel gewoon uit kan, want uiteindelijk wordt het een kostenplaatje. Als jij heel veel kan investeren in monitoring en je haalt er wel wat uit, maar die winst haal je niet meer terug financieel gezien bij het dijkversterkingsproject of bij de toetsing, dan krijg je er geen budget voor. Daar komt het op neer, dus als jij kan laten zien van, als we dit doen, dan hebben we straks zoveel meter dijk die we niet hoeven te versterken. En daarmee is het gewoon heel slim om dit te doen. Nou dan heb je een mooi verhaal en dan ga je dat binnen het waterschap naar voren brengen en dan probeer je daar de handen voor op elkaar te krijgen. De vakgroepen initiëren en onderbouwen en vervolgens is het aan

bijvoorbeeld de teamleider of aan de opgavemanager om dat door te zetten en te zorgen dat er budget voor vrijkomt binnen de organisatie of dat we daar budget voor krijgen vanuit HWBP.

3. Wordt er bij Vallei en Veluwe projectmatig gemonitord of vind er ook project overstijgende monitoring plaats?

Ja alle twee dus. De inzet is eigenlijk altijd projectmatig, want je hebt een aanleiding nodig om de handen op elkaar te krijgen. Vervolgens proberen we die dingen te behouden en zodoende een groot netwerk op te bouwen. Dat is hoe het tot nu toe altijd is gegaan. Daar zijn we een beetje van aan het afstappen trouwens. Maar dan moet je opnieuw met de hydrologen gaan praten. Dat is meer vanuit hen geregeld. We zijn nu een grootschalig netwerk aan het opzetten. Ook over de Veluwe verspreid heen, want daar hebben we in verhouding erg weinig. Juist om het gehele gebied wat beter in beeld te krijgen. Het is eigenlijk voor het eerst dat we het wat meer vanuit onze algemene taak bekijken en niet meteen gericht op een bepaald project.

4. Wordt er voor het opstellen van een monitoringsplan gebruik gemaakt van handreikingen, zo ja welke?

Ja, we maken er wel gebruik van, maar het is niet zo dat we dat op de letter volgen. Zo zitten die handreikingen ook niet in elkaar. Als ik het dan even terugpak naar peilbuizen als concreet voorbeeld. Van POV piping heb je een aantal handreikingen. De POV piping heeft behoorlijk wat onderzoek gedaan en dat hebben we wel benut. We nemen de richtlijnen uit zo'n handleiding mee, maar het is niet leidend. Waarom niet, omdat het uiteindelijk zo locatie specifiek is. Zeker wanneer je niet meteen een budget hebt om elke zoveel meter gewoon een raai neer te zetten. Dan moet je gewoon vanuit je eigen data werken. En de raaien slim inzetten.

## **5. Dataverwerking**

---

1. Welke monitoringsdata/parameters worden verzameld?

Met name de stijghoogte. Dat is de grote die we pakken. Maar vaak wordt er ook temperatuur gemeten, omdat de meerkosten hiervan nihil zijn. Oppervlaktewater wordt ook gemeten, maar niet precies bij de peilbuis, maar bij een sluis bijvoorbeeld, dat is ook monitoring. Verder hebben we natuurlijk ook een aantal waterspanningsmetingen. Dan meet je niet een bepaald stijghoogte niveau, maar dan meet je echt de spanning in de grond en dat probeer je dan vervolgens om te rekenen naar de fictieve stijghoogte. Daar zit ook weer vaak een temperatuursensor bij. Ja dat is het eigenlijk wel een beetje voor het monitoren.

Wat betreft het meten; wat we ook wel eens doen is dat we bij hoogwater met een drone vliegen. Dit doen we samen met een aantal andere waterschappen. We maken dan infrarood beelden. Je kunt hierop heel mooi zien wat de temperatuur van het water is. Als je dan een plekje ziet waar de temperatuur opeens veel warmer is, dan is dat soms een indicatie van een well. Dat heeft alleen zin om te doen bij hoogwater. Wat dat betreft kun je het zien als een meting. Maar ik zou het zelf toch eerder onder monitoring scharen, want het is niet iets wat we een keer doen en dan nooit meer. Je meet nogmaals als je weer een hoogwater hebt wat hoog genoeg is om nieuwe data binnen te krijgen. Je doet het niet elk hoogwater, want op een gegeven moment heb je een bepaald hoogwater gehaald. Doe je het nog een tweede keer bij datzelfde niveau, dan weet zie je opnieuw dezelfde wellen terug. Dan heeft het geen zin om dat nog een keer in kaart te brengen. Als het hoogwater daarbovenuit komt, dan ga je weer opnieuw vliegen.

Wat wordt met de parameter temperatuur gedaan?

Tot nu toe niet zoveel. Het is meer dat het super goedkoop is om zo'n sensor erbij te zetten. Die data kunnen we vast vervolgens wel een keer gebruiken als we het wel nodig hebben. Maar het is niet dat we nu denken van we moeten nu de temperatuur weten op deze plek. Het is meer dat we weten dat de temperatuur wat zegt over de herkomst van het water. Als we op een gegeven moment een analyse willen maken van de grondwaterstroming in een bepaald gebied kan de grondwatertemperatuur



nuttige info zijn. Dus nou ja, het is een beetje een no-regret optie. Er is al wel een keer een onderzoek gedaan naar welletjes op grote afstanden van de dijk. Bij de Grebbedijk was dat. Ik kan me voorstellen dat de watertemperatuur hierbij is benut. Dit was voor dat ik hier werkte, dus dan moet je eigenlijk mijn collega daarover vragen. Een wel op zo'n grote afstand, dat is eigenlijk gek. We vroegen ons af of dat nou alleen door de rivier kwam. Nou als je wil onderzoeken waar het vandaan komt kan temperatuur heel nuttig zijn. Want water dat uit de rivier komt is over het algemeen warmer dan water dat dieper uit de grond komt. Wellicht wordt er vanuit de hydrologie wel al van alles meegedaan, dat weet ik niet.

2. Van welk/wat voor systeem maakt Waterschap Vallei en Veluwe gebruik om de meet/monitoringsdata op te slaan en in te zien? Is dit een intern systeem of wordt er gebruik gemaakt van een systeem uit de markt?

FEWS, Het is niet door het waterschap ontwikkeld als dat je vraag is. Het is door Deltares ontwikkeld.

3. Welke methode en tools worden gebruikt voor de dataverwerking en -analyse om de algehele conditie van de dijk te beoordelen?

Ja, dat is van alles, hè? Dat dat gaat terug op je berekeningen, want waarom monitor je, omdat je die data als input wil gebruiken voor je berekeningen. Je ziet in FEWS wat de stijghoogte is of wat het oppervlaktewaterniveau is op een bepaald moment. Alleen is deze info op zichzelf niet voldoende. Je moet het bijvoorbeeld extrapoleren naar een maatgevende situatie om er vervolgens wat mee te kunnen zeggen over je dijk. Dit soort analyses doen we momenteel met name in Excel. Vervolgens gebruik je de output hiervan in je dijkrekensoftware: D-Stability en D-GEO Flow dat soort modellen.

