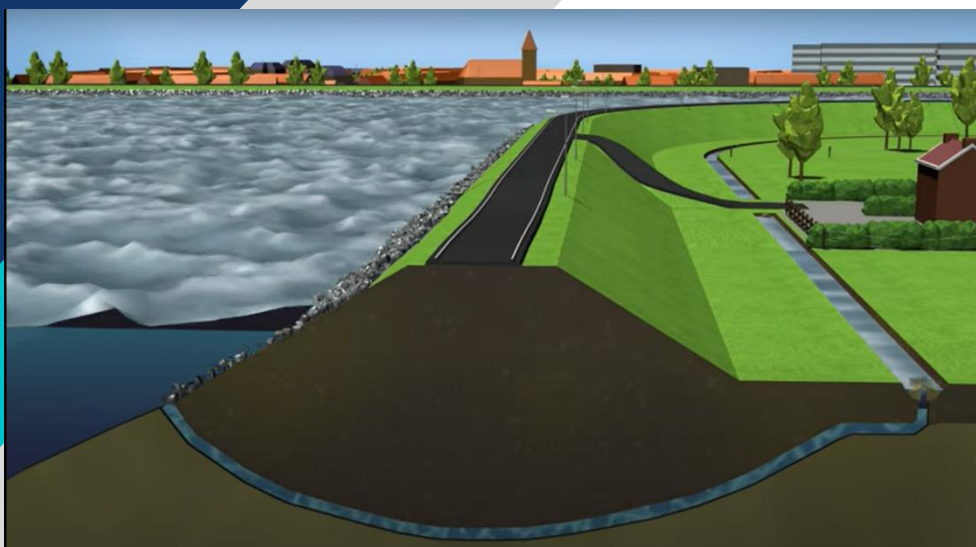


Monitoringsplan betreft piping bij Primaire dijken



*17 Januari 2022
Afstudeerscriptie*

*Shikal Arif -
Docent - Witesh Bharos*

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport 'Monitoringsplan betreft piping bij Primaire dijken'. Dit is geschreven in opdracht van Sweco Nederland B.V. voor de opleiding civiele techniek aan de Haagse Hogeschool. Het document lever ik, student van de opleiding civiele techniek, aan als afstudeerscriptie om de opleiding af te sluiten.

Tijdens mijn baan bij de RijnlandRoute als assistent uitvoerder heb ik kennisgemaakt met een collega van Sweco (Jan van Egdom – projectleider). Deze persoon heeft mij erg gemotiveerd om bij Sweco een afstudeeropdracht te maken. Aangezien mijn vorige ervaringen allemaal te maken hadden met de uitvoering van projecten leek het mij erg interessant om voor het afstuderen bij een ingenieursadviesbureau te lopen. Tijdens mijn studie heb ik de specialisatie Waterbouw gekozen, zo zocht ik ook naar een bedrijf die veel te maken had met waterbouwkundige projecten. Al met al past het bedrijf Sweco erg goed bij mijn doelen en wensen voor mijn afstudeerperiode.

Het onderwerp (of doelstelling) waaraan ik heb gewerkt luidt als volgt: 'Oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente dijktrajecten.' Gedurende de afgelopen 20 weken ben ik dieper in deze materie gaan duiken, waarbij ik informatie/data heb verzameld en verwerkt om zo het bedrijf te voorzien van kennis betreft monitoring van dijken en het belang van monitoring naar voren te brengen. Hiermee kan de monitoring van dijken op een dieper niveau geïmplementeerd worden in het bedrijf en zo bij aankomende projecten toegepast worden.

Voor het realiseren van het onderzoek wil ik graag Martine Stam bedanken voor de begeleiding vanuit Sweco. Als adviseur waterkeringen van Sweco, heeft zij advies gegeven en informatie ter beschikking gesteld voor het onderzoek van de afstudeerscriptie. Daarnaast wil ik de heer Witesh Bharos bedanken voor de begeleiding en advies die hij mij heeft gegeven vanuit de Haagse Hogeschool. Ten slotte wil ik nog alle medewerkers van Sweco en docenten van de Haagse Hogeschool bedanken die met mij in gesprek zijn gegaan betreft het onderzoek en mij feedback hebben gegeven.

Dan rest mij nog u veel leesplezier te wensen voor het lezen van mijn afstudeerscriptie!

Den Haag, 17 Januari 2022

Shikal Arif

Algemene Informatie



Studentgegevens

*Student aan de Haagse Hogeschool
(Specialisatie Waterbouw)*

Shikal Arif

Email school:

Afstudeerbedrijf

Sweco Nederland B.V.

De Holle Bilt 22, 3732 HM De Bilt, Nederland

Afdeling Waterbouw

Team Waterkeringen

Begeleider Sweco

Martine Stam

Adviseur waterkeringen

1^{ste} Schoolbegeleider

Witesh Bharos

Docent water en geotechniek

2^{de} Schoolbegeleider

Wim mantje

Docent water

Inhoud

Voorwoord.....	1
Algemene Informatie	2
1. Inleiding.....	2
1.1 Aanleiding en achtergrond.....	2
1.2 Probleemstelling	3
1.3 Doelstelling	3
1.4 Onderzoeksvraag en deelvragen.....	4
1.5 Leeswijzer	4
2. Het faalmechanisme Piping.....	5
2.1 Wat is piping	5
2.2 Fases piping.....	5
2.3 Voorkomen van piping.....	7
2.4 Toetsing dijken op piping	8
2.4.1 Gegevens verzamelen.....	8
2.4.2 Methode van Bligh.....	9
2.4.3 Methode van Sellmeijer.....	10
2.5 Beoordeling piping	11
2.6 Belang monitoring.....	11
3. Generiek monitoringsplan piping.....	12
3.1 Gegevens algemene dijk	12
3.2 Maatgevende parameters betreft monitoren van piping.....	13
3.3 Monitoringssysteem.....	0
3.3.1 Situatie 1: dunste deklaag achter de dijk bevindt zich in de sloot.....	0
3.3.2 Situatie 2: dunste deklaag achter de dijk is onbekend	3
3.4 Eisen vaststellen aan de instrumenten	7
3.4.1 Functionele eisen instrumenten	7
3.4.2 Procedures instrumenten.....	9
3.4.3 Kalibratie en onderhoud	9
3.4.4 Installeren en uitvoeren van de instrumenten	9
3.5 Dataverzameling.....	10
3.5.1 Verzameling en verwerking van meetgegevens	10
3.5.2 Verantwoordelijkheden en acties	12

4. Monitoringsplan casus dijk	13
4.1 Gegevens dijkvakken SAFE	13
4.2 Monitoringssysteem.....	14
4.2.1 Locaties van metingen	14
4.2.2 Eisen vaststellen aan de instrumenten	15
4.2.3 Verantwoordelijkheden en acties.....	15
4.3 Kostenvergelijking.....	16
4.3.1 Kosten monitoringssysteem	16
4.3.2 Kosten grond- en labonderzoek	17
4.3.3 Conclusie kostenvergelijking.....	17
5. Conclusie en aanbevelingen	18
5.1 Aanbeveling voor vervolgonderzoek	19
6. Bibliografie.....	20
7. Bijlage	21
Bijlage 1 Werkplan	21
Bijlage 2 Reflectieverslag	22
Bijlage 3 Vooronderzoek	23
Bijlage 4 Alternatieven	24
Bijlage 5 Opzet monitoringsplan	25

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Nederland is een delta: een laaggelegen land met veel water. Deze ligging maakt Nederland kwetsbaar voor overstromingen. Ten opzichte van de jaren '60 is de bevolking gegroeid van 10 naar 17 miljoen en is de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk toegenomen (toename van het BNP van 17 naar 400 miljard Euro). Daarnaast is er sinds de jaren '60 veel kennis ontwikkeld om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) beter te kunnen berekenen. (Most, 2019)

Dit waren de belangrijkste redenen om de vorige wettelijke normen, gebaseerd op inzichten uit de periode 1953-1960, te actualiseren. In 2006 is gestart met het beleidstraject Waterveiligheid 21e eeuw dat vervolgens is voortgezet in het Deltaprogramma Veiligheid. In het Deltaprogramma wordt jaarlijks voor de eerstvolgende zes jaren aangegeven welke maatregelen en voorzieningen in die periode zullen worden uitgevoerd. En welke middelen beschikbaar worden gesteld voor de verschillende opgaven. Op Prinsjesdag 2014 zijn de uitkomsten van dit traject gepresenteerd in de deltabeslissing Waterveiligheid. Vervolgens zijn per 1 januari 2017 nieuwe normen opgenomen in de Waterwet.

Het verbeteren van de waterkeringen is een continue opgave. Er is niet voldoende budget vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om de dijken in één keer te versterken. De nieuwe waterveiligheidsnormen binnen het Deltaprogramma bieden het kader om de keringen aan te passen aan veranderende omstandigheden. Primaire waterkeringen worden opnieuw beoordeeld en verbeterd wanneer ze niet aan de nieuwe normen voldoen. Uiterlijk in 2050 moeten de keringen aan de nieuwe normen voldoen. De nieuwe waterveiligheidsnormen brengen veel veranderingen ten opzichte van de oude systematiek. De nieuwe normering laat vrijheid waar, wanneer en hoe keringen worden verbeterd. Er is ruimte om mee te koppelen met regionale ontwikkelingen en om de waterkeringen doelmatig te verbeteren met minimale hinder voor de omgeving. De uitdaging is om die vrijheidsgraden bij het ontwerp optimaal te benutten.

Bij Sweco zijn ze gestart met de eerste partiële versterking in Nederland: SAFE (tussen Streefkerk en Fort Everdingen). Hierbij wordt de dijk geschaald op Evident Veilig, Urgent en Niet-Urgent. 'Echt slechte' stukken zijn urgent en worden direct aangepakt. De niet-urgente stukken, zijn net onvoldoende beoordeeld, maar worden niet direct versterkt. Deze dijkdelen moeten echter enkele tientallen jaren later wel worden versterkt. In de tussentijd moeten die dijkdelen in de gaten worden gehouden. Zichtjaren kunnen worden toegepast om een indicatie te maken wanneer het dijkdeel wel versterkt moet worden. De vraag wordt steeds groter om op basis van kennis de 'zwakkere' dijktrajecten in beeld te hebben en hier de juiste monitoring op af te stemmen. Dit komt doordat er te weinig budget zal zijn om al deze dijkdelen tegelijkertijd te versterken. Een voorbeeld van een project die monitoring toepast is de Dijkversterking van Den Oever – Den Helder (HWBP). Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een monitoringstool die de niet-urgente dijkdelen in de gaten houdt. De monitoringstool geeft inzichten in de actuele veiligheidssituatie voor het dijktraject, waardoor het keuzeproces actueel en duidelijk blijft over wanneer en hoe er ingegrepen moet worden bij de niet urgente dijkdelen zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit en dus de waterveiligheid. (witteveenbos, 2021)

1.2 Probleemstelling

Het team waterkeringen heeft momenteel een extra behoefte aan kennis betreft de verschillende soorten monitoring en de toepassing hiervan. Het is van belang om meer kennis op te bouwen betreft monitoring om bij te kunnen dragen aan de waterveiligheid van Nederland.

Er zijn verschillende soorten monitoring geschikt voor verschillende periodes in een dijkversterkingsproject zoals bijvoorbeeld: kortdurende monitoring bij het beoordelen van de dijken, langdurige monitoring voor dijken die niet-urgent zijn en monitoring tijdens uitvoering. Het is van belang om een efficiënte manier van monitoring toe te passen die goed de verhouding in balans houdt tussen kosten (in monitoring of versterking) en baten (waterveiligheid) van een project.

Bij deze opdracht wordt er gekeken naar oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente primaire dijktrajecten ten behoeve van het voorkomen van het faalmechanisme piping en in hoeverre monitoring van belang is bij deze dijktrajecten.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze afstudeeropdracht is om een monitoringsplan te ontwikkelen die toegepast kan worden bij partiële dijkversterkingen (niet-urgente dijkdelen) van primaire dijktrajecten gefocust op het faalmechanisme piping. De kosten en baten voor dit monitoringsplan worden tegen elkaar afgewogen om te kunnen zien in hoeverre een monitoringsplan een positieve bijdrage geeft.

1.4 Onderzoeksvraag en deelvragen

Onderzoeksvraag:

“Hoe kan dijkmonitoring betreft piping ingezet worden voor risico gestuurde (partiële) dijkversterking?”

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden dienen de volgende deelvragen te worden doorlopen:

1. Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur betreft het faalmechanisme piping?
 - Wat meten deze monitoringstechnieken?
 - Hoe kun je met de monitoringstechnieken aantonen of een dijkstrekkings een signaalwaarde qua sterkte bereikt? (meetnauwkeurigheid)
 - Wat zijn voor- en nadelen van elke methode?
 - Wat zijn de verschillen/overeenkomsten van de methodes?
2. Wat voor monitoringsplannen hebben beheersorganisaties al geschreven?
 - Wat houden deze plannen in?
3. Hoe worden de verschillende monitoringstechnieken uitgevoerd? (Uitvoeringsmethode)
 - Hoeveel tijd kost het om de verschillende methodes uit te voeren?
 - Welke monitoringstechnieken zijn het meest efficiënt met de verhouding tussen kosten en baten? (+/-)
4. Welke monitoringstechnieken kunnen gecombineerd worden?
 - Hoe werkt deze gecombineerde techniek?
 - Hoe kan de techniek toegepast worden op een bestaand project?
 - Wat is de verhouding tussen kosten en baten bij dit project? (Kengetallen)
5. Waar kan het uitgewerkte monitoringsplan eventueel nog verder geoptimaliseerd worden?
 - Hoe wordt er met behulp van monitoring de veiligheid verhoogd?
 - Welke tekortkomingen/beperkingen heeft de nieuwe monitoringstechniek en waar is er dus nog ruimte voor verbetering?
 - In hoeverre is de investering van tijd en geld in het optimaliseren de moeite waard: wegen de kosten op tegen de baten?

1.5 Leeswijzer

Dit rapport doorloopt de laatste twee deelvragen van het onderzoek betreft monitoring die voor deze afstudeeropdracht zijn gesteld. Met de opgedane kennis vanuit het vooronderzoek wordt er een monitoringsplan opgezet betreft het faalmechanisme piping.