4. Wordt monitoringsdata ook ingezet in geval van calamiteiten?

Nou, het is niet zo dat we op een moment wanneer er een doorbraak ergens is, we dan de peilbuis data erbij gaan pakken om ter plekke te gaan rekenen. Nee, zo zit het niet in elkaar, want er gaat toch wel wat tijd overheen voordat je zo'n analyse in elkaar hebt zitten. Er blijft altijd mensenwerk aan zitten. Dat kost gewoon tijd die je op dat moment niet hebt. Op dat moment ben je al druk met het hoogwater zelf. Die berekeningen maak je voorafgaand. Of juist terugkijkend op een hoog water... Wat je wel kunt doen is van tevoren een berekening maken en zeggen; als de stijghoogte hier bovenuit gaat komen, dat moeten we dat als waarschuwniveau beschouwen. Dan leg je dat vervolgens vast in een protocol en dan kun je daarmee de peilbuis gaan gebruiken als een soort waarschuwingssysteem. Maar je hebt natuurlijk ook andere vormen van monitoring. Wat ik net zei, dat dat invliegen met infrarood. Dat is een heel mooi voorbeeld wat je meteen gebruikt tijdens een hoogwater situatie.

## **6. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen**

---

1. Hoe worden de resultaten van het dijkmonitoringsprogramma gebruikt bij het nemen van beslissingen met betrekking tot dijkbeheer, onderhoud en eventuele versterkingsmaatregelen?

Monitoringsresultaten zijn input daarvoor. In de basis is het eerst input voor de berekeningen, dus wij gaan zelf gewoon rekenen., Hebben wij nog steeds een opgave als we deze data weten en gebruiken? En zo ja, hoe groot is die opgave? Komt eruit dat we geen opgave meer hebben, dan gaat dat stukje waarschijnlijk uit de dijkversterkingsopgave. Dan ga je daar ook minder intensief op inspecteren vervolgens. Komt eruit dat het nog steeds erg kwetsbaar is? Dan ga je, afhankelijk van hoe ernstig het is, daarop inzetten. Dan weet je dat het onderdeel is van de opgave en dan neem je dat ook mee in bijvoorbeeld het hoogwater protocol. Als er hoogwater komt, dan gaan we dijkwacht lopen. Vanaf een bepaald waterniveau kunnen wij niet meer zoveel mensen als dijkwacht inzetten als we zouden willen. Dan zijn we beperkt qua capaciteit. Je kan niet zeggen; we wandelen continue de hele dijk langs, dat gaat niet. Dan heb je het hele waterschap daar op de dijk lopen en dan kan er niemand binnen meer iets regelen en dat is ook nodig. Dus grijp je dan terug op het hoogwaterprotocol. Hierin hebben we vastliggen hoe intensief op elk dijkvak wordt geïnspecteerd. Dit baseren we op de resultaten van

toetsing. Naar de toekomst toe willen we ook peilbuisdata hiervoor benutten. Dan gebruik je de berekeningen die je al hebt en die berekeningen probeer ik te verfijnen met monitoringsdata.

## 2. Is dijkmonitoring effectief om de besluitvorming over versterkingsmaatregelen te kunnen ondersteunen?

Ja zeker weten, dat blijkt nu al. We hebben nu net vanuit HWBP een half miljoen beschikbaar gesteld gekregen voor het uitbreiden van ons monitoringsnetwerk met peilbuizen. Dat is puur, omdat ze inschatten dat ze dat financieel minder gaat kosten, straks bij de dijkversterking van de IJssel.

## 7. Algemeen | Leerpunten & adviezen

### 1. Wat zijn leerpunten uit de monitoringsprojecten binnen uw organisatie?

Er is van alles te leren, maar ik denk dat het belangrijkste leerpunt is dat je tijd voor vrij moet maken voor monitoring. Monitoring is bij ons toch vaak iets geweest dat een beetje tussen neus en lippen doorgaat, omdat we met andere grote projecten en toetsingen bezig waren. Ondertussen wisten we dat dit ook moest en ook belangrijk was. Hoe sneller we de data binnenkrijgen, hoe langer er gemeten wordt en hoe gunstiger het is. Dus is dan is de keuze snel gemaakt; en kies je raaien uit op basis van je berekeningen, via een snelle, wat grove slag. Omdat we als voorbereiding op de versterking van de IJsseldijk het monitoringsnetwerk flink willen uitbreiden hebben we nu andere keuzes gemaakt. Ik heb de projectleidersrol van de toetsing van mijn collega overgenomen zodat hij zich nu volop op de IJssel kan richten en het peilbuisnetwerk zo strategisch mogelijk uit kan rollen. Wanneer we eind dit jaar klaar zijn met het toetsen van de regionale keringen, kan de rest van de vakgroep zo nodig ook meer tijd inzetten op het peilbuis.

#### 1.1. Welke meet- en monitoringstechnieken voldeden/voldoen aan de verwachtingen van het Waterschap Vallei en Veluwe en welke niet, waarom?

We zijn erg te spreken over het gebruik van peilbuizen, daarom rollen we het netwerk verder uit. Waterspanningsmeting hebben we wel wat bij de Grebbedijk, maar gebruiken we eigenlijk weinig. Dan vinden we de peilbuizen zelf veel nuttiger. En omdat we die ook hebben staan, vervalt het gebruik van de waterspanningsmeters eigenlijk een beetje. Verder hebben we ook nog wel eens, met EM metingen en grondradar gemeten. Elektromagnetisch en grondradar, twee technieken. Zo'n 6 jaar geleden pasten we dit zonder succes toe bij de IJsseldijk. Die technieken hebben we wel weer toegepast bij de Grebbedijk, maar dan wel bewust op momenten dat het niet super droog was, want bij de IJssel hadden we er echt 0,0 aan, omdat eigenlijk alles als zand herkend werd. Omdat het veel te droog was en vocht heel veel doet in die metingen dus daar zijn we een beetje van terug gestapt. We gebruik het nog wel, maar wat doelbewuster.

#### 2. Welk advies zou u andere waterschappen of organisaties geven?

In de basis zou ik zeggen, zet er meer op in. Want je ziet heel vaak terug dat het beperkt wordt gedaan of te laat, waardoor je meetreeks gewoon zo kort is dat je toch wat onzeker bent in hoe je het kan benutten. Als je echt een lange goede meetreeks hebt (dat geldt niet alleen voor peilbuizen, dat geldt voor alles wat je kan meten), dan heb je er zoveel meer aan. Dan doet het echt wat in je berekening en daarmee dus ook echt in je oordeel of in je verbeteropgave. Maar het lastige is altijd het financiële plaatje, terwijl het een no brainer is als je in de techniek zit. Het lastige is dat het moment dat je budget vrij moet maken is vaak niet gelijk is aan het moment dat je budget hebt, want dan zit je al in een project zelf.