In Hoofdstuk 2 wordt er uitgelegd wat het faalmechanisme piping inhoudt, de verschillende fases van piping, het voorkomen van piping, toetsing, beoordeling en het belang van monitoring betreft piping. In Hoofdstuk 3 wordt er een generiek monitoringsplan vastgesteld voor een algemene dijk. Hierbij wordt er gekeken naar de gegevens van de algemene dijk, maatgevende parameters, monitoringssysteem (2 situaties), eisen van de instrumenten en ten slotte de dataverzameling. In Hoofdstuk 4 wordt het generieke plan getoetst op een dijkvak van een bestaand project genaamd SAFE. Onderwerpen zoals gegevens van de dijkvakken SAFE, het monitoringssysteem, dataverzameling en een kostenvergelijking worden hierin beschreven. Vervolgens worden er in Hoofdstuk 5 conclusies getrokken betreft het opgestelde monitoringsplan van dit rapport en aanbevelingen betreft het eventuele vervolg van dit onderzoek. Hoofdstuk 6 bevat de bibliografie en in Hoofdstuk 7 de bijlage waarin het werkplan, reflectieverslag, vooronderzoek, alternatieven en de opzet van het monitoringsplan zijn toegevoegd.

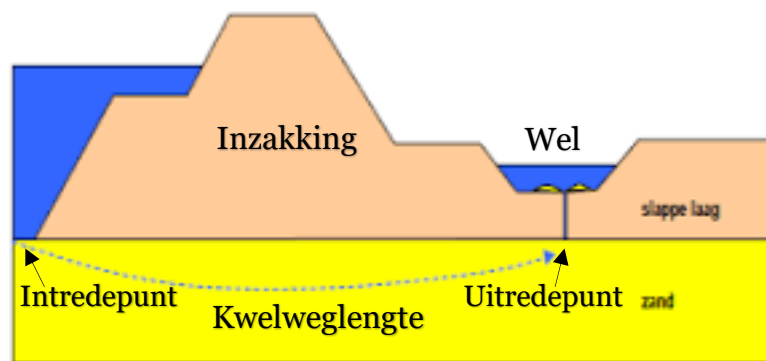
2. Het faalmechanisme Piping

2.1 Wat is piping

Dijken beschermen ons land tegen overstromingen. Zonder dijken en duinen zou de helft van Nederland onder water staan. Maar dijken kunnen bezwijken. Een van de oorzaken daarvan is piping. Maar wat is dat eigenlijk? En hoe kunnen we het voorkomen?

Piping kan voorkomen tijdens hoogwatersituaties. Door het grote verschil in waterstand, voor en achter de dijk, ontstaan drukverschillen. Door die drukverschillen kan water onder de dijk doorstromen en achter de dijk weer naar boven komen. Hier ontstaat een wel, een plek waar (kwel-)water uit de grond omhoogkomt.

Dit is op zich niet ongebruikelijk, maar wanneer het hoge water en het verschil in waterdruk aanhouden, kan water met een hoge snelheid door de zandlaag onder de dijk gaan stromen. Dit leidt nog niet tot het falen van de dijk, maar wanneer dit stromend water zanddeeltjes meeneemt, ontstaat de kans dat er een kanaal (pipe) onder de dijk door ontwikkelt. Als dit proces langer doorgaat, kan uitslijting van het kanaal uiteindelijk leiden tot het inzakken van de dijk. Zie figuur 1.



Figuur 1: Piping

2.2 Fases piping

Het faalmechanisme piping is onder te verdelen in negen fasen. Deze fasen zijn weergegeven in Figuur 2. Fase nul is niet in het figuur weergegeven omdat dit nog niet de start van het pipingproces beschrijft maar de basis. (Gerritsen, 2013)

0. Toenemen van de waterspanning en opdrijven

Piping kan plaatsvinden wanneer er onder de waterkerende constructie een cohesieve deklaag aanwezig is met daaronder een watervoerend pakket. Wanneer het watervoerend pakket met het buitenwater in contact staat, zal bij een toenemende buitenwaterstand horizontale grondwaterstroming op gang komen. Door deze grondwaterstroming kan de stijghoogte in het achterland oplopen. Hierdoor kan er opbarsten en piping plaatsvinden.

1. Opbarsten cohesieve deklaag

Als de stijghoogte in het watervoerend pakket groter is dan het gewicht van de cohesieve deklaag is er sprake van wateroverdruk. Wanneer die overdruk groot genoeg is, zal het grondwater in de zandlaag een uitweg naar boven vinden. Door het opdrijven kunnen scheurtjes in de afdekkende laag ontstaan, waardoorheen het kwelwater zich een weg zoekt naar het maaiveld. Dit wordt opbarsten van de deklaag genoemd. Zonder het opbarsten van de deklaag kan er geen piping ontstaan omdat er dan geen directe verbinding is tussen de binnen- en buitendijkse zijde.

2. Welvorming

Als het grondwater een weg vindt door de cohesieve deklaag als gevolg van de wateroverdruk kan er een kwelweg ontstaan in de deklaag. Door erosie van deze kwelweg ontstaat in de cohesieve deklaag een kanaal, het zogenaamde opbarstkanaal, waardoor wellen op het maaiveld of op de waterbodem ontstaan in het geval dat achter de dijk een waterpartij (bijvoorbeeld een sloot) ligt.

3. Eroderen van de zandlaag

Door het opbarstkanaal stroomt grondwater vanuit het watervoerend pakket richting het maaiveld. Er ontstaat een wel. Door de, uit de zandlaag uittredende kwel, worden zanddeeltjes vanuit de zandlaag naar het opbarstkanaal getransporteerd. Het opbarstkanaal wordt daardoor opgevuld met zand dat zich in gefluïdiseerde toestand bevindt. De stromingsweerstand in het opbarstkanaal neemt daardoor toe. Er zijn nu twee mogelijkheden:

- Door de toegenomen weerstand neemt de stroomsnelheid ter plaatse van het uittredepunt in de zandlaag af waardoor het erosieproces stopt en de wel 'schoon' water gaat produceren.
- De stroomsnelheid neemt onvoldoende af, waardoor de aanvoer van zand naar het opbarstkanaal door blijft gaan. Wanneer de stroming krachtig genoeg is (als het verval over de dijk voldoende hoog is), wordt zand uit de zandlaag in de omgeving van het opbarstkanaal geërodeerd, door de kwelstroom via het opbarstkanaal naar het maaiveld meegevoerd en rondom de uitstroomopening van de wel afgezet. Daar ontstaat dan een zandkrater. De diameter van het opbarstkanaal kan variëren afhankelijk van de stroomsnelheid en de erodeerbaarheid van het materiaal in de afdekkende laag. In de zandlaag ontstaat een holle ruimte ter plaatse van het opbarstkanaal, die zich later boven in de zandlaag direct onder de deklaag in vorm van kanaaltjes (pipes) in bovenstroomse richting (richting buitenwater) uitbreidt. Dit wordt terugschrijdende erosie genoemd. Er ontstaan door vertakkingen kanaaltjes in de bovenkant van de zandlaag. Deze kanaaltjes blijven in stand omdat de deklaag cohesief is.

4. Pipevorming en verder eroderen van de zandlaag

Bij een groot genoeg verval over de kering zullen de erosiekanaaltjes blijven groeien, tot ze het buitenwater bereiken.

5. Doorgaande pipe

Als de kanaaltjes het buitenwater bereiken is er een open verbinding tussen het buitenwater en het uittredepunt ontstaan, waardoor er een doorgaande pipe ontstaat.

6. Verbreding van de pipe (ruimen)

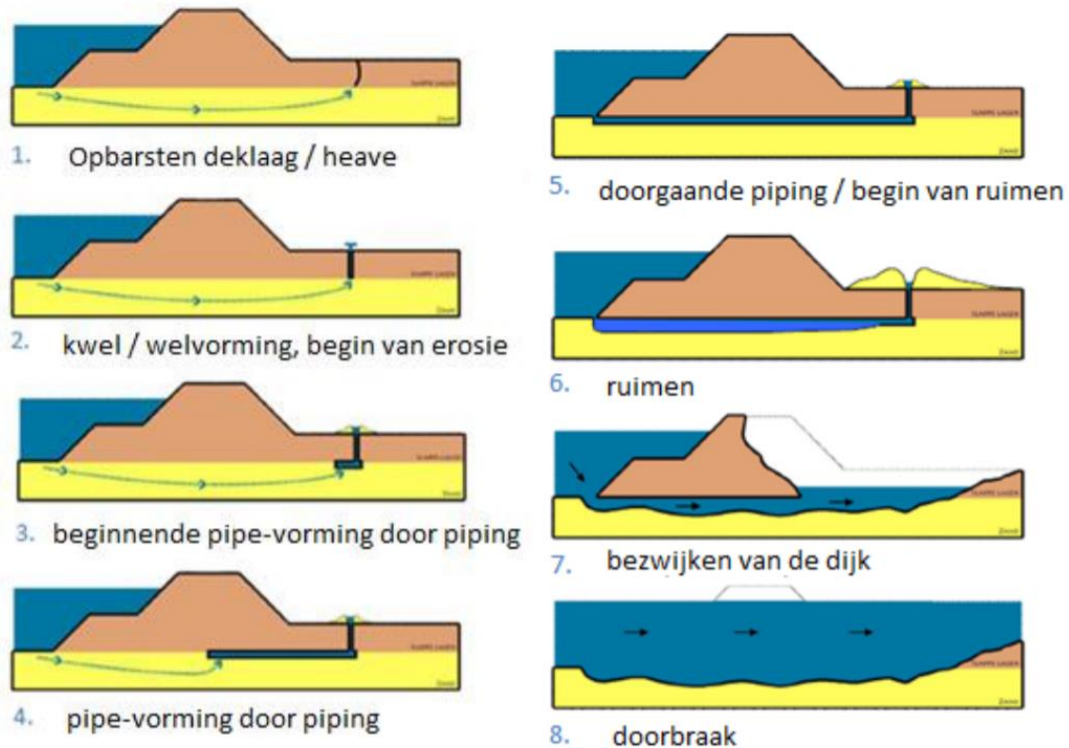
Zodra het kanaaltje contact maakt met het water aan de buitenzijde van de dijk, treedt het ruimproces op. Onder 'ruimen' wordt het proces verstaan waarbij het kanaaltje door een drukgolf die met de stroom meeloopt, vanaf de buitenzijde naar de binnenzijde, versneld verder gaat eroderen.

7. Bezijken van de dijk

Uiteindelijk zal dit leiden tot holle ruimten onder de waterkering die dusdanig groot zijn dat inzakken van het dijklichaam zal optreden. Bij een voldoende hoge waterstand zal dan een breuk in de dijk ontstaan en zal dit tot dijkdoorbraak leiden. In kleinschalige proeven is waargenomen dat de verdere erosie van de zandlaag na het ontstaan van een doorgaande pipe zeer snel, dat wil zeggen in de orde van minder dan een minuut, verloopt. (Gerritsen, 2013)

8. Dijkdoorbraak

De dijk breekt door.



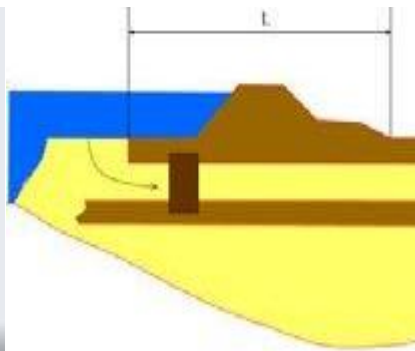
Figuur 2: fases piping (Gerritsen, 2013)

2.3 Voorkomen van piping

Er bestaan verschillende methodes om te voorkomen dat piping ontstaat bij het ontwerp van de dijk. In deze paragraaf worden er een aantal toegelicht. Het aanbrengen van verticaal zanddicht geotextiel is een manier om piping te voorkomen. Het doek van het geotextiel laat water door, maar geen zand, waardoor het doorgroeiproces van de "pipe" gestopt wordt. Zie figuur 3. Ook een kleikist is een optie. Een kleikist is een dikke, niet zo brede kleilaag die bij een dijk wordt aangebracht om deze waterdicht te maken: het kleipakket houdt erosie (afkalven), kwel en piping tegen. Zie figuur 4. Een andere mogelijkheid is het plaatsen van een aantal grindpalen achter de dijk. Hierdoor vermindert de waterdruk in de dijk en blijft het dijklichaam intact (het vrijkomende water moet wel afgevoerd worden). Zie figuur 5. (Beek, 2017)



Figuur 3: Verticaal geotextiel



Figuur 4: Kleikist



Figuur 5: Grindpalen achter dijk

2.4 Toetsing dijken op piping

2.4.1 Gegevens verzamelen

De volgende gegevens betreffende de geometrie en waterstanden zijn nodig bij de toetsing op piping of het ontwerpen van maatregelen:

- geometrie van de dijk
- geometrie binnendijks, ter bepaling van het uittredepunt (het maatgevende uittredepunt ligt in het algemeen bij de binnenteen, indien het binnendijkse maaiveld horizontaal is, anders is dit vaak het laagste punt/dunste deklaag)
- toetspeil of ontwerpwaterstand (MHW)
- binnendijkse waterstand (deze is meestal gelijk aan het maaiveldniveau ter plaatse van het uittredepunt indien geen open water voorkomt, bij sommige waterschappen is dit gelijk aan het winterpeil van de betreffende polder)

Grondonderzoek is nodig om de volgende gegevens te verzamelen:

- de grondopbouw: onderzoek naar de grondopbouw geeft aan of er sprake is van een pipinggevoelige grondopbouw.
- het intredepunt: het intredepunt is het dichtst bij de dijk gelegen punt waar de watervoerende zandlaag in direct contact met het buitenwater staat, of waar de potentiaal in de zandlaag gelijk is aan de waterstand boven maaiveld.
- de dikte en doorlatendheid van de watervoerende zandlaag
- de dikte, soortelijk gewicht en doorlatendheid van de kleilaag binnendijks (deklaag).

Indien geen pipinggevoelig profiel aanwezig is, zal verder onderzoek niet nodig zijn.

Het onderzoek naar de grondopbouw geeft aan of er sprake is van piping of heave.

Er is sprake van Heave wanneer er drijfzand ontstaat ter plaatse van verticaal uittredend grondwater. Wanneer de buitenwaterstand stijgt en er stroming onder de dijk plaatsvindt zal er door de omhooggerichte waterstroming drijfzand ontstaan. In dat geval wordt getoetst op heave met de methode van Lane of met de heaveregels. Als er geen sprake is van heave dan wordt er getoetst op piping met de methode van Bligh of Sellmeijer. Heave onderscheidt zich van piping. Bij piping is er sprake van interne erosie van materiaal uit een watervoerende zandlaag die aan de bovenzijde is begrensd door een cohesieve laag, ten gevolge van een sterke kwelstroom (zie paragraaf 2.2, fases piping). (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999)

2.4.2 Methode van Bligh

Piping zal alleen optreden als binnendijks wellen aanwezig zijn. Indien binnendijks een klei- of veenlaag voorkomt, kan alleen een wel ontstaan als een kanaaltje door deze laag aanwezig is. Er zijn een aantal oorzaken waardoor zo'n kanaaltje kan ontstaan:

- perforatie van de kleilaag door boor- of sondeergaten of door funderingspalen (is in de praktijk niet te controleren. Tijdens hoogwater zullen dergelijke gaten mogelijk aan het licht komen.)
- ontgravingen in de kleilaag voor grondverbeteringen of de aanleg van sloten of andere waterpartijen
- uitdroging van de kleilaag
- opbarsten van de kleilaag.

In die gevallen zal kwelweglengtecontrole met behulp van de rekenregels van Bligh of Lane moeten plaatsvinden.

Berekening volgens Bligh: $L > 1,5 \cdot CB \cdot H$

waarin:

L = kwelweglengte* [m]

H = verval over de constructie waarbij piping optreedt [m]

CB = constante afhankelijk van de grondsoort [-]

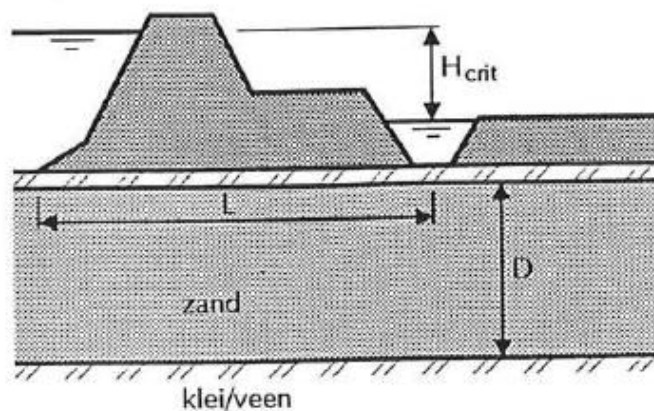
(zeer fijn slib: $CB = 18$, fijn zand: $CB = 15$, grof zand: $CB = 12$, grind met zand: $CB = 5$ tot 9)

De methode van Bligh is een eenvoudige toetsing op piping, waarin de aanwezige kwelweglengte wordt getoetst aan de kritieke kwelweglengte volgens Bligh. De aanwezige kwelweglengte wordt uit onderzoek verkregen. Indien het uittredepunt niet eenduidig is vast te stellen, dan wordt de toets voor meerdere uittredepunten gedaan, ieder met het bijbehorende verval.

De creep factor van Bligh wordt bepaald aan de hand van de geschatte korreldiameter van het zand in de watervoerende zandlaag. Als geen gegevens van het zand bekend zijn, dan wordt voor de creep factor de waarde 18 aangehouden. Dit is de bovengrens van de creep factor. Met deze waarde kan snel een toets op piping worden gedaan, als globaal het in- en uittredepunt bekend zijn.

De methode van Bligh en de waarden die voor Creep worden aangegeven, kennen niet een uitgebreide probabilistische onderbouwing. Aangenomen mag worden dat het een veilige benadering is. Voor de kwelweglengte, of de diverse onderdelen daarvan en voor het binnendijkse maaiveldniveau dient de ondergrens te worden aangehouden.

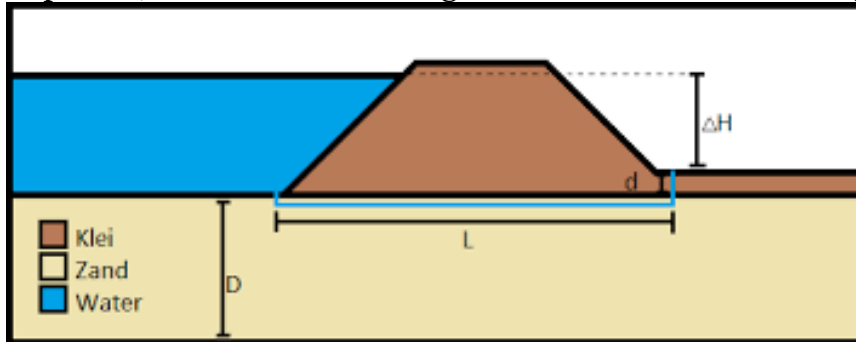
Als de aanwezige kwelweglengte kleiner is dan de benodigde kwelweglengte volgens Bligh, dan is er mogelijk gevaar voor piping. De beoordeling kan dan verder gaan met de rekenregel volgens Sellmeijer.



Figuur 6 Schematisering dijk

2.4.3 Methode van Sellmeijer

Met de methode van Sellmeijer wordt de kritieke kwelweglengte nauwkeuriger berekend. De methode van Sellmeijer levert bijna altijd een lagere kritieke kwelweglengte op in vergelijking met de methode van Bligh, indien de dikte van de watervoerende zandlaag relatief klein is. In het algemeen kan worden gesteld dat het zinvol is de methode van Sellmeijer toe te passen indien de dikte van de zandlaag kleiner is dan de kwelweglengte. Overigens wordt het aanbevolen de methode van Sellmeijer altijd toe te passen, als de ervoor benodigde informatie voorhanden ligt.



Figuur 7 Schematisering dijk

De formule luidt als volgt:

$$\Delta H_c = \alpha c (\gamma_p / \gamma_w) \tan(\theta) (0,68 - 0,10 \ln(c)) L$$

met:

$$\alpha = \left(\frac{D}{L}\right)^{0,28 / \left\{\left(\frac{D}{L}\right)^{2,8} - 1\right\}}$$

en:

$$c = \eta d_{70} (1/\kappa L)^{1/3}$$

met:

$$\kappa = (v/g) k$$

ΔH_c = kritieke verval over de waterkering [m]

γ_p = (schijnbaar) volumegewicht van de zandkorrels onder water [kN/m³]

γ_w = volumegewicht van water [kN/m³]

θ = rolweerstandshoek van de zandkorrels [°]

η = coefficient van White [-]

k = doorlatendheid van de zandlaag [m/s]

κ = intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag [m²]

d_{70} = 70-percentielwaarde van de korrelverdeling [m]

D = dikte van de zandlaag [m]

L = lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten) [m]

v = kinetische viscositeit [m²/s]

g = zwaartekracht versnelling [m/s²]

De korrelverdeling is van invloed op de stabiliteit van de korrels in de pipe. Het is daarom van belang de korrelverdeling met name direct onder de slecht doorlatende laag, nabij de uitstroomopening te kennen. De zandmonsters kunnen om deze reden het beste binnendijks, nabij de dijk, worden genomen. Daarnaast dienen voldoende monsters beschikbaar te zijn om de karakteristieke waarde van de d_{70} te bepalen. Als absoluut minimum geldt een aantal van 3 monsters. Indien er minder dan drie monsters beschikbaar zijn kan de karakteristieke waarde niet worden bepaald. Als invoer in de formules van Sellmeijer wordt de karakteristieke ondergrens van het gemiddelde van de d_{70} gebruikt.

De doorlatendheid is voor het berekenen van de potentiaal bepaald op basis van globale gegevens. Voor de berekening met de methode van Sellmeijer is meer lokale en gedetailleerde informatie nodig. Omdat de korrelverdelingen al bekend moeten zijn, kan de doorlatendheid het eenvoudigst aan de hand van de korrelverdelingen worden bepaald. Het nauwkeurig bepalen van de doorlatendheid is niet eenvoudig. Eventueel kan een geohydroloog worden geraadpleegd.

2.5 Beoordeling piping

Bij het beoordelen van piping wordt het aanbevolen gebruik te maken van het piping beslisboom model. Het ENW (expertisenetwerk waterveiligheid) is groot voorstander van het mobiliseren van kennis en ervaring bij het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen. Dit wil zeggen dat de delen van de Beslisboom die betrekking hebben op het benutten van beheerderservaring, onderdeel zouden moeten zijn van de beoordeling en niet achteraf toegevoegd moeten worden. In de Beslisboom wordt in de periode van uitgestelde versterking teruggegrepen op beheer- en beheersmaatregelen ten tijde van hoogwater. Het ENW is van mening dat dit type beheer moet gelden voor alle afgekeurde waterkeringen, dus niet alleen voor de uitgestelde. Daarnaast geldt dat de beheersmaatregelen ook goed uitvoerbaar moeten zijn onder extreme omstandigheden. Het ENW adviseert de gebruiker dan ook zeer bewust om te gaan met het risico dat wordt genomen. (Dijk, 2018)

2.6 Belang monitoring

Een dijk wordt ontworpen rekening houdend met voornamelijk drie onderdelen namelijk macrostabiliteit, hoogte van de dijk en piping. De hoogte van de dijk kan door visuele controle jaarlijks gemeten worden. Bij piping is het wat complexer te monitoren aangezien het een langzaam proces is en zich ondergronds bevindt. Het doel van monitoren voor de beoordeling van piping is, ongeacht het niveau van toetsing, om meer zekerheid te verkrijgen met betrekking tot de invoerwaarden van relevante parameters. Aangezien het toets schema conservatief is ingesteld, leidt minder onzekerheid in het algemeen tot minder conservatieve invoerwaarden en daarmee tot een gunstigere uitkomst. Na de beoordeling kan de uitkomst zijn dat de dijk niet-urgent is en dus nog enkele jaren vooruit kan zonder dijkversterking. Voor deze dijkvakken is het van belang de dijk in de gaten te houden en te monitoren om te voorkomen dat de dijk gaat falen op piping tijdens hoogwater. De beoordeling en monitoring van de dijk dragen bij aan de waterveiligheid van Nederland. Om onder andere deze redenen is het zeer van belang een efficiënt monitoringsplan samen te stellen gefocust op het faalmechanisme piping.

3. Generiek monitoringsplan piping

In dit hoofdstuk wordt er een monitoringsplan opgesteld betreft het monitoren van het faalmechanisme piping, hierbij wordt allereerst een monitoringsplan opgesteld voor een algemene dijk en vervolgens in het volgende hoofdstuk voor bestaande dijkvakken binnen het project SAFE. De opzet voor dit monitoringsplan is af te leiden uit een algemene opzet die terug is te vinden in bijlage 5 opzet monitoringsplan.

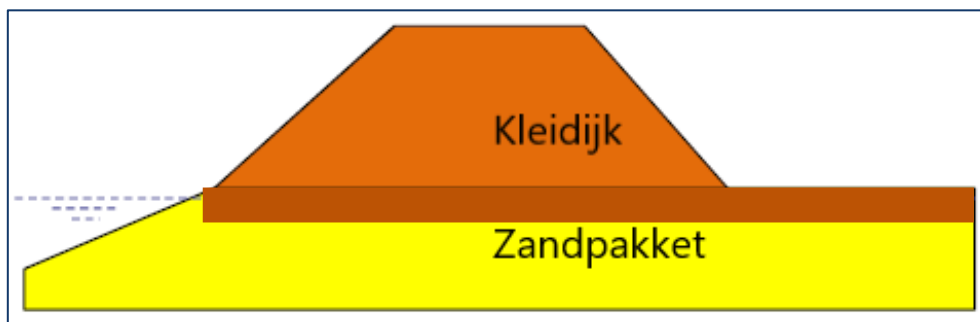
3.1 Gegevens algemene dijk

De algemene dijk is een kleidijk met een zandpakket eronder. In het achterland bevindt zich ook een deklaag van klei.

WBN: NAP +9,0
Polderpeil: +3,65 m
Hoogte kering: NAP + 10 m
Hoogte achterland: NAP +4 m
Breedte dijk: 60m

Deklaag achterland van 3 m

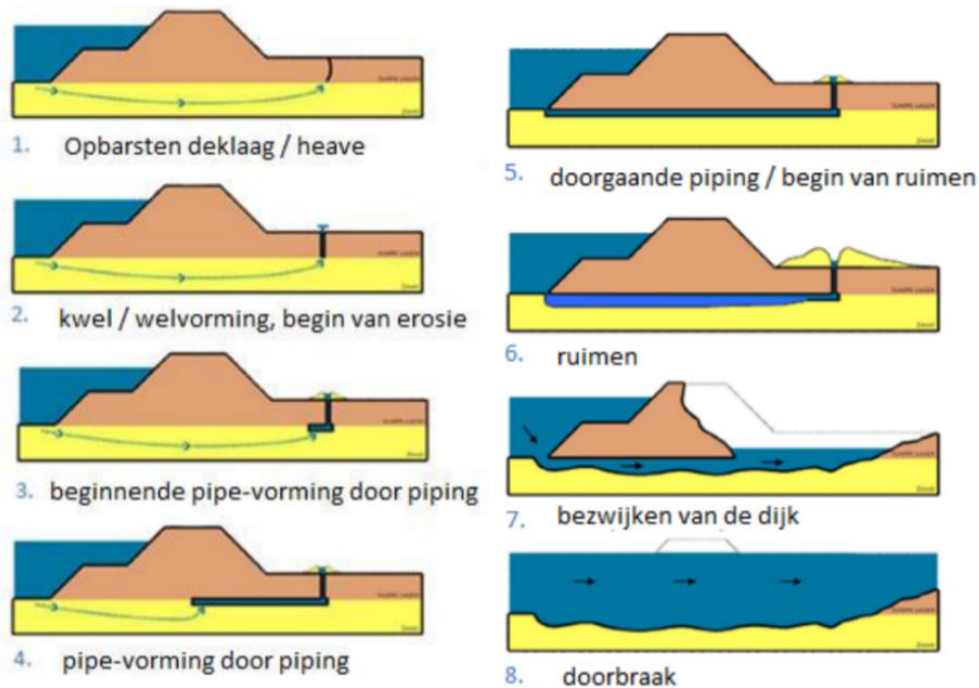
Holoceen scenario/ Dus geen tussenzandlaag/ Holoceen ligt op Pleistoceen
Dikte watervoerend pakket = 30 m dik
 $K = 70 \text{ m/dag}$
 $D70 = 250 \text{ um}$ (verwachtingswaarde) 200 um (karakteristieke ondergrenswaarde)



Figuur 8 Algemene dijk

3.2 Maatgevende parameters betreft monitoren van piping

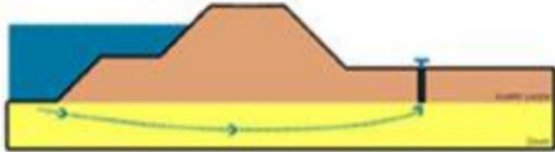
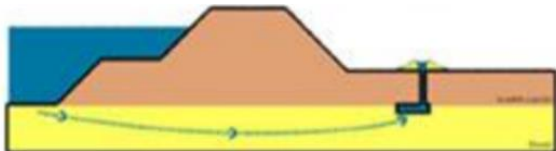
Zoals in Hoofdstuk 2.2 beschreven is het faalmechanisme piping onder te verdelen in negen fases. Bij fase 1 is er nog niks te merken en kan er ook niet gemonitord worden. Fases 6,7 en 8 zijn ook niet van belang bij het monitoren van piping, aangezien deze te ver in het proces zijn.