#### Is er geen budget om voor een versterkingsproject te meten?

Nee en daar zou het HWBP wat mij betreft veel meer voor vrij moeten maken, want daarmee gaan versterkingen Nederland uiteindelijk veel minder kosten. Het betaalt zich terug als je aan de voorkant geld vrijmaakt voor monitoring en daarmee een veel langere meetreeks hebt. Daarom zijn wij ook met het HWBP in gesprek geweest en hebben we dus wel een 1/2 miljoen voor monitoring gekregen. Maar

je wil niet weten hoeveel tijd daarin is gaan zitten. Eigenlijk zou je er gewoon een standaard traject voor moeten hebben, waarbij je niet zo vaak in gesprek moet zo veel analyses moet doen om het nut aan te tonen. Ik vind het vrij nutteloos om telkens opnieuw voor een bepaalde locatie aan te tonen dat peilbuizen zinvol zijn. Dat het nut heeft is al bekend.

Je hebt in Nederland twee verschillende instanties die dijkverbeteringsprojecten betalen. Het grootste deel wordt betaald door het HWBP en 10% door het waterschap. Maar toetsing, beheer, etc. komen 100% voor rekening van het waterschap. Het waterschap heeft minder geld, zo simpel is het. Dus als wij een peilbuisnetwerk willen gaan uitrollen buiten het project om, dan moeten we dat zelf bekostigen. Tenzij we met HWBP in gesprek gaan en kijken of we voorlopend op het dijkversterkingsproject iets kunnen krijgen zoals we nu hebben gedaan. Dit lijkt een mooie oplossing, maar het vrijgekomen budget is niet kostendekkend en het kost dus heel veel tijd en inzet om dat voor elkaar te krijgen. Het lijkt mij heel zinnig om de kostenverdeling tussen rijk (hwbp) en waterschappen rondom het op orde houden van de waterkeringen te herzien.

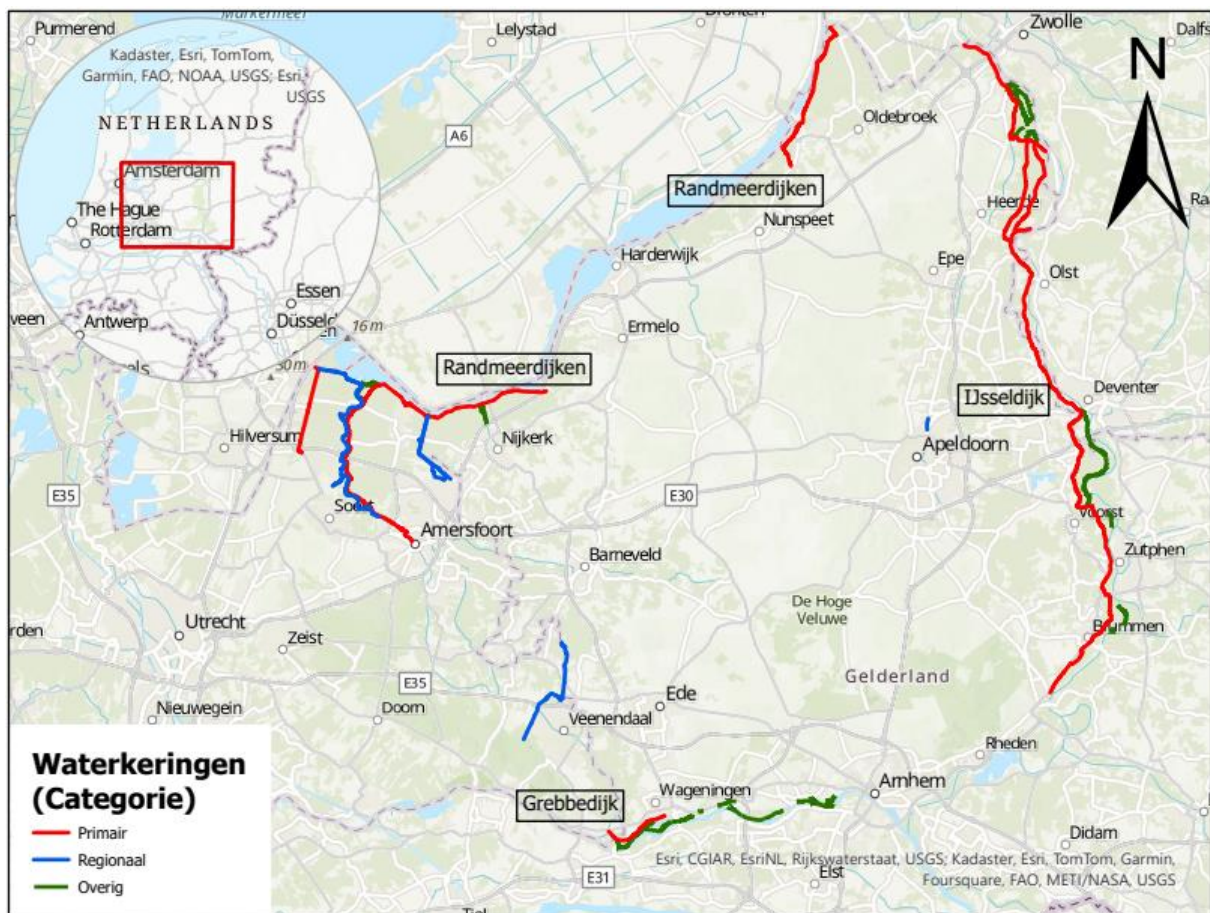
## Appendix C: Storyline

# Storyline- Waterschap Vallei en Veluwe

## 1. Inleiding

Om dijken goed te beheren en onderhouden spelen meet- en monitoringstechnieken een belangrijke rol. Er zijn steeds meer technieken beschikbaar om dijken doelgericht te kunnen meten en monitoren. Met meet- en monitoringstechnieken wordt meer inzicht verkregen in de sterkte van een dijk. Het Netwerk Dijkmonitoring speelt een belangrijke rol in de implementatie van dijkmonitoring. Het Waterschap Vallei en Veluwe zet in op meer inzicht door dijkmonitoring.

De primaire waterkeringen van het Waterschap Vallei en Veluwe zijn de IJsseldijk, de Grebbedijk en de Randmeerdijken. De versterking van de Noordelijke Randmeerdijk is in 2023 afgerond. De Grebbedijk zit op dit moment in de versterkingsfase van het project. De IJsseldijk is in de laatste beoordelingsronde van het waterschap afgekeurd op de faalmechanismen piping en macro-instabiliteit. In Figuur 1 is een overzicht afgebeeld van de primaire, regionale en overige keringen van het waterschap in het beheergebied.



Figuur 1: Overzicht van kades en dijken,  
Rood: Primaire keringen, Blauw: regionale keringen, Groen: Overige keringen

## 2. Leeswijzer

Deze leeswijzer geeft een overzicht van de opbouw van de storyline. In hoofdstuk 3 'Aanleiding van monitoring' wordt de aanleiding van het opzetten van een monitoringsnetwerk toegelicht. In hoofdstuk 4: 'Doelstellingen' wordt beschreven wat het waterschap met de monitoring wil bereiken. Hoofdstuk 5: 'Meet- en monitoringsstrategieën' geeft een overzicht van de ingezette meettechnieken (5.1.) en de monitoringstechnieken (5.2.). Hoofdstuk 6: 'Realisatie monitoringsnetwerk' beschrijft hoe het

monitoringsnetwerk is opgezet en geïmplementeerd bij de IJsseldijk (6.1.) en de Grebbedijk (6.2.). Hoofdstuk 7: 'Technische randvoorwaarden en specificaties' behandelt de technische aspecten van monitoring, zoals de kalibratie en validatie. In hoofdstuk 8: 'Monitoring in uitvoering' wordt ingegaan op hoe data wordt ingewonnen door het waterschap en hoe deze data vervolgens wordt geanalyseerd. Vervolgens wordt in hoofdstuk 9: 'Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen' uitgelegd hoe monitoring wordt ingezet om de besluitvorming binnen het waterschap te ondersteunen. Ten slotte wordt in hoofdstuk 10: 'Leerpunten en adviezen aan anderen' de belangrijkste lessen besproken en aanbevelingen gedaan voor in de toekomst.

### **3. Aanleiding van monitoring**

De aanleiding voor monitoring is bij het Waterschap Vallei en Veluwe in eerste instantie de toetsing van dijken voor een versterkingsproject. Vanuit de beoordeling is het besluit genomen om te starten met monitoren. Uit een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd na beoordeling van de IJsseldijk is gebleken dat de meest kritische parameter waterspanning was. In de beoordeling was de waterspanning bepaald op basis van een model, dat vanwege ingebouwde zekerheid conservatieve uitkomsten gaf. Door het opzetten van een monitoringsprogramma, gericht op het verzamelen van gedetailleerde data kunnen deze conservatieve uitkomsten scherper bepaald worden. Hiermee kan een scherper ontwerp voor dijkversterking gemaakt worden.

Belangrijk bij het verzamelen van de waterspanningsdata zijn hoogwatermetingen. Tijdens hoogwater wordt de meest waardevolle data verzameld voor de rekenmodellen. Deze situaties zijn het best te vergelijken met de normsituatie en zijn daarom waardevol voor de simulatie. Hoogwater treedt op wanneer het gehele voorland onderwater staat. Monitoring is daarom het meest effectief als het meerjarig kan worden ingezet, zodat de kans op het verzamelen van hoogwatermetingen in de meetreeks toeneemt.

De deadline om te voldoen aan de nieuwe strengere normen van de overheid is in 2050, daarom is er nog veel tijd om de versterkingsmaatregelen van de IJsseldijk uit te voeren. Daarom wordt er nu ver voor het begin van het versterkingsproject gestart met monitoring. Bij de Grebbedijk wordt door het Waterschap Vallei en Veluwe monitoring ingezet sinds de start van het versterkingsproject.

### **4. Doelstellingen**

Het Waterschap Vallei en Veluwe heeft meerdere doelstelling die ze willen bereiken door te meten en monitoren. Hieronder staan de belangrijkste doelstellingen van het waterschap.

#### **Inzicht vergroten**

Een van de belangrijkste doelstelling van het waterschap is om meer inzicht te krijgen in de dijksterkte. Waterspanning blijkt een kritische factor te zijn in de dijksterkte berekeningen. Om hier meer inzicht in te krijgen was het noodzakelijk om te gaan meten en monitoren. Een beter inzicht in de waterspanning draagt bij aan het maken van scherpere en betrouwbaardere berekeningen.

#### **Aanscherpen van de versterkingsopgave**

Een tweede doelstelling is het aanscherpen van de versterkingsopgave door een nauwkeurige beoordeling. Door meer inzicht in de kritische parameters, zoals de stijghoogte te verkrijgen kan de scope van grootschalige projecten mogelijk worden verkleind. Als uit monitoring blijkt dat een dijk minder sterk blijkt dan deze in eerste instantie was beoordeeld is dit ook waardevol. Dit inzicht draagt bij aan de zorgplicht van het waterschap en helpt om de veiligheid voor bewoners te garanderen. Dit betekent dat de dijken moeten voldoen aan de normen om als veilig en betrouwbaar te worden beschouwd. De dijken hoeven echter niet verder te gaan dan de gestelde norm, er wordt geen hogere prestaties verwacht dan dat in de richtlijnen wordt vereist.

### **Verkleinen van onzekerheden en risico's**

Een beter inzicht in de dijksterkte helpt om onzekerheden en risico's te verkleinen. Op deze manier kunnen onnodig dure versterkingsmaatregelen voorkomen worden, maar wanneer nodig blijkt kunnen er ook extra versterkingsmaatregelen worden genomen. Op deze manier kan door monitoring de veiligheidsmarge op een veilige manier bepaald worden. Het verkleinen van onzekerheden is ook van belang om te voorkomen dat bewoners onnodig hun huis moeten verlaten. Het is van belang om bewoners niet in onzekerheid te laten leven over mogelijke toekomstige verlies van eigendommen.

De doelstellingen van monitoring zijn gericht op het verkrijgen van nauwkeurige gegevens, verbeteren van de veiligheid, efficiëntie van dijkversterkingen en minimaliseren van de impact op de omgeving.

## **5. Meet- en monitoringsstrategieën**

Voor het waterschap is het van belang om meet- en monitoringstechnieken te combineren. Door methoden te integreren, kunnen nauwkeurige en lokaal relevante uitkomsten gevonden worden. Dit biedt inzicht in de specifieke condities en risico's op verschillende locaties langs de dijk. Het meten en monitoren van dijken is een iteratief proces. Dit hoofdstuk is opgedeeld in twee onderdelen: meettechnieken en monitoringstechnieken. Bij beide hoofdstukken wordt ingegaan op de ingezette technieken en waarom hiervoor is gekozen.

### **5.1. Meettechnieken**

Om de doelstellingen van het dijkmonitoringsprogramma te behalen zijn verschillende meettechnieken ingezet om meer informatie over de dijk te verzamelen. Een meting is een eenmalige handeling om specifieke informatie te krijgen. Om meer informatie over dijken te verzamelen moeten parameters bepaald worden. Deze parameters worden bepaald door verschillende grondonderzoeken uit te voeren. De onderstaande metingen zijn uitgevoerd tijdens de beoordeling van de dijken.