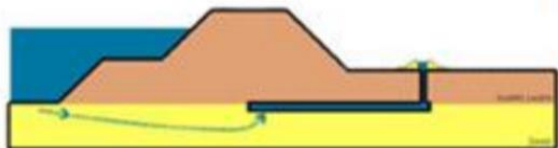
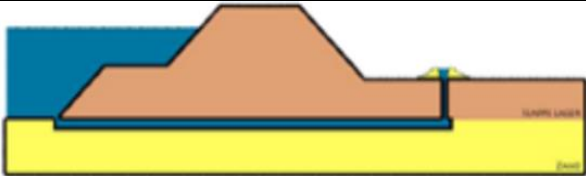


Figuur 9 fases piping

In de onderstaande tabel wordt er beschreven welke technieken in welke fases het beste ingezet kunnen worden. Voor meer informatie over deze technieken wordt er verwezen naar het vooronderzoek in bijlage 3.

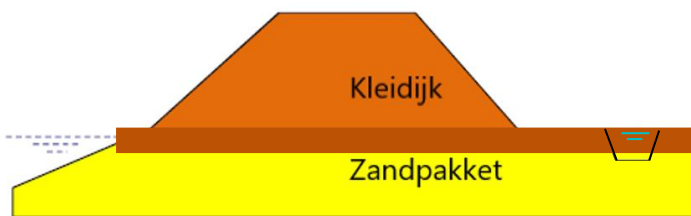
Tabel 1 Maatgevende parameters piping

Fase 2	Locatie	Techniek	Parameter	Signaalwaarde
 2. kwel / welvorming, begin van erosie	Binnenteen	Sonderingen	Doorlatendheid	Grotere doorlatendheid dan omringende locaties
	Achterland, Laagste punt achter dijk	Seismisch	Grond dichtheid	Oude geulen, gevoelige plekken voor piping
	Binnenteen	Water injecteren onder constante druk	Doorlatendheid	Grotere doorlatendheid dan omringende locaties
	Laagste punt achter dijk	Visuele inspectie	Kwel	Opbarsten water
Fase 3	Locatie	Techniek	Parameter	Signaalwaarde
 3. beginnende pipe-vorming door piping	Binnenteen, In het water	SP (self-potential)	Waterstroming	De voorkeursstroming wordt geleid naar het opbarsten achter de dijk
	Laagste punt achter dijk	Visuele inspectie	Kwel, zandtransport, zandsoort	Zandtransport
	Onder de dijk (cohesieve laag)	Glasvezelkabel	Stroomsnelheid	Hogere stroming water dan normaalwaarde (bij hoogwater vooral)
	Camera bij binnenteen dijk, achterland	Infraroodcamera	Stroomsnelheid	Hogere stroming water dan normaalwaarde (bij hoogwater vooral)

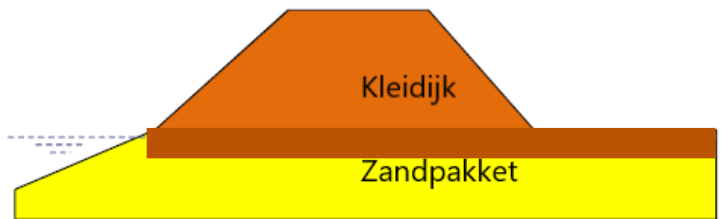
Fase 4	Locatie	Techniek	Parameter	Signaalwaarde
 4. pipe-vorming door piping	Locatie opgebarsten water onderzoeken	Troebelheidsmeter	Vaste deeltjes in water	Na meten verschillende monsters in de tijd is een toename van vaste deeltjes op te merken
	Achterland, Binnenteen	Radar (InSAR)	Vochtgehalte	Kwel opsporen door een groter vochtgehalte in bepaalde locaties in het dijklichaam
	Onder de dijk (cohesieve laag)	Temperatuurmeters	Stroomsnelheid	Hogere stroming water dan normaalwaarde (bij hoogwater vooral)
	Camera bij binnenteen dijk, achterland	Infraroodcamera	Stroomsnelheid	Hogere stroming water dan normaalwaarde (bij hoogwater vooral)
	Achterland, binnenteen	Grondradar	Dikte zandlaag, diëlektrische constante	Discontinuïteiten in de zandlaag zijn anders dan het begin
Fase 5	Locatie	Techniek	Parameter	Signaalwaarde
 5. doorgaande piping / begin van ruimen	Binnenteen	Debietmetingen	Debiet waterstroming in de cohesieve laag	Hogere stroming water dan normaalwaarde (bij hoogwater vooral)
	Camera bij binnenteen dijk, achterland	Infraroodcamera	Stroomsnelheid	Hogere stroming water dan normaalwaarde

3.3 Monitoringssysteem

In deze paragraaf wordt een monitoringssysteem vastgesteld voor twee verschillende situaties. In situatie 1 wordt het monitoringssysteem beschreven voor een dijk waarbij het punt waar de deklaag gaat opbarsten bekend is, namelijk in een sloot (teensloot of kopsloot) of ander oppervlaktewater achter de dijk. Bij situatie 2 is dit punt achter de dijk onbekend, hierbij zal er dus een techniek moeten worden toegevoegd om de gevoelige plekken voor opbarsten op te zoeken.



Figuur 10 Dijk situatie 1 (sloot)



Figuur 11 Dijk situatie 2

Zie figuren hierboven voor de twee verschillende situaties.

3.3.1 Situatie 1: dunste deklaag achter de dijk bevindt zich in de sloot

“Combinatie Infraroodcamera met troebelheidsmeters bij locaties wellen.”

3.3.1.1 Keuze van parameters

Water vindt altijd de makkelijkste weg naar boven om op te barsten, dit is op het punt waar de deklaag het dunst is achter de dijk. Bij een dijk waarbij in het achterland zich een sloot bevindt is dit vaak het punt met de dunste deklaag en zullen zeer waarschijnlijk op die locatie wellen ontstaan. Het is van belang om deze sloot te monitoren op watervoerende wellen en zandmeevoerende wellen. Wellen worden omschreven als een gelocaliseerde uitstroom van grondwater. Grondwater heeft dan ook een andere temperatuur als oppervlaktewater, waardoor temperatuur een geschikte parameter is voor het detecteren van wellen.

De volgende stap is hierbij om de wel te monitoren op zandtransport, dit kan met behulp van een troebelheidsmeter. Door de hoeveelheid vaste deeltjes in het water te meten kan er opgemerkt worden dat de wel verder ontwikkeld naar een zandmeevoerende wel en kan er ingegrepen worden.

3.3.1.2 Orde van grootte van veranderingen

Het ontstaan van een zandmeevoerende wel is niet altijd visueel op te merken. Vooral bij sloten en dus troebel water wordt dit makkelijk over het hoofd gezien. De zichtbaarheid van de wel door afwijkende temperatuur is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen grondwater en oppervlaktewater en natuurlijk de meetnauwkeurigheid van het meetinstrument, in dit geval de infraroodcamera. Voor de Nederlandse situatie zal een wel van serieuze betekenis altijd wel detecteerbaar zijn, mits de meetnauwkeurigheid 0,1 graad of beter bedraagt. (Bersan, 2015) De temperatuur van grondwater is vrijwel constant. Meestal ligt de temperatuur hiervan rond de 10 á 14 °C. De temperatuur van het grondwater wordt bij een diepte van 50 meter niet meer beïnvloed door de weersomstandigheden. Bij verschillende seizoenen blijft de temperatuur nagenoeg gelijk. (Buldit B.V., sd) De temperaturen van het oppervlaktewater daarentegen wisselen sterk in Nederland. In de winter is er te spreken van een temperatuur net boven het vriespunt (0 °C) en tegen het eind van de zomer is het water rond de 20 °C. (Panthera B.V., sd) De infraroodcamera meet tot -20 °C nauwkeurig de temperatuurverschillen, dus ook met ijs. (security, 2021)

De wel wordt opgemerkt wanneer er sprake is van grondwatertemperatuur in het oppervlaktewater, dit betekent dat op die locatie grondwater omhoogkomt en een pipe zich kan gaan vormen. Wanneer de wel is opgemerkt wordt deze in de gaten gehouden met een troebelheidsmeter die de aanwezigheid van zand en de mate van zandtransport meet. Bij een grote toename van de stroming van vaste deeltjes in het water moet er ingegrepen worden, aangezien dit een gevolg is van de toename van de ruimingsfase van de pipe.

3.3.1.3 Waarschuwings- en alarmwaarden

Om op een juiste wijze de meetwaarden te kunnen beoordelen, moet het duidelijk zijn welke meetwaarden niet ernstig zijn en als normaal kunnen worden beschouwd. Ook moet het duidelijk zijn wanneer er extra aandacht vereist is en wanneer er ingegrepen moet worden. Bij een zandmeevoerende wel zijn er geen waarden aan verbonden, de wel is aanwezig of niet. De hoeveelheid zandtransport geeft wel verschillende mogelijkheden:

- De wel is dusdanig klein dat tijdelijke maatregelen nog niet nodig zijn.
- De wel is groot genoeg om maatregelen te nemen

De vaststelling van waarschuwings- en alarmwaarden per instrument en per groep van instrumenten worden in paragraaf 3.3.1.6 verder beschreven.

3.3.1.4 Mogelijkheden om in te grijpen

Bij zandmeevoerende wellen moet er ingegrepen worden. Het verschilt per waterschap op welke manier ingegrepen wordt. Er wordt veelal opgekist, tenzij het een dusdanig kleine wel is waarbij dat nog niet nodig is. Methodes hiervoor zijn bijvoorbeeld: gebruik van geotextiel, grof zand of door alleen de waterstand op te zetten. De wellen worden hierna geobserveerd om vast te kunnen stellen of de genomen maatregelen voldoende zijn, of dat er aanvullende maatregelen moeten worden genomen. Zodra er met maatregelen niks meer gedaan kan worden aan de wellen en uit eerdere kennis van de waterkering de veiligheid in gevaar is, kan advies tot evacuatie afgegeven worden.

3.3.1.5 Locaties van metingen

Aangezien in deze situatie de locaties van de wellen bekend zijn en de dunste deklaag achter de dijk de sloot is, moet er een instrument geplaatst worden die de sloot in de gaten houdt. De wellen worden opgemerkt door middel van een infraroodcamera. Dit zijn vaste camera's die op een paal kunnen worden bevestigd. Om te benutten wat er zich al bevindt in de omgeving kunnen de camera's bevestigd worden aan bestaande lantaarnpalen. De standaard afstand tussen de lantaarnpalen is 20 tot 25 meter. De infraroodcamera meet tot een onbeperkte afstand, maar meet wel het meest nauwkeurig tot 80 m. (security, 2021) De data wordt verzameld in een datacomputer nabij de camera's, deze geven realtime kleurenafbeeldingen van de omgeving (de sloot). Zie hoofdstuk 3.5 voor meer informatie over de dataverzameling.

Een voorbeeld van een infraroodcamera is in figuur 12 te zien. Zie figuur 14 voor de opstelling van de infraroodcamera. Naast deze locatie is er ook een andere mogelijkheid. Tijdens hoogwater worden er visuele controles uitgevoerd door mensen van het waterschap, dit is een goede kans om quads (zie figuur 13) te gebruiken waar de infraroodcamera aan is bevestigd. Op deze manier kunnen de mensen zich makkelijker verplaatsen en wordt de sloot tegelijkertijd gemonitord.

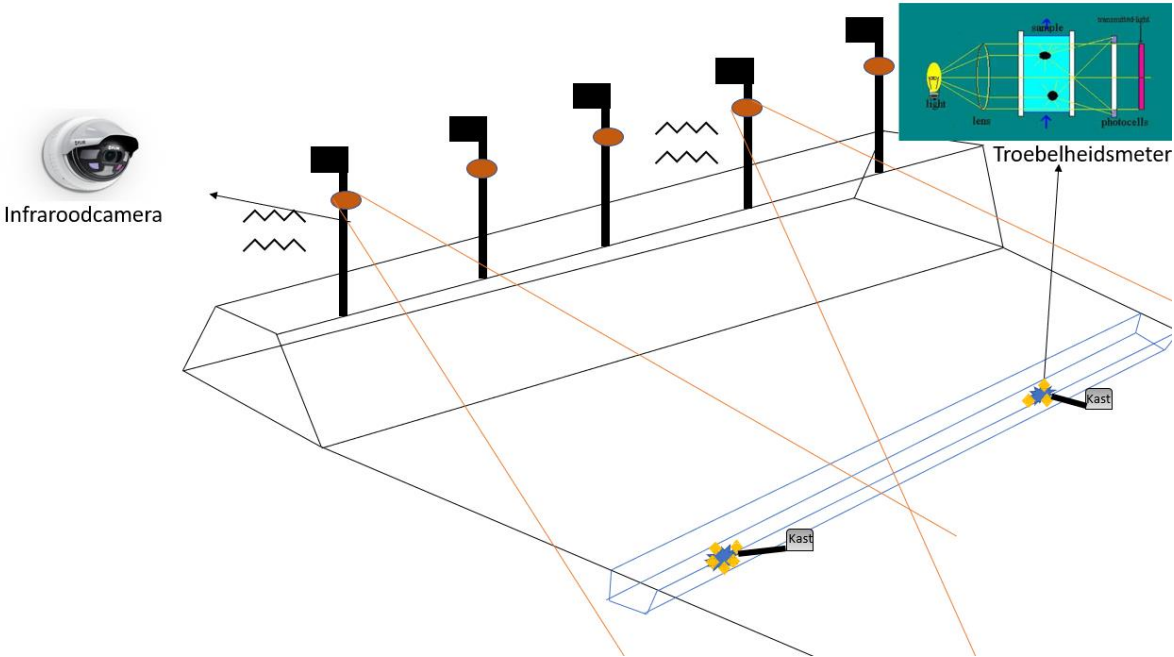


Figuur 12 FLIR Dome infraroodcamera



Figuur 13 Quads voor monitoring

Wanneer de wel is opgemerkt wordt de volgende stap genomen. Er wordt een troebelheidsmeter toegepast die meet of er zandtransport is en hoeveel dat dan is. Deze troebelheidsmeter wordt rondom de wel geplaatst en wordt door middel van een kabel naar een data computer gebracht die zich in een waterdichte doos bevindt nabij de sloot. Deze data computer is verbonden met de computers van het waterschap. Zie figuur 14 voor de opstelling van de troebelheidsmeter.