De beoordeling van de primaire keringen moest in een korte tijdsperiode uitgevoerd worden. Er was geen tijd voor monitoring, daarom is ingezet op geotechnisch onderzoek dat op relatief korte termijn kon worden uitgevoerd. Er wordt gewerkt vanuit de bestaande richtlijnen en protocollen om de benodigde parameters te bepalen. Met deze meettechnieken kunnen de parameters worden bepaald die het belangrijkste zijn als input voor de berekeningen. De locaties worden bepaald aan de hand van de uitkomsten van de beoordelingen. Eerst is het belangrijk om de meest zwakke plekken in beeld te krijgen. Verder is het van belang om een representatief beeld van het hele dijktraject te krijgen. Op basis van deze twee overwegingen worden de plekken van metingen gekozen.

#### **LiDAR**

Light Detection And Ranging (LiDAR) is een lasermeting die ingezet wordt om de geometrie van een waterkering op afstand in te kunnen meten. De LiDAR sensor meet de afstand tot miljoen punten in de omgeving. Dit resulteert in een nauwkeurig ingemeten 3D beeld van de dijk.

#### **Boringen**

Boringen zijn een techniek om de bodemopbouw van de dijk in kaart te brengen. Hierbij wordt een holle buis in de grond geduwd en eruit gehaald om een monster van de grond te krijgen. Vervolgens wordt dit visueel geïnspecteerd en naar het lab gestuurd. In het laboratorium kunnen verschillende proeven worden gedaan voor classificatie van de grond. In het lab wordt de korrelgrootte bepaald en worden triaxiaalproeven uitgevoerd. Deze proef wordt toegepast om de schuifsterkte van de grond te berekenen en de interne wrijvingshoek en de cohesie te bepalen. De wrijvingshoek is een belangrijke input voor stabiliteitsberekeningen.

#### **Sonderingen**

Bij een sondering wordt een kegelvormige punt (de conus) de grond ingedrukt. De conus meet de weerstand die het voelt bij het wegdrukken van de grondlaag. Aan de hand van de resultaten wordt bepaald hoe de bodemopbouw eruitziet. Verder geeft de sondering inzicht in de draagkracht van verschillende grondlagen.

### **Pompproeven**

Om de doorlatendheid van grondlagen te bepalen kunnen pompproeven worden uitgevoerd. Dit kan nodig zijn als er niet genoeg informatie over doorlatendheid is verkregen met andere metingen. Bij een pompproef wordt water onttrokken uit een watervoerende laag. Tijdens en na de proef wordt de stijghoogte in peilbuizen op zoveel mogelijk punten om de pomp gemeten. Door het continu meten van de verlaging van het grondwaterpeil kan informatie over de doorlatendheid worden verzameld.

## **5.2. Monitoringstechnieken**

Bij het monitoren van de dijken wordt continu gegevens verzameld over een langere periode. Het starten van de opzet van een monitoringnetwerk volgde bij het waterschap uit de beoordeling van de dijken, maar dijken worden ook intensief gemonitord bij hoogwatersituaties. De verschillende ingezette technieken en waarom hiervoor is gekozen wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

### **Peilbuizen**

Een peilbuis is een meetinstrument dat gebruikt wordt om de grondwaterstand of de stijghoogte in de grond te monitoren. De stijghoogte van grondwater kan achter een dijk boven het maaiveld liggen. In dat geval is het belangrijk dat de peilbuis hoog genoeg is om dit te kunnen meten. Het waterschap maakt gebruik van een datalogger in de peilbuis die telemetrisch de data verstuurd. In 2020 werd bij de start van het monitoringsproject gewerkt met handmatig uit te lezen loggers. Het nadeel is dat deze tijdens hoogwater in het voorland niet uitgelezen kunnen worden. Daarom is ervoor gekozen om bij de start van het uitbreiden van het peilbuisnetwerk om alles volledig te automatiseren met telemetrie.

### **GeoBeads/waterspanningsmeters**

Bij de Grebbedijk zijn door het waterschap in de kleidijk waterspanningsmeters geplaatst. Dit is een monitoringssysteem die doormiddel van een sensornetwerk een dijk continue kan monitoren. De waterspanning, temperatuur en inclinatie wordt gemeten met de GeoBeads. Deze monitoringstechniek lijkt veel op het gebruiken van peilbuizen. Een waterspanningsmeter meet de druk dat het grondwater uitoefent op de bodem terwijl een peilbuis de grondwaterstand meet. De waterspanningsmetingen worden omgerekend naar een fictieve stijghoogte.

### **Monitoring van de grasmat**

Het monitoren van de sterkte van de grasmat wordt gedaan door de grastoets. De grastoets bestaat uit twee onderdelen, de vegetatiebeoordeling en de sterkte van de zode. Voor de beoordeling van de vegetatie worden vegetatieopnames gemaakt en de sterkte wordt bepaald aan de hand van de bedekkingsgraad in combinatie met de zodekwaliteit. De resultaten van het monitoren geven een beeld van de samenstelling en de structuur van de vegetatie dat aanwezig is op de dijk.

### **Monitoring van de hoogte van de kering op basis van AHN**

Het waterschap is bezig met het opzetten van een monitoringsysteem om de hoogte van een waterkering blijvend te monitoren. Met het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) kun je een goede eerste indruk van de hoogte krijgen. Op dit moment wordt het nog niet actief gemonitord, maar het waterschap is bezig met het opzetten van deze monitoring.

### **Drones met Infraroodcamera**

Samen met andere waterschappen wordt bij hoogwatersituaties een drone ingezet. Met de drone worden infraroodbeelden verzameld om de temperatuur van het water te bepalen. Als op de beelden een rondje wordt geïdentificeerd waar het veel warmer is kan dit een indicatie zijn voor een well. Dit

wordt ingezet bij hoogwatersituaties die nog niet eerder zijn voorgekomen. Wanneer de waterstand al eerder is voorgekomen is de situatie al in kaart gebracht.

### **Visuele inspecties van dijken**

Het waterschap maakt ook gebruik van visuele inspecties door de buitendienst. Standaard worden de dijken twee keer per jaar geïnspecteerd. Dit gebeurt aan het begin en aan het einde van het hoogwaterseizoen. Tijdens deze inspecties wordt gelet op beschadigingen aan de dijk, zoals kale plekken of graverijen door dieren. Ten tijde van hoogwater en extreme droogte kunnen wanneer nodig ook dijkwachters ingezet worden. Een dijkwacht is een vrijwilliger die de dijken inspecteert en schade meldt.

Het monitoren van stijghoogtes, de grasmat en de hoogte van de kering wordt gedaan om de actuele/werkelijke sterkte van de dijk beter in kaart te brengen. Het verval van de stijghoogte tijdens hoogwater zegt veel over de dijk. De monitoring met drones en visuele inspecties wordt gedaan in uitzonderlijke situaties om de veiligheid te waarborgen en te voorkomen dat dijken falen.

## **6. Realisatie monitoringsnetwerk**

Bij het Waterschap Vallei en Veluwe zijn er twee primaire dijken waar monitoring wordt ingezet. Dit zijn de IJsseldijk en de Grebbedijk. Dijkmonitoring wordt door het waterschap op dit moment voornamelijk ingestoken vanuit projecten. Dit wordt gedaan omdat het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) monitoring subsidieert voor beoordeelde dijktrajecten die niet aan de norm voldoen. Wanneer dijkmonitoring niet gekoppeld is aan een versterkingsproject is het heel lastig om hier subsidie voor te krijgen. De monitoring is bij beide dijken ingezet in andere fases. Hieronder wordt per dijk toegelicht hoe de monitoring is ingezet en op welke locaties.

### **6.1. IJsseldijk**

De realisatie van het monitoringsprogramma bij het traject IJsseldijk begon na de beoordeling. In 2020 en 2021 zijn meerdere monitoringspunten geplaatst om te kijken of dit waardevol was bij het berekenen van de dijksterkte. Dat het waardevol was is door het monitoren met peilbuizen aangetoond. Daarom is in 2023 gestart met het verder uitrollen van een monitoringsnetwerk om te zorgen dat de IJsseldijk in 2050 weer zou voldoen aan de norm. Bij de beoordeling is de IJsseldijk afgekeurd op macro-instabiliteit binnenwaarts en piping. De initiële beoordeling die verder aangescherpt moest worden vormde de basis voor het uitrollen van het monitoringsnetwerk over een traject van 30 kilometer.

Het monitoringsprogramma is gericht op het verkrijgen van nauwkeurige en bruikbare gegevens om de berekeningen te kunnen aanscherpen. Stijghoogte is zowel in de toetsing voor macro-instabiliteit en piping een belangrijke parameter en daarom is het monitoren met peilbuizen een logische keuze. Met de stijghoogte kan een dempingsfactor worden afgeleid, de dempingsfactor is de mate waarin de waterstand buitendijks binnendijks gevolgd wordt. De dempingsfactor helpt de energie van de waterstroom te verminderen, daarom speelt het een belangrijke rol in de veiligheid en stabiliteit van de dijk. De stijghoogte is een belangrijke parameter voor macro-instabiliteit omdat het de waterdruk in de ondergrond beïnvloed. Een grote waterdruk kan de schuifsterkte van de grond verminderen en verhoogt het risico op afschuiving.

De locaties voor het monitoren worden bij het Waterschap Vallei en Veluwe gekozen op basis van meerdere overwegingen. Het belangrijkste is om de dijkvakken te monitoren die afgekeurd zijn op piping of macro-instabiliteit. Daarnaast worden veel landschappelijke aspecten meegenomen in de overweging; de aanwezigheid van een kolk, de dikte van de waterremmende laag en de deklaag en hoe ziet de grondopbouw er verder precies uit.



De expertise van de dijkbeheerders wordt ingezet om meetraaien slim te plaatsen. In een meetraai kunnen twee, drie of vier peilbuizen geplaatst worden. De binnenteen en de buitenteen van de dijk zijn de standaard locaties. In het voorland en achterland kunnen ook nog peilbuizen geplaatst worden. Op deze manier wordt het gehele effect van het voorland en achterland meegenomen om het beste beeld van de grondwaterstroom te krijgen. Op het moment zijn bij de IJsseldijk 20 meetraaien geplaatst. Afhankelijk van de locatie staan er in deze raaien twee, drie of vier peilbuizen. Dit meetnet wordt verder uitgebreid waarbij vijftien tot twintig nieuwe meetraaien worden aangelegd met vier peilbuizen per meetraai om het volledige grondwaterverloop in kaart te brengen. Bij deze uitbreiding worden de huidige meetraaien waarschijnlijk ook aangevuld tot vier meetraaien, omdat dit een beter inzicht geeft in het stijghoogteverloop.

Bij de IJsseldijk zijn de peilbuizen geplaatst voor de beoordelingsfase om beter inzicht te krijgen in de huidige staat van de dijk. Vanuit het project wordt het monitoringsnetwerk uitgebreid langs het traject IJsseldijk. Het doel is om na de afronding van het project de representatieve peilbuizen aan te houden, omdat dit blijvend inzicht geeft in de sterkte van de dijk. Belangrijk is om hier budget voor vrij te maken, want het beheren en onderhouden van peilbuizen kost geld. Na een verbeteringsproject kunnen er ook peilbuizen zijn die niet voldoen of niet voldoende inzicht geven, dan worden deze weggehaald.

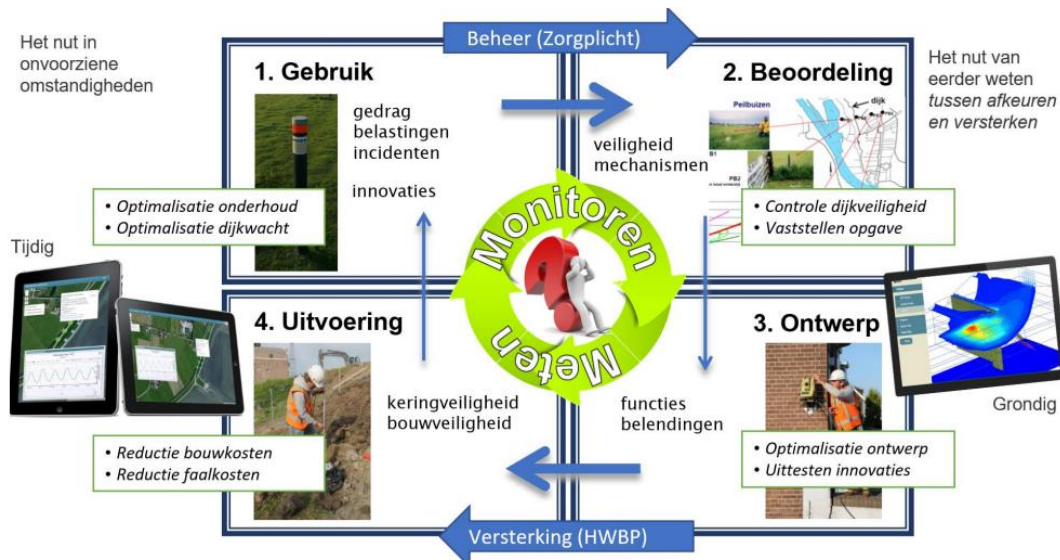
## 6.2. Grebbedijk

Het meten en monitoren van de Grebbedijk gaat ver terug in de tijd. In 2011 zijn tijdens hoogwater zand meevoerende wellen geconstateerd. Om dit te verklaren heeft het waterschap gemonitord voor het project livedijk Grebbedijk. Er is gemonitord met waterspanningsmeters en op enkele locaties met peilbuizen ter controle voor de stijghoogtes. Aan de hand van hoogwatermetingen werd het inzicht in de dijk vergroot en kon de actuele sterkte beter bepaald worden wat de toetsing verbeterd. De GeoBeads-sensoren waren gevoelig genoeg om de veranderingen in waterspanningen waar te kunnen nemen.