Figuur 14 Opstelling Infraroodcamera en troebelheidsmeter

3.3.1.6 Verwachtings-, waarschuwings- en alarmwaarden per instrument

Aangezien het moment van opbarsten en de precieze locatie in de sloot onbekend zijn is het van belang om een instrument te plaatsen die continu meet. Dit is de infraroodcamera, die meet continu over de hele sloot de temperatuurverschillen in het water. Het verschil in temperatuur geeft aan dat er grondwater naar boven komt en aan het mengen is met het oppervlaktewater (de sloot). Zodra deze techniek de wel heeft opgemerkt bij een temperatuurverschil van 1 tot 6 °C, wordt er vervolgens een troebelheidsmeter geplaatst op deze locatie. Deze troebelheidsmeter meet of er zandtransport is en hoeveel dat dan is. De troebelheidsmeter meet ook continu aangezien het niet bekend is wanneer het zandtransport zal gaan toenemen en er ingegrepen moet worden. Zowel de infraroodcamera en de dichtheidsmeter meten standalone. Dit betekent dat er geen manuren nodig zijn om data te verzamelen. De data wordt automatisch verzameld en er wordt gealarmeerd wanneer er sprake is van een verschil in temperatuur of in hoeveelheid zandtransport.

3.3.2 Situatie 2: dunste deklaag achter de dijk is onbekend

“Combinatie Glasvezelkabel verticaal, seismisch, troebelheidsmeter bij bestaande wellen en bij nieuwe wellen die ontstaan.”

3.3.2.1 Keuze van parameters

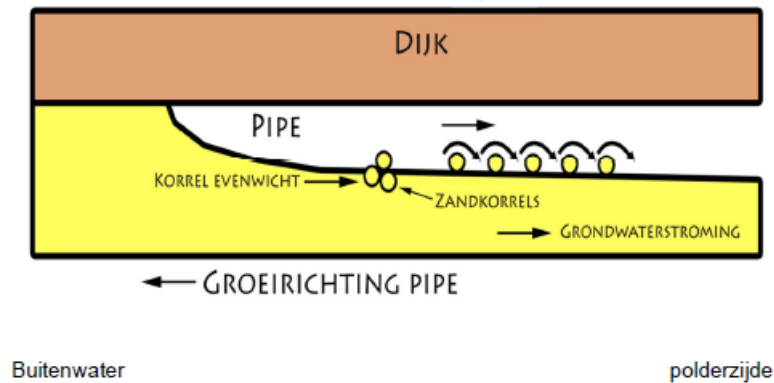
Bij deze situatie is het niet bekend waar de wel zal gaan ontstaan. Hiervoor is een ander instrument dan in situatie 1 noodzakelijk om de pipes allereerst te kunnen detecteren. Om een beter beeld van de ondergrond te krijgen en gevoelige locaties voor piping op te merken is een seismisch onderzoek aan te raden. Bij het Seismisch onderzoek worden er met behulp van geluidsgolven ondergrond gegevens verkregen. Parameters die belangrijk zijn voor het ontstaan van piping is de dichtheid van het zandpakket (betreft de doorlatendheid) op verschillende locaties en oude geulen gevuld met zand. Deze oude geulen zijn namelijk gevoelig voor piping en moeten in de gaten worden gehouden. Na deze stap wordt er gebruik gemaakt van een andere techniek namelijk verticale glasvezelkabels. Wanneer glasvezelkabels verticaal de grond ingebracht worden zal met behulp van het meten van de temperatuur de verschillen in stroomsnelheid gemeten worden. Dit is van belang aangezien door het terugschrijven van de pipe een verandering optreedt in de grondwaterstroming: de pipe is meer doorlatend dan het omringende zandpakket. Zie paragraaf 2.2 voor een uitgebreide uitleg van de verschillende fases betreft piping.

Nadat deze instrumenten toegepast zijn worden de stappen van situatie 1 weer doorlopen om het pipingproces verder te monitoren. Troebelheidsmeters worden dus geplaatst bij bestaande en nieuwe wellen.

3.3.2.2 Orde van grootte van veranderingen

Door de glasvezelkabel te verwarmen en vervolgens de afkoeling te bekijken kunnen verschillen in de stroomsnelheid opgemerkt worden. Dit is erg van belang bij het detecteren van een pipe: de pipe is namelijk meer doorlatend dan het omringende zandpakket en zal dus met een hogere stroomsnelheid water doorlaten. In fase 3 en 4 van het proces van piping ontstaat er dus een pipe. De grootte van veranderingen in dit kanaal hangt af van het korrelevenwicht van de korrels op de bodem van de pipe en de waterstroom in de grond. Deze korrels worden op hun plek gehouden door hun gewicht, echter wanneer er water door de pipe stroomt, wordt er een sleepkracht op de korrel uitgeoefend. De sleepkracht wordt bepaald door de waterstroming in de pipe, deze wordt gevoed door de waterstroom in het zandpakket zelf. Hoe doorlatender het zand, hoe makkelijker het water erdoorheen stroomt en dus hoe groter de sleepkracht op de zandkorrels. Het lijkt erop dat er ter plaatse van de zandmeevoerende wel maar één kanaaltje terug groeit richting het intrede punt. Dit is echter niet altijd het geval. Onder de dijk zijn veelal meerdere vertakkingen van dit ene hoofdkanaaltje aanwezig. De vorm waarin dit vertakt is wisselend. Het kan een boomwortel structuur zijn met hoofdvertakkingen die weer zijvertakkingen hebben, het kan ook in de vorm van een dennenboom naar achter toe groeien waarbij op het hoofdkanaal telkens verschillende kanaaltjes uitkomen.

De kanaaltjes zelf zijn zeer klein van afmetingen, gedacht moet worden aan hooguit enkele tientallen zandkorrels dik. Uitgaande van een gemiddelde zandkorrelgrootte van 0,2 mm betekent dit dat een kanaaltje met een diepte van 2 tot 10 mm al groot te noemen is. Met de tijd zullen deze aftakkingen bij elkaar komen en zich vormen tot één pipe die vervolgens opgemerkt kan worden door de glasvezelkabels. (Bruijn, 2013) Zie figuur 15 voor de vorming van de pipe door de sleepkracht.



Figuur 15 Vorming pipe door de sleepkracht

Met deze informatie kan er geconcludeerd worden dat bij een grotere stroomsnelheid er sprake is van het vormen van een pipe. Voor meer informatie over het proces van piping wordt er verwezen naar hoofdstuk 2.2.

Door het seismisch onderzoek worden oude geulen gevuld met zand gevonden dit zijn gevoelige plekken voor piping kunnen dus gemonitord worden met behulp van de instrumenten beschreven in situatie 1. Ook kan er met dit onderzoek de dichtheid van het zandpakket gezien worden en dus de doorlatendheid bij verschillende locaties. Een verschil in doorlatendheid dan het omringende zandpakket geeft ook aan dat dit een gevoelige plek is voor piping of eventueel al een pipe is.

3.3.2.3 Waarschuwings- en alarmwaarden

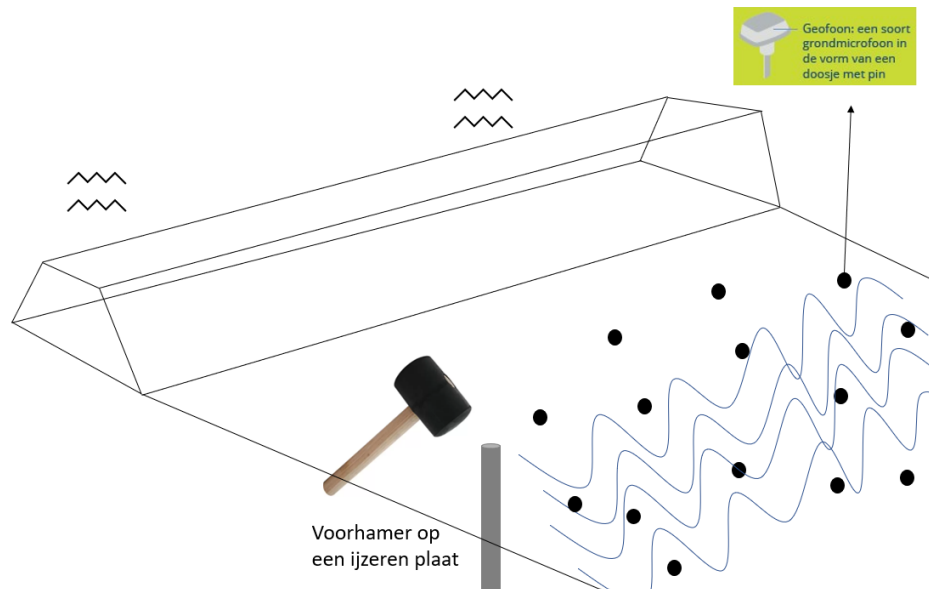
Om op een juiste wijze de meetwaarden te kunnen beoordelen, moet het duidelijk zijn welke meetwaarden niet ernstig zijn en als normaal kunnen worden beschouwd. Ook moet het duidelijk zijn wanneer er extra aandacht vereist is en wanneer er ingegrepen moet worden. Bij de hiervoor besproken instrumenten (glasvezelkabel en seismisch onderzoek) wordt er gewaarschuwd wanneer de stroomsnelheid en de doorlatendheid hoger zijn, dit geeft aan dat de locatie gevoelig is voor piping en moet worden gemonitord met de in situatie 1 benoemde instrumenten (infraroodcamera en troebelheidsmeter).

3.3.2.4 Mogelijkheden om in te grijpen

De twee instrumenten die gebruikt worden in deze situatie zijn van belang voor het detecteren van de locatie van de pipes. Hiervoor wordt er dus ingegrepen door de gevonden locaties verder te monitoren met de in situatie 1 beschreven instrumenten.

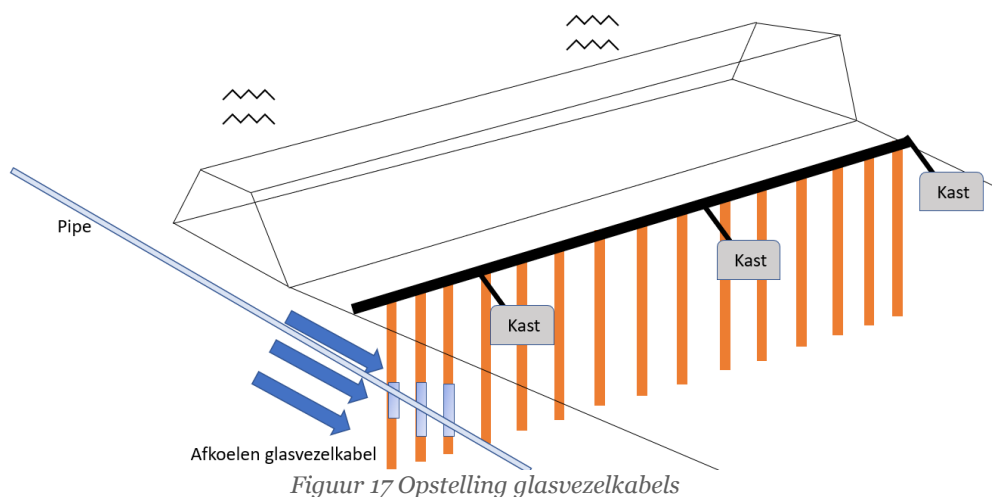
3.3.2.5 Locaties van metingen

Bij het seismisch onderzoek wordt nabij de dijk een ijzeren plaat in de grond geplaatst. Verder worden er gefoons in het achterland geplaatst op willekeurige locaties en afstanden. Daarna worden er geluidsgolven gecreëerd door een voorhamer op de ijzeren plaat te laten vallen en zal door middel van de geluidsgolven de benodigde gegevens worden verkregen zoals de oude geulen gevuld met zand en de doorlatendheid van het zandpakket. De data wordt automatisch verzameld en naar een datacenter gestuurd om grafieken en afbeeldingen te creëren, voor meer informatie hierover wordt er doorverwezen naar hoofdstuk 3.5. In figuur 16 wordt het seismisch onderzoek visueel getoond.



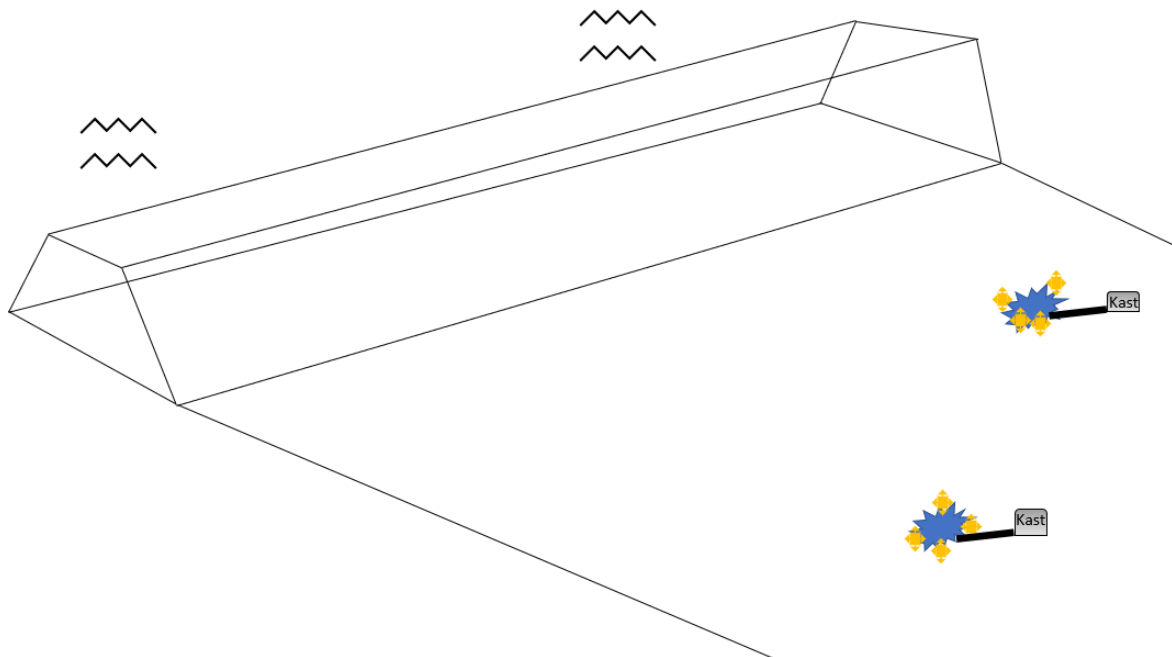
Figuur 16 Opstelling Seismisch onderzoek

De verticale glasvezelkabels worden om de meter in de grond gebracht nabij de binnentee van de dijk. Bij opgemerkte oude geulen of pipingsgevoelige lagen worden extra glasvezelkabels aangebracht (een hogere dichtheid), zodat nog nauwkeuriger gemonitord kan worden. Deze gaan tot een diepte van 2 meter onder het kleipakket en meten de stroomsnelheid in de grond. Aangezien piping op het grensvlak van klei (dijk) en zand (ondergrond) ontstaat en door het meevoeren van zand holle ruimten ontstaan op deze locatie, is het van belang om net onder het kleipakket de stroomsnelheid te kunnen meten. (Vree, sd) Zie figuur 17 voor de opstelling van de glasvezelkabels. Voor meer informatie over de dataverzameling wordt er verwezen naar hoofdstuk 3.5.



Figuur 17 Opstelling glasvezelkabels

Wanneer er op de pipingsgevoelige locaties die uit het seismisch onderzoek zijn gekomen wellen ontstaan, worden er troebelheidsmeters geplaatst rondom de wel. De werking van de troebelheidsmeter is verder uitgelegd in hoofdstuk 3.3.1.5. Zie figuur 18 voor een opstelling van de troebelheidsmeter.



Figuur 18 opstelling troebelheidsmeter situatie 2

3.3.2.6 Verwachtings-, waarschuwings- en alarmwaarden per instrument

Door het seismisch onderzoek te verrichten zijn de gevoelige plekken voor piping bekend. Hierbij zijn dus ook de extra glasvezelkabels geplaatst. De glasvezelkabel meet continu de stroomsnelheid in het zandpakket aangezien het niet bekend is wanneer een pipe zich zal ontwikkelen in het gebied. Wanneer de glasvezelkabel opmerkt dat de stroomsnelheid toeneemt ten opzichte van de stroomsnelheid in de andere glasvezelkabels zal er verder gezocht moeten worden naar de locatie van opbarsten van de pipe. Dit kan door het vergelijken van de stroomsnelheid nabij de gevoelige plekken die hiervoor al zijn gevonden. Wanneer op deze locaties wellen opgemerkt worden zal er met behulp van troebelheidsmeters verder gemonitord moeten worden. Deze meten het zandtransport zoals beschreven in situatie 1. Wanneer er toename van zandtransport opgemerkt wordt moeten er maatregelen worden genomen, deze staan beschreven in paragraaf 3.3.1.6.

3.4 Eisen vaststellen aan de instrumenten

3.4.1 Functionele eisen instrumenten

De functionele eisen worden vastgesteld voor de verschillende technieken beschreven in het voorgaande hoofdstuk bij zowel situatie 1 als 2. Hierbij wordt gekeken naar de volgende criteria: de meetfrequentie, nauwkeurigheid, resolutie, reikwijdte, robuustheid, aanlooptijd, informatieverwerkingstijd en interpreteerbaarheid. De beschreven technieken scoren individueel niet hoog op alle criteria. Door een combinatie te maken van deze technieken vullen ze elkaar aan en geven ze een beter resultaat en dus een betrouwbaar monitoringsplan. Zie het vooronderzoek in bijlage 3 voor de multicriteria analyse. Hieronder worden er per instrument de eisen vastgesteld.

3.4.1.1 Seismisch onderzoek

Uitgaande van situatie 2 is het nog niet bekend op welke locaties wellen zullen ontstaan. Hierbij wordt allereerst een seismisch onderzoek verricht waarbij oude geulen en gevoelige plekken voor piping kunnen worden gedetecteerd. Dit is een gebiedsdekkende techniek en daardoor ook minder nauwkeurig. Ook is dit een eenmalig onderzoek wat in het begin verricht wordt om een beeld te krijgen van de ondergrond.

- Het onderzoek mag geen overlast geven aan de omgeving (woningen, natuur), dus er moet gebruik worden gemaakt van een ijzeren plaat met een voorhamer in plaatst van een seismische lading
- Het onderzoek wordt langs het gehele traject verricht.
- De ijzeren platen worden om de 60 meter geplaatst. (SCAN, 2019)
- De techniek wordt eenmalig verricht om een beeld te krijgen van de ondergrond en dus aan de hand hiervan de glasvezelkabels te plaatsen.

3.4.1.2 Verticale glasvezelkabels

De volgende techniek die wordt toegepast zijn de verticale glasvezelkabels. Deze meten de temperatuur van de ondergrond, door de kabel te verwarmen en vervolgens af te laten koelen kan er opgemerkt worden waar de stroomsnelheid hoger is en dus een pipe gedetecteerd wordt. Deze techniek meet continu, de data wordt verzameld in een datacomputer die automatisch bij een snellere afkoeling van de kabel en dus een hogere stroomsnelheid een signaal afgeeft.

- De techniek moet continu blijven meten.
- De beheerder wordt gewaarschuwd bij een verschil in stroomsnelheid van 0,1 m/s ten opzichte van omliggende kabels. Na de waarschuwing worden er met behulp van thermogrammen getoond hoe de snelheid van de kabel is toegenomen in de tijd in vergelijking met de omliggende kabels.
- De data moet automatisch worden verwerkt zodat de beheerder gelijk kan ingrijpen zo nodig.
- De datacomputer moet buiten de 4 meter onderhoudszone van de dijk staan.
- De kabels mogen niet zichtbaar zijn om beschadiging te voorkomen door dieren of mensen, dus er moeten sleuven gegraven worden om de kabels in te graven.
- Datacomputer kast moet om de 50 meter geplaatst worden.
- Om de meter wordt er een glasvezelkabel in de grond aangebracht langs de dijkteen. Dit is buiten de 4 meter onderhoudszone tenzij het punt met de dunste deklaag (de sloot) zich binnen deze 4 meter bevindt.
- De glasvezelkabels mogen niet uit de grond steken, deze moeten dus ook verdiept ingebracht worden.

3.4.1.3 Troebelheidsmeter

Bij de opgemerkte wellen wordt er een troebelheidsmeter geplaatst, deze meet of er sprake is van zandtransport en de hoeveelheid hiervan. Deze meet continu om te zien hoe snel de wel zich ontwikkelt en wanneer er ingegrepen moet worden. Zanddeeltjes in het water worden opgemerkt door verstrooiing van licht. Met behulp van een optisch systeem wordt het zichtbare licht afkomstig van een lamp omgezet in een parallelle lichtbundel en kan de verstrooiing van het licht gemeten worden. De meetunit berekent de verhouding tussen verstrooid licht en doorgelaten licht en geeft de data automatisch door aan een computer alarmcentrale die bij een bepaalde waarde signaal afgeeft om maatregelen te nemen.

- De troebelheidsmeter zelf wordt geplaatst rondom de wel en de computer wordt nabij de sloot in een waterdichte doos geplaatst.
- De troebelheidsmeter moet waterdicht zijn.
- Het instrument moet robuust genoeg zijn om beschadiging te voorkomen door dieren, weersomstandigheden en mensen.
- De techniek moet continu blijven meten.
- De beheerder wordt gewaarschuwd wanneer de techniek de alarmwaarde heeft bereikt.
- De data moet automatisch worden verwerkt zodat de beheerder gelijk kan ingrijpen zo nodig.

3.4.1.4 Infraroodcamera

De infraroodcamera meet het temperatuurverschil in het water (sloot), dit wordt continu gemeten aangezien er veel variatie verwacht wordt bij deze parameter. Er kan op elk moment een verandering plaatsvinden in de temperatuur van het water en bij een bepaalde temperatuur wordt er een signaal afgegeven (meer informatie hierover is te vinden bij paragraaf 3.3.1.2). De meetnauwkeurigheid voor het detecteren van serieuze wellen bedraagt 0,1 graad of beter. (Bersan, 2015)

- De camera's worden geplaatst op bestaande lantaarnpalen op de dijk of in de omgeving.
- Bij het plaatsen van de camera's op de lantaarnpalen moet er geen verkeersoverlast veroorzaakt worden.
- De camera's moeten robuust genoeg zijn zodat deze niet beschadigd kunnen worden door dieren, weersomstandigheden en mensen.
- Afstand van de camera naar de benodigde locatie moet binnen 80 meter zijn om de juiste meetnauwkeurigheid te kunnen leveren.
- De techniek moet continu blijven meten.
- De beheerder wordt gewaarschuwd wanneer de techniek de alarmwaarde heeft bereikt.
- De data moet automatisch worden verwerkt zodat de beheerder gelijk kan ingrijpen zo nodig.
- De datacomputer moet buiten de 4 meter onderhoudszone van de dijk staan.

3.4.2 Procedures instrumenten

Voor de technieken die continu aan het meten zijn moet er een periodieke controle plaatsvinden om de betrouwbaarheid van de techniek te behouden. Dit zijn de technieken glasvezelkabels, troebelheidsmeter en infraroodcamera. Bij het seismisch onderzoek is de meetfrequentie zo laag dat er per meting bekeken kan worden of de resultaten betrouwbaar zijn.

Bij de infraroodcamera worden er ijsklonten in de sloot geplaatst die voor een hoog temperatuurverschil zorgen. Zo kan de alarmwaarde/signaalwaarde van deze techniek gecontroleerd worden. Door zand in de sloot te plaatsen bij de locaties van de troebelheidsmeters kunnen deze getest worden op het goed functioneren van de alarmwaarde/signaalwaarde. Voor de glasvezelkabels kan er water de grond in worden geïnjecteerd. Dit geeft een andere stroomsnelheid en kan dus gebruikt worden om de techniek te controleren.

3.4.3 Kalibratie en onderhoud

Zoals hiervoor beschreven is regelmatige kalibratie en onderhoud van groot belang om de betrouwbaarheid van het systeem te verhogen en behouden. De frequentie waarmee dit moet gebeuren verschilt per instrument en de omstandigheden waaronder deze worden ingezet. Bij de glasvezelmetingen, infraroodcamera en de troebelheidsmetingen kan uitval van het systeem voor afwijkend functioneren zorgen. Wanneer dit het geval is, kan kalibratie een uitweg bieden, zo niet is vervanging noodzakelijk om de metingen gecontinueerd te laten lopen. Dit kan een goed moment zijn om het monitoringsplan te herzien waarbij gekeken wordt of vervanging zinvol is, of dat er op die locatie de oorspronkelijke doelen al zijn behaald en dus vervanging niet nodig zal zijn. Bij alle technieken wordt er enkel bij het hoogwaterseizoen onderhoud gedaan en gekeken of de techniek nog naar behoren functioneert. Bij extra hoogwater periodes (duidelijke golven) wordt er ook voor gekozen de techniek nog eens te controleren op betrouwbaarheid van de informatie.

3.4.4 Installeren en uitvoeren van de instrumenten

Het installeren van de instrumenten neemt wat tijd in beslag. Hierbij wordt niet alleen gedacht aan de benodigde tijd om de instrumenten zelf aan te brengen, maar ook de benodigde vergunningen, toestemmingen van landeigenaren, KLIC-meldingen en de tijd van het jaar (zoals het 'gesloten seizoen' waarbinnen er geen vermijdbare activiteiten plaats mogen vinden op en rond primaire waterkeringen).

De volgende aandachtspunten zijn van belang bij het installeren/uitvoeren van de meettechnieken:

- De installatiediepte moet bepaald en gecontroleerd worden. Dit zal bij de glasvezelkabels van belang zijn aangezien deze verticaal de grond in worden gebracht en ze tot voorbij de deklaag in het zandpakket moeten worden geplaatst.
- Een zorgvuldige administratie in het veld van welk instrument waar is geplaatst is essentieel.

De ruimte in de planning en in budgetten is van algemene invloed op de kwaliteit van de metingen. Dit geldt vooral bij de installatie van de instrumenten. Een goede planning en supervisie van de uitvoering door een externe partij kunnen hierbij veel problemen voorkomen.

3.5 Dataverzameling

In dit hoofdstuk wordt er verder ingegaan op de dataverzameling bij de verschillende meettechnieken.

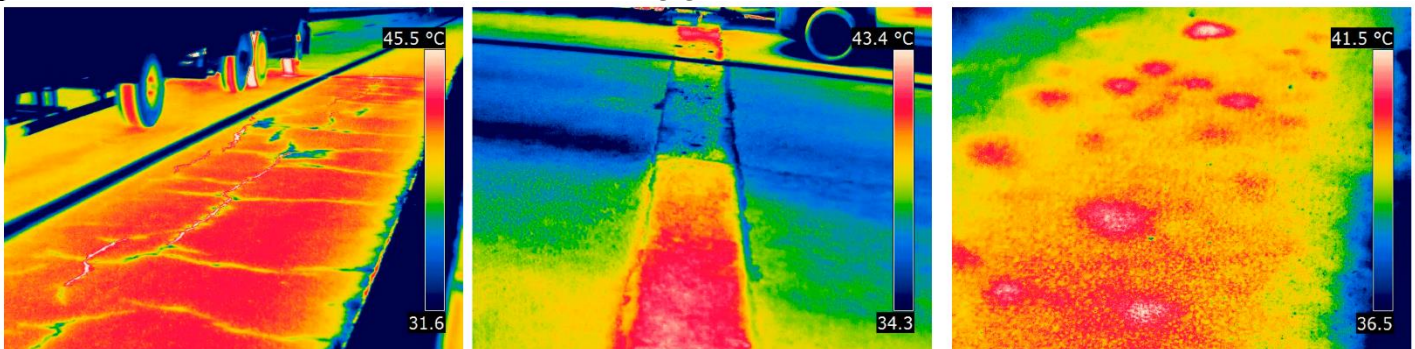
3.5.1 Verzameling en verwerking van meetgegevens

Bij de langdurige en hoogfrequentiemetingen gelden er een aantal algemene eisen. Dit zijn de technieken infraroodcamera, glasvezelkabels en troebelheidsmeters. Hierbij geldt het volgende:

- Bij een 1/5 jaar waterstand die wordt overschreden moeten de technieken ingeschakeld worden.
- Wanneer geen hoogwater meer verwacht wordt voor een langere periode worden de technieken weer uitgeschakeld
- Zonnepanelen worden toegepast waar het kan, bijvoorbeeld boven op de infraroodcamera's en de datacomputer kasten.