Voor het versterkingsproject zijn in 2015 oude peilbuizen opnieuw in gebruik genomen. In 2017 zijn ook nieuwe peilbuizen geplaatst en in gebruik genomen. De data van het monitoren zijn benut voor de analyse voor meerdere faalmechanismen. Het is gebruikt voor het schematiseren van het stijghoogteverloop voor het faalmechanisme binnenwaartse macro-instabiliteit, het verhang bepalen bij piping en het afleiden van de schematiseringsfactor van macrostabiliteit.

Het meten en monitoren is gebruikt voor de versterkingsopgave van de Grebbedijk. Dit project zit nu in de eindfase van het ontwerp, daarom kan nieuwe data hier niet meer voor gebruikt worden. Het waterschap wil de peilbuizen behouden en beheren, omdat het waardevolle data is dat in volgende toetsingen ook weer gebruikt kan worden.

Over het algemeen plaatst het waterschap de peilbuizen voor langjarige monitoring. Deze data worden gebruikt voor toekomstige toetsingen, onderhoud en nieuwe verbeteringsprojecten. Door de peilbuizen te blijven gebruiken is er een continu inzicht in de staat van de dijk. De implementatie van het monitoringsnetwerk gebeurt dus op dit moment vanuit een project, maar na het voltooien is de ambitie om over te gaan tot basismonitoring. Dit betekent dat het waterschap toewerkt na monitoring voor de gehele levensduur van een dijk, dit wordt in de vakterm ook wel Life Cycle Monitoring genoemd. Figuur 2 geeft een overzicht van de vier levensfasen van de dijk en de rol van monitoring hierin. WVV zet de monitoring in fase twee en drie van de levenscyclus in. Daarna wordt het systeem blijvend gebruikt voor de nieuwe levenscyclus van de dijk.



Figuur 2: Life Cycle Monitoring van dijken

## 7. Technische randvoorwaarden en specificaties

De technische randvoorwaarden zijn de specifieke technische eisen, beperkingen en voorwaarden waaraan de monitoringstechnieken moeten voldoen. De specificaties gericht op dijkmonitoring gaan over wat de sensoren moeten kunnen waarnemen. In dit hoofdstuk ligt de focus op peilbuizen, wat de meest toegepaste monitoringstechniek van het waterschap is.

### Meetfrequentie

Automatische loggers van de peilbuizen kunnen constant worden uitgelezen. Bij het opslaan van de data kun je een keuze maken hoe vaak het uitgelezen moet worden. Bij het meest recente project heeft het waterschap een meetfrequentie van eens in de 6 uur aangehouden. De meetfrequentie bij hoogwater is belangrijk als input voor stabiliteitsberekeningen. In die situatie wil je de hoogwatergolf goed kunnen volgen, daarom wordt de grondwaterstand in de peilbuis bij hoogwater elk half uur uitgelezen.

### Meetnauwkeurigheid

Om de meetnauwkeurigheid van de peilbuizen te garanderen worden waterdichte peilbuizen ingezet. Dit zorgt ervoor dat bij hoogwater de peilbuis in de buitenteen en de peilbuis in het voorland niet kunnen onderstromen. Sinds 2023 maakt het waterschap ook gebruik van automatische loggers (telemetrie). Dit maakt dat data regelmatig en nauwkeurig kan worden verzameld. Verder wordt de uitgelezen informatie gekalibreerd en gevalideerd.

### Kalibratie en validatie

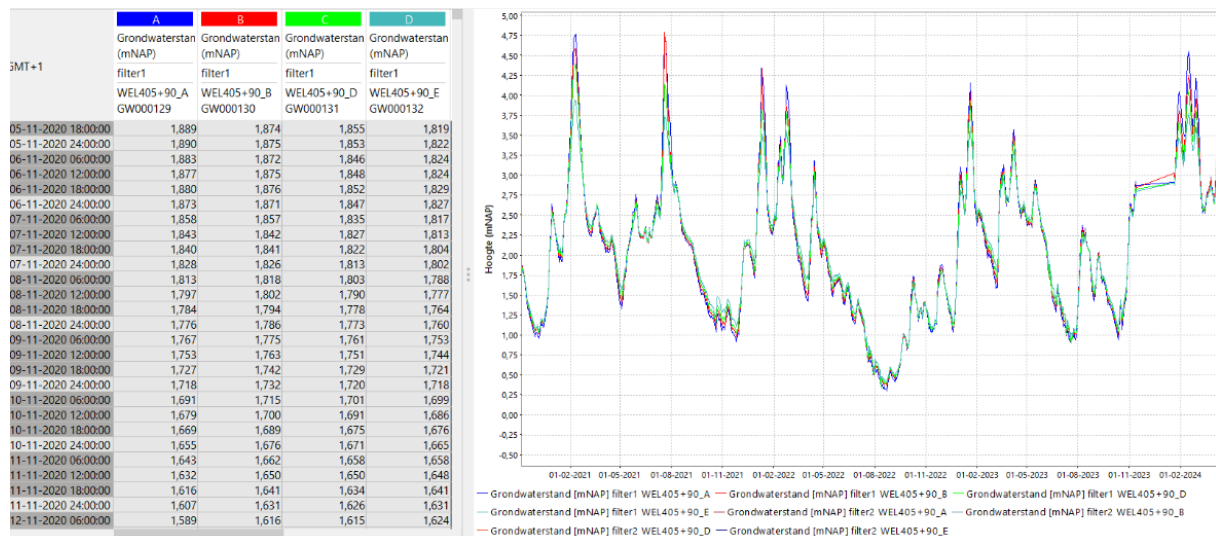
De kalibratie en validatie worden grotendeels uitgevoerd door de externe beheerder, op dit moment Eijkelkamp. In het systeem Flood Early Warning System (FEWS) wordt de data verzameld. Tijdens de data-acquisitie controleert het systeem de gegevens op basis van vooraf ingestelde grenswaarden. Als metingen buiten het bereik van deze grenswaarden vallen, worden ze gemarkeerd met een waarschuwingsymbool om aan te geven dat de meting mogelijk niet klopt. Voor extra controle voert het waterschap steekproeven uit om te kijken of de data er nog logisch uitzien.