3.5.1.1 Infraroodcamera

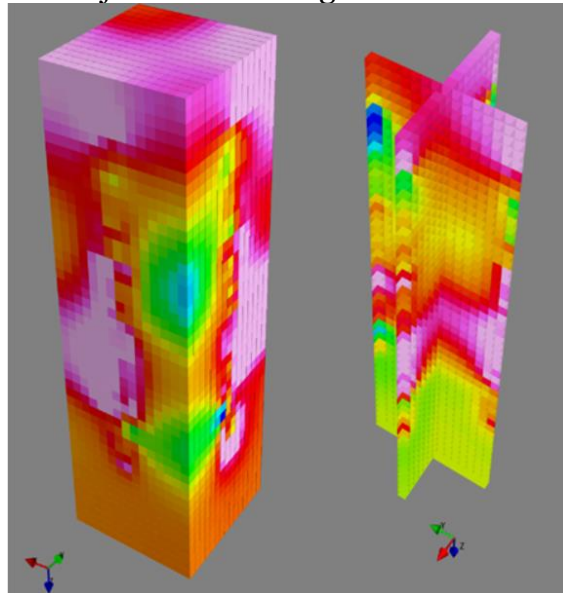
Bij de verzameling van data wordt verstaan het verzamelen van de data in de infraroodcamera's, het doorgeven van de data via kabels en het opslaan van de data in een datacomputer nabij de camera's. De verwerking van de data wordt bij de verzameling al uitgevoerd. Hierbij worden dus al de meetsignalen van de camera omgezet naar de relevante parameter namelijk temperatuur. De camera registreert de straling rondom objecten (de sloot) en zet dit om in een elektrisch signaal. Deze signalen worden allemaal in een bepaalde kleur getoond op het display van de datacomputer. Deze map met kleuren wordt ook wel genoemd als thermogram. Hierbij hebben hogere temperaturen een lichtere kleur en lage temperaturen een donkere. Een temperatuurschaal wordt toegevoegd aan de map om de kleuren goed te kunnen definiëren. (P4E.nl, 2021) Zie de figuur hieronder voor een voorbeeld van een thermogram. Voor meer informatie over het belang van het meten van de parameters wordt er verwezen naar hoofdstuk 3.3.1.1.



Figuur 19 Voorbeeld thermogram

3.5.1.2 Glasvezelkabels

De data uit de metingen in de glasvezelkabels worden doorgegeven met behulp van kabels naar de datacomputer die zich nabij de glasvezelkabels bevindt. De dataverwerking komt vrijwel overeen met de infraroodcamera. Hierbij worden er dus elektrische signalen (omgezet naar temperatuur) getoond in een bepaalde kleur en komt er dus een soort thermogram uit te rollen. Deze meet continu om te zien hoe snel bepaalde delen van de glasvezelkabel afkoelen nadat ze verwarmd zijn. Hoe sneller dit proces gaat, hoe hoger de stroomsnelheid en dus het ontstaan van een mogelijke pipe. Zie de figuur hieronder voor een beeld bij zo een thermogram.

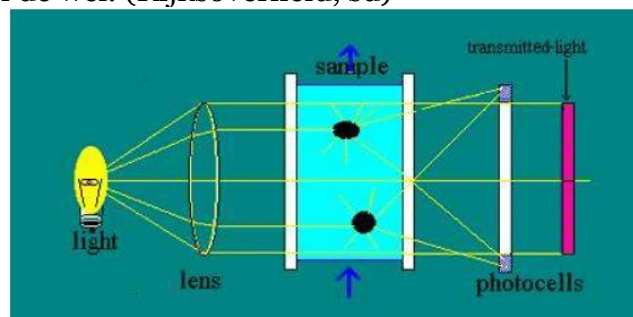


Figuur 20 thermogram glasvezelkabels (Immers, sd)

De beheerder wordt gewaarschuwd bij een verschil in stroomsnelheid van 0,1 m/s ten opzichte van omliggende kabels. Na de waarschuwing worden er met behulp van de thermogrammen getoond hoe de snelheid van de kabel is toegenomen in de tijd in vergelijking met de omliggende kabels.

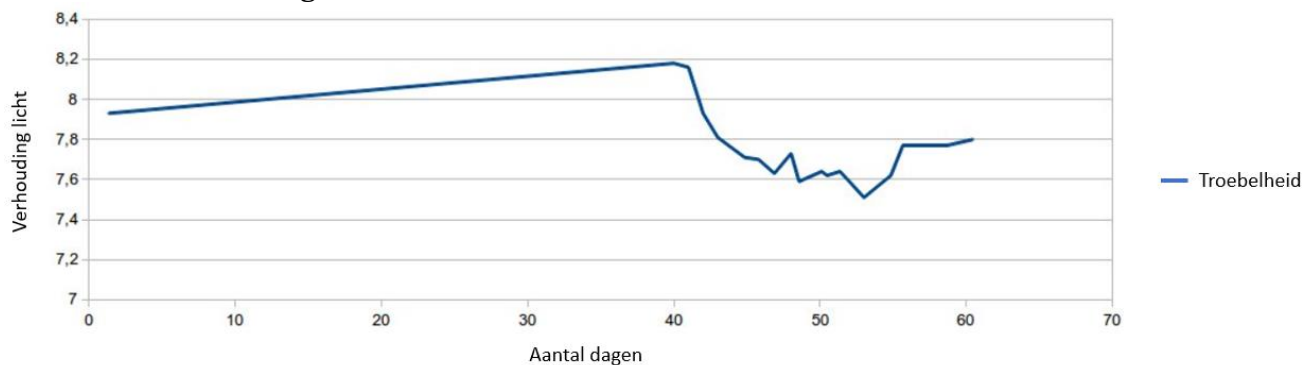
3.5.1.3 Troebelheidsmeters

De troebelheidsmeters meten met behulp van licht de aanwezigheid van zanddeeltjes rondom de wel. Het zichtbare licht, afkomstig van een lamp wordt omgezet in een parallelle lichtbundel. Het licht zal gaan verstrooien wanneer er zich zanddeeltjes in het water bevinden. Hoe meer licht er verstrooid wordt, hoe meer zanddeeltjes in het water. Deze meetopstelling berekent automatisch de verhouding tussen verstrooid licht en doorgelaten licht en geeft dit resultaat via kabels door aan de datacomputer die zich nabij de sloot en/of wel bevindt. Zie figuur 21 voor de opstelling van de troebelheidsmeters rondom de wel. (Rijksoverheid, sd)



Figuur 21 Opstelling troebelheidsmeter

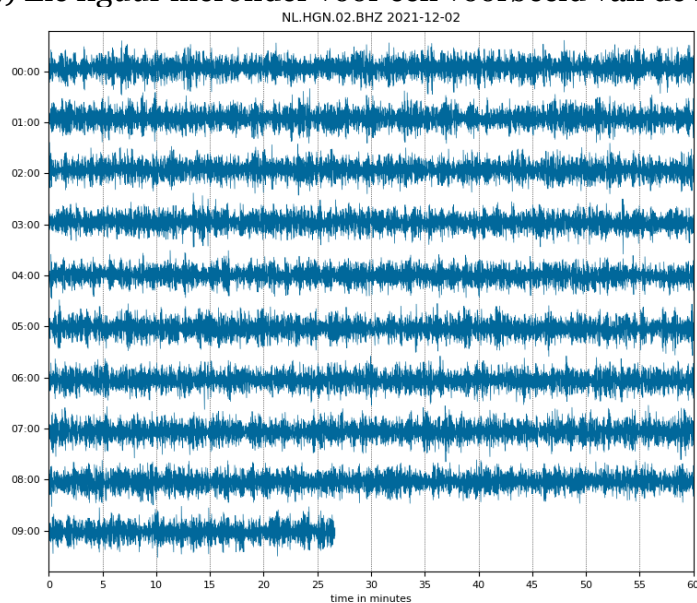
De weergave van de data wordt gedaan door middel van grafieken in tijd (dagen) en verhouding van zanddeeltjes en water. Aan de hand hiervan ontstaat er een lijn die de troebelheid van het water weergeeft en dus de toename van zanddeeltjes in het water. Zie de figuur hieronder voor een voorbeeld van zo een grafiek.



Figuur 22 voorbeeld grafiek troebelheidsmeter

3.5.1.4 Seismisch onderzoek

Zoals eerder beschreven worden bij het seismisch onderzoek geluidsgolven de grond ingestuurd om de ondergrond in beeld te krijgen. Nadat de geluidsregistraties worden opgenomen door de geofoons in het veld, wordt de ruwe data meegenomen naar het datacenter. De grote hoeveelheid aan digitale gegevens (geluidsregistraties) worden gefilterd, gecorrigeerd en gesommeerd om uiteindelijk seismogrammen te kunnen maken. Seismogrammen zijn kaarten die de structuur van de ondergrond weergeven. Om iets te kunnen zeggen over de pipingsgevoelige locaties moeten de seismogrammen eerst worden geïnterpreteerd door experts. Geologen gespecialiseerd in seismische interpretatie maken hiermee ondergrondse afbeeldingen die de data helder maken voor de beheerders. (SCAN, 2019) Zie figuur hieronder voor een voorbeeld van de seismogrammen.



Figuur 23 seismogrammen voorbeeld

3.5.2 Verantwoordelijkheden en acties

De verantwoordelijkheden en bijbehorende acties voor de verschillende onderdelen kunnen het beste worden neergelegd bij het waterschap en dus de beheerder. Onder verantwoordelijkheden en acties kan worden verstaan het plaatsen/installeren van de meettechnieken, vergunningen aanvragen, onderhoud en kalibratie. Maatregelen nemen en ingrijpen bij het ontvangen van alarmwaarden zijn ook een van de acties die ondernomen moeten worden door de beheerder. Voor het ontvangen van alarmwaarden moeten er ook acties ondernomen worden zoals het maken van een app die deze waarschuwingen afgeeft ten allen tijden.

4. Monitoringsplan casus dijk

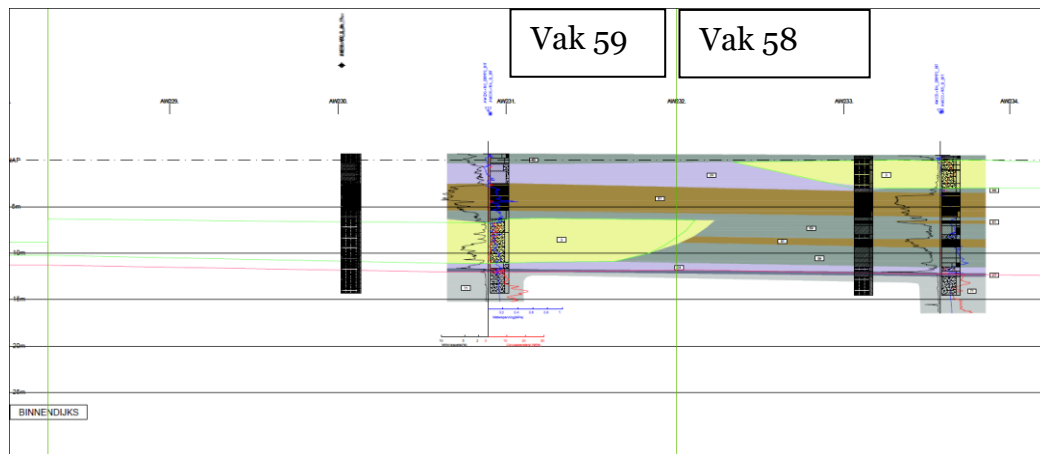
In dit hoofdstuk wordt het generieke monitoringsplan getoetst op twee dijkvakken van het project SAFE. Er worden specifieke eisen gesteld voor het betreffende dijkvak. Uiteindelijk wordt er een kosten-batenanalyse uitgevoerd om de haalbaarheid van het plan te toetsen.

4.1 Gegevens dijkvakken SAFE

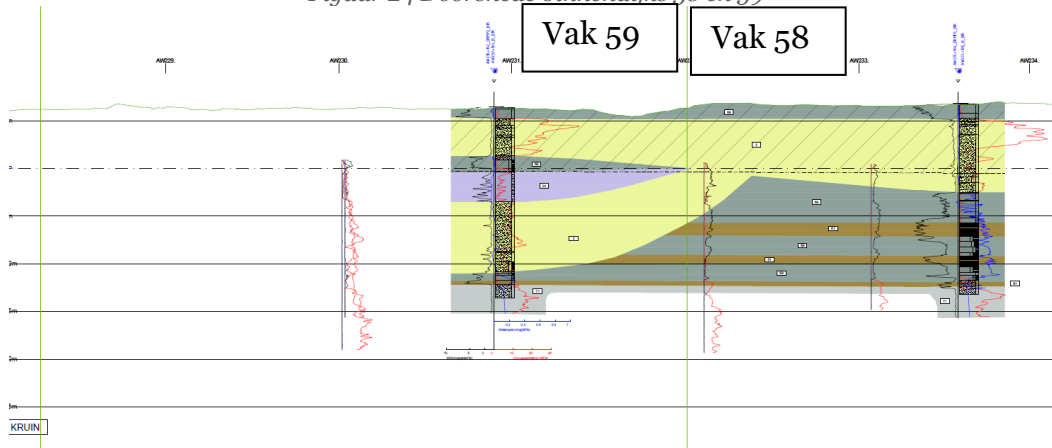
Alle gegevens over de dijkvakken zijn verkregen uit het Rapport betreft de verkenning van de dijkversterking SAFE. (Jos van Zuylen, 2020)

Dijkvakken 58 en 59 (Langerak) zijn uitgekozen voor deze casus met een totale lengte van 620 meter. De waterkering in dit vak (Langerak) is een schaarndijk. Het intredepunt ligt aan de buitenteen van de dijk op de waterlijn bij maatgevende omstandigheden. In het vak is veel grondonderzoek aanwezig. Over de gehele dijkzone zijn tussenzandlagen aanwezig waarbij de dikte erg varieert (tussen de 1,5 en 5,5 m dik).

Hieronder zijn twee langsdoorsneden weergegeven van de ondergrond binnendijs en bij de kruin van de dijk voor dijkvakken 58 en 59.



Figuur 24 Doorsnede binnendijs 58 en 59



Figuur 25 Doorsnede kruin 58 en 59

Voor dijkvak 58 is ervan uitgegaan dat in de pleistocene zandlaag piping zal gaan optreden (op NAP -12 m), aangezien de tussenzandlaag niet volledig doorloopt. De technieken worden dus in de pleistocene laag geplaatst. Voor dijkvak 59 is er een tussenzandlaag aanwezig (van NAP -7 tot -11 m) waarbij de technieken dus in deze laag geplaatst worden.