## 8. Monitoring in uitvoering

### Inwinning van data

De huidige beheerder van de peilbuizen is Eijkelkamp, zij plaatsen en beheren de peilbuizen en uploaden de data in FEWS. De verzamelde data worden in FEWS opgeslagen. Dit programma is ontwikkeld door Deltares en wordt voor elke organisatie ingericht naar haar eigen wensen. FEWS wordt vooral gebruikt als database voor de monitoringsdata en de waterstanden van de IJssel. De waterstand

van de IJssel wordt bij een aantal meetpunten gemeten. Met deze punten kan een geïnterpoleerde waterstand per kilometer worden berekend. In Figuur 3 een voorbeeld van de peilbuisdata in FEWS.



Figuur 3: Voorbeeld van peilbuisdata in FEWS

### Data-analyse

In FEWS kunnen wel analyses uitgevoerd worden, maar de analyses voor het berekenen van de dempingsfactor wordt in Excel of in Python uitgevoerd. Met de dempingsfactor kun je inzien wat de vertragende werking van het voorland is. De dempingsfactor wordt gebruikt in de software om de faalkans van de dijk te bepalen. Het waterschap maakt gebruik van Riskeer, D-GEO Flow en D-Stability. De applicatie Riskeer wordt gebruikt voor een gedetailleerde risicobeoordeling voor het faalmechanisme piping. D-GEO Flow richt zich ook op het faalmechanisme piping, dit programma is gedetailleerder in het bepalen van de faalkans. Dit is nog niet gebruikt in de beoordeling, maar het waterschap wil het in de toekomst gaan gebruiken als standaard in de berekeningen. D-Stability wordt gebruikt om de faalkans door macro-instabiliteit te bepalen.

## 9. Besluitvorming voor versterkingsmaatregelen

In de besluitvorming voor versterkingsmaatregelen speelt monitoring een belangrijke rol bij het waterschap. Er wordt veel tijd en geld geïnvesteerd om een monitoringsnetwerk aan te leggen. Het doel is om meer inzicht te krijgen waardoor het waterschap efficiënter en veiliger te werk kan gaan. Vanuit de initiële beoordeling van de IJsseldijk en de uiteindelijke versterkingsmaatregelen krijgt het waterschap een goed inzicht in de netto vermeden kosten.

De visie van het waterschap is om scherpere analyses voor dijkbeoordeling uit te kunnen voeren. Monitoring speelt hierin een grote rol, omdat het continu data oplevert die gebruikt worden om de toestand van de dijk te bepalen. Met deze data kunnen beslissingen beter worden onderbouwd waardoor versterkingsmaatregelen nauwkeuriger en effectiever kunnen worden uitgevoerd.

## 10. Leerpunten en adviezen aan anderen

Het waterschap is in 2023 begonnen met het uitrollen van een grootschalig monitoringsnetwerk. Het meten en monitoren van dijken is een complex proces dat veel uitdagingen en belangrijke lessen met zich meebrengt. Op basis van de ervaringen van het Waterschap Vallei en Veluwe worden leerpunten en adviezen gedeeld.

**Leerpunten**

In 2020 en 2021 zijn door het waterschap de eerste monitoringspunten geplaatst om te kijken of dit effectief was voor scherpere berekeningen. Deze peilbuizen zijn geplaatst met handmatige loggers, die niet opgehoogd waren. Dit zorgde voor problemen bij hoogwater, aangezien de peilbuizen onderliepen en niks relevant meer konden meten. Het ophogen van de peilbuizen en het automatiseren van de metingen bleek een ingewikkeld proces, maar dit was essentieel voor het verbeteren van de datakwaliteit en de betrouwbaarheid van de metingen. Wanneer de monitoringsdata op orde is kan er een aangescherpt en nauwkeurig beeld worden gecreëerd van de toestand van de dijken. Bij de uitbreiding van het meetnet is er voor gekozen voor het gebruiken van waterdichte peilbuizen.

Voor het opzetten van een meet- en monitoringsnetwerk moet tijd vrijgemaakt worden. Grote projecten en toetsingen zorgden ervoor dat het opzetten van een monitoringsnetwerk naar de achtergrond verdween. Ondertussen was het wel bekend dat het snel starten met verzamelen van data cruciaal was. Hoe eerder er werd gestart met het verzamelen van data, hoe langer de meetreeksen zijn en hoe gunstiger dit is voor de uiteindelijke uitkomsten. Het waterschap wil meer tijd inzetten om een monitoringsnetwerk strategisch uit te zetten.

Een ander belangrijk leerpunt was het inzetten van een grondradar. In de beoordeling zijn er met een grondradar metingen uitgevoerd om verschillende bodemlagen te identificeren. Deze meettechniek is toegepast in de zomer van 2018, door deze droogte is met de radar alleen maar zand geïdentificeerd. Het uitvoerende bedrijf had niet voldoende kennis om deze metingen uit te voeren. Dit project is daarom ook stopgezet.

Bij de Grebbedijk is gewerkt met waterspanningsmeters. Door het gebruik van peilbuizen is het gebruik van waterspanningsmeters komen te vervallen. Peilbuizen zijn makkelijker in gebruik, de data van waterspanningsmeters moeten eerst omgerekend worden naar stijghoogtes.

**Adviezen**

Het allereerste advies aan ieder waterschap is om meer te meten en monitoren. Specifiek als waterschappen veel te maken hebben met de faalmechanismen macro-instabiliteit en piping is monitoring van grote waarde. Het inzicht bij projecten vergoten is cruciaal om versterkingsmaatregelen gericht te kunnen uitvoeren. Met monitoring kan meer grip gekregen worden op de werkelijke sterkte van de dijken, zo kan er meer focus komen op de dijkvakken die in slechte staat verkeren. In 2050 moeten alle dijken weer aan de eisen voldoen, dit is haalbaar wanneer er meer focus komt.

Het tweede advies is om het uitgebreid en ver voor een versterkingsproject op te zetten. In de praktijk zie je dat er beperkt en te laat wordt gestart met het meten en monitoren. Dit levert een te korte meetreeks op waardoor het niet benut kan worden. Wanneer er een lange goede meetreeks beschikbaar is kan het effectief gebruikt worden voor het aanscherpen van berekeningen.

Om meer en eerder te meten en monitoren is geld nodig. Hieruit volgt ook een oproep voor het HWBP vanuit het waterschap om monitoring makkelijker en sneller te gaan subsidiëren. Dit is bij het Waterschap Vallei en Veluwe wel gebeurd, maar dit heeft veel tijd gekost. Door een standaardtraject op te zetten voor het vrijmaken van budgetten voor monitoring, hoeven bewezen technieken zoals peilbuizen niet telkens te worden verantwoord. In vergelijking met dijkversterkingsprojecten is het monitoren van dijken een kleine investering voor het HWBP. Het verkrijgen van budgetten voor monitoring is een uitdaging en meestal alleen mogelijk wanneer er een versterkingsproject loopt. Als dit proces makkelijker wordt gemaakt komt er meer inzicht in de daadwerkelijke versterkingsopgaven. Dit kan veel tijd en geld schelen in de dijkverbeteringen tot 2050.