4.2 Monitoringssysteem

Bij deze casus wordt ervoor gekozen het generieke monitoringsplan voor situatie 1 toe te passen. Deze is in hoofdstuk 3.3.1 verder toegelicht. Hierbij wordt er een combinatie voorgesteld van de infraroodcamera's en de troebelheidsmeters. Bij deze casus zijn er sloten aanwezig in de omgeving en is de locatie bebouwd (weinig ruimte voor meettechnieken) waardoor de keuze voor deze meetinstrumenten het beste passen. In dit hoofdstuk wordt er verder gekeken naar de exacte locaties van de metingen, toegevoegde eisen aan de instrumenten en de verantwoordelijkheden en acties die meespelen bij het monitoringsplan.

4.2.1 Locaties van metingen

De dunste deklaag achter de dijk bevindt zich in de sloot. Op deze locatie zullen wellen ontstaan bij hoogwater. Het is van belang om de sloten dus continu te monitoren. Dit wordt gedaan door middel van infraroodcamera's die het temperatuurverschil meten van oppervlaktewater en grondwater. Om te benutten wat er zich al bevindt in de omgeving kunnen de camera's bevestigd worden aan bestaande lantaarnpalen. De standaard afstand tussen de lantaarnpalen is 20 tot 25 meter. De infraroodcamera meet tot een onbeperkte afstand, maar meet wel het meest nauwkeurig tot 80 m. (security, 2021) Er is voor gekozen om de camera's om de 75 meter te plaatsen, dit is om de meetnauwkeurigheid te behouden en te besparen op kosten aangezien er niet op elke lantaarnpaal een infraroodcamera moet worden bevestigd. Ook is ervoor gezorgd dat de infraroodcamera niet door de bebouwing wordt gehinderd en er ten allen tijden een helder beeld is van de sloten.



Figuur 26 Locatie metingen Langerak

In de figuur hierboven (figuur 26) worden de locaties van de instrumenten weergegeven. Wanneer er door de infraroodcamera's wellen worden opgemerkt in de sloten, zal er een troebelheidsmeter geplaatst worden op deze locaties. Deze wordt rondom de wel geplaatst en zal met behulp van licht de zanddeeltjes in het water meten. Voor verdere toelichting over de technieken en de dataverzameling wordt er verwezen naar hoofdstukken 3.3.1 en 3.5.

De groene en gele stippen langs de dijk geven de beoordeling bij het project SAFE aan. Groene stippen zijn goedgekeurde uittredepunten en zijn dus niet gevoelig voor piping. De gele stippen daarentegen geven aan dat de locaties pipinggevoelig zijn en dus in de gaten moeten worden gehouden. De beoordeling is gedaan op basis van deklaagdiktes. Hoe dunner de deklaag, hoe gevoeliger de locatie is voor piping. De doorgerekende uittredepunten bevinden zich op 0, 10, 20, 30 en 40 meter vanaf de binnentoe van de kering. Soms is er een extra punt doorgerekend. Dit is waar het maaiveld het laagste is.

Andere opties voor het plaatsen van de infraroodcamera's zijn het bevestigen aan drones en het bevestigen aan quads (dijkwachters kunnen hier ook gebruik van maken voor transport over de lengte van de dijk). Voor deze casus is ervoor gekozen de infraroodcamera's aan de lantaarnpalen op de dijk te bevestigen, aangezien deze een goed beeld hebben op de sloten en het minst de omgeving hinderen. In de kostenvergelijking is deze optie ook verder uitgewerkt.



Figuur 27 Drone met infraroodcamera



Figuur 28 Quads voor monitoring

4.2.2 Eisen vaststellen aan de instrumenten

Los van de eisen die zijn vastgesteld in hoofdstuk 3.4.1 zijn er wat specifiekere eisen voor de casus toegevoegd in dit hoofdstuk. Deze zijn hieronder benoemd:

- De troebelheidsmeters worden geplaatst wanneer de infraroodcamera's een wel hebben opgemerkt. Zie hoofdstuk 3.3.1 voor meer informatie.
- De camera's worden geplaatst op bestaande lantaarnpalen op de dijk
- De camera's worden om de 75 meter geplaatst (om de twee lantaarnpalen)

4.2.3 Verantwoordelijkheden en acties

De verantwoordelijkheden en bijbehorende acties voor de verschillende onderdelen binnen SAFE kunnen het beste worden neergelegd bij het waterschaprivierenland en dus de beheerder. Onder verantwoordelijkheden en acties kan worden verstaan het plaatsen/installeren van de meettechnieken, vergunningen aanvragen, onderhoud en kalibratie. Maatregelen nemen en ingrijpen bij het ontvangen van alarmwaarden zijn ook een van de acties die ondernomen moeten worden door de beheerder. Voor het ontvangen van alarmwaarden moeten er ook acties ondernomen worden zoals het maken van een app die deze waarschuwingen afgeeft ten allen tijden.

4.3 Kostenvergelijking

Bij het berekenen van dijkdelen op piping worden er in eerste instantie altijd conservatieve waarden gebruikt. Het project SAFE heeft bijvoorbeeld parametersets/waarden vanuit andere trajecten gebruikt voor de berekeningen. Zoals in hoofdstuk 2 te zien is piping een erg lokaal proces, dit betekent dat de ondergrondgegevens bij de berekeningen erg gevoelig zijn. Om de onzekerheid van de ondergrondgegevens en dus ook de verschillen in grondwaarden in acht te nemen worden er conservatieve waarden gebruikt. Er zijn twee opties benoemd in dit hoofdstuk om de onzekerheid van de ondergrondgegevens te verminderen wat in het algemeen leidt tot minder conservatieve invoerwaarden en daarmee tot een gunstigere uitkomst.

De eerste optie is het toepassen van het eerder beschreven monitoringsplan in hoofdstuk 4.2. Hierbij wordt er met behulp van monitoringstechnieken (infraroodcamera's en troebelheidsmeters) een dijkdeel gemonitord op piping. Dit zorgt ervoor dat de dijk ten tijde van hoogwater in de gaten wordt gehouden en de locaties van het optreden van piping gevonden kunnen worden om tijdig in te kunnen grijpen. Het toepassen van dit monitoringsplan geeft niet alleen meer inzicht van de ondergrond en lokale waarden maar ook draagt het bij aan de waterveiligheid van Nederland door actueel te blijven monitoren bij hoogwater en dus overstromingen te kunnen voorkomen.

Een andere optie is het optimaliseren van de pipingberekeningen door middel van extra grond- en labonderzoek. Hierbij wordt bij de niet-urgente dijkdelen lokaal grond- en labonderzoek verricht. Vervolgens worden de pipingberekeningen nogmaals uitgevoerd met de extra lokale ondergrondgegevens die zijn verkregen. Deze gegevens zijn minder conservatieve waarden die zorgen voor minder onzekerheid van de ondergrond en die meestal leiden tot een gunstigere uitkomst.

Om de betrouwbaarheid en haalbaarheid van het monitoringssysteem te toetsen wordt er in dit hoofdstuk een kostenvergelijking gemaakt. De vergelijking wordt gedaan tussen het toepassen van het eerder beschreven monitoringsplan in hoofdstuk 4.2 en het optimaliseren van de pipingberekeningen door middel van extra grond- en labonderzoek. Dit zijn beide plannen met een levensduur van 50 jaar.

4.3.1 Kosten monitoringssysteem

Kengetallen en hoeveelheden zijn bepaald en besproken samen met collega's van Sweco en werknemers van het bedrijf warmtebeeldcamera. (security, 2021)

Tabel 2 Kosten monitoringssysteem

Monitoringssysteem SAFE			
Omschrijving	Prijs per eenheid	Aantal	Bedrag
Monitoringsplan schrijven (strategie, systeem, eisen en ontwerp), uitbesteden aan ingenieursbureau	€ 71.660,00	1	€ 71.660,00
Vaste infraroodcamera FLIR Dome en datacomputer	€ 4.870,00	8	€ 38.960,00
Plaatsten infraroodcamera's (met kabels voor dataverplaatsing) (manuren €40 per uur voor 2 dagen)	€ 1.280,00	1	€ 1.280,00
Troebelheidsmeter en uitvoeringskosten	€ 100,00	5	€ 500,00
datacomputer voor troebelheidsmeter	€ 2.000,00	5	€ 10.000,00
Instandhoudingskosten infraroodcamera en troebelheidsmeter	€ 230,00	13	€ 2.990,00
Totaal			€ 125.390,00

4.3.2 Kosten grond- en labonderzoek

De kengetallen en hoeveelheden zijn besproken en bepaald met collega's van Sweco en Patrick van Tol (docent grondmechanica aan de Haagse hogeschool).

Tabel 3 Kosten grond- en labonderzoek

Extra grond- en labonderzoek			
Omschrijving	Prijs per eenheid	Aantal	Bedrag
Elektrisch onderzoek (geleidingsonderzoek)	€ 50,00	124	€ 6.200,00
Pulsboringen (Incl. €75 per meter diepte en afdichten met bentoniet €10 per meter)	€ 1.455,00	6	€ 8.730,00
labonderzoek watervolumegewicht	€ 25,00	2	€ 50,00
Labonderzoek D70 verdichtingsgraad	€ 100,00	2	€ 200,00
Labonderzoek korrelverdeling zeefproef	€ 100,00	2	€ 200,00
Sondering met conusweerstand en waterspanning (conus laten staan €63 per keer) (afdichten met bentoniet €10 per meter)	€ 578,00	4	€ 2.312,00
HPT sondering bij gevoelige locaties	€ 450,00	1	€ 450,00
Pompproef bij gevoelige locaties	€ 25.000,00	1	€ 25.000,00
Ingenieursbureau (analyse proeven verzameling, techniek berekeningen, pipingtool, coördinatie team)	€ 116.220,00	1	€ 116.220,00
			Totaal € 159.362,00

De kosten van de sonderingen zijn inclusief opstart- en administratiekosten, uitvoeren van KLIC-melding, toegang regelen (aanmelden, werkvergunning), tekening (boorplan) aanpassen, locatieverkenning, overleg projectleider, fotorapportage en aan en afvoerkosten sondeerploeg en wagen.

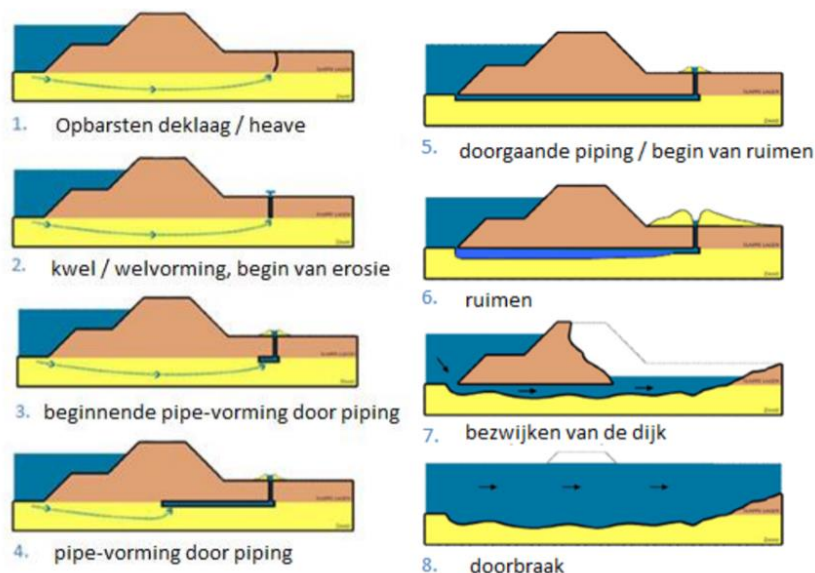
4.3.3 Conclusie kostenvergelijking

Uit de resultaten van de kostenvergelijking is gebleken dat het toepassen van het monitoringsplan gunstiger is met een kostenverschil van €34.000,-. Los van het kostenverschil zijn er ook andere baten opgemerkt. Het plaatsen van de monitoringstechnieken geven minder omgevingshinder dan het uitvoeren van extra grondonderzoek. De infraroodcamera's worden bevestigd aan de lantaarnpalen in de buurt van de dijk en de troebelheidsmeters worden in de sloot geplaatst nadat er wellen zijn opgemerkt door de infraroodcamera's. Aangezien er niks in de grond wordt geplaatst zal er ook geen rekening gehouden hoeven te worden met open of gesloten seizoenen op de dijk, dit kan voordeel hebben in de tijd. Ook is het plaatsen van de monitoringstechnieken en het in de gaten houden van de data tijdens hoogwater door de dijkbeheerders minder arbeidsintensief dan het uitvoeren van sonderingen, boringen, elektrisch onderzoek, labonderzoek en vervolgens pipingberekeningen. Ten slotte kan het monitoringssysteem zorgen voor de vertraging van de kosten voor het versterken van de dijk met bijvoorbeeld verticale constructies in de binnenteen van de dijk. Dit is zeer gunstig aangezien er niet voldoende budget is vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om de dijken in één keer te versterken.

5. Conclusie en aanbevelingen

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: ‘Hoe kan dijkmonitoring betreft piping ingezet worden voor risico gestuurde (partiële) dijkversterking?’

Voor het vinden van een antwoord op de bovenstaande hoofdvraag is er een vooronderzoek uitgevoerd (zie bijlage 3 vooronderzoek). Uit de resultaten van de multicriteria analyse blijkt dat de top 3 bestaat uit de meettechnieken infraroodcamera, glasvezelkabels en temperatuurmeters. Deze behoren alle drie tot de categorie temperatuur. Verder staan op 4^{de} en 5^{de} plaats de meettechnieken pompproef en sonderingen behorend tot de categorie doorlatendheid. De doorlatendheid en de temperatuur (stroomsnelheid) spelen dus een grote rol in het vroegtijdig kunnen opmerken van de optreding van piping, terwijl de categorie deformatie dat pas in latere stadia van piping kan opmerken. Uit de verschillende fases van piping is gebleken dat het van belang is monitoringstechnieken toe te passen die piping meten vanaf fase 2 (kwel/welvorming, begin van erosie) tot en met fase 5 (doorgaande piping/begin van ruimen). Aangezien in de fases die hierna volgen het pipingproces al zodanig ver is dat het al te laat is om in te grijpen. Zie figuur 29 voor de fases van piping.



Figuur 29 fases piping

Met behulp van de kennis uit het vooronderzoek en het maken van alternatieven (zie bijlage 4 alternatieven) is er een generiek monitoringsplan gemaakt. Hieruit zijn twee situaties uitgewerkt: dunste deklaag achter de dijk bevindt zich in de sloot en dunste deklaag achter de dijk is onbekend. Bij de eerste situatie wordt aangeraden de technieken infraroodcamera en troebelheidsmeter te combineren om zo de locaties van de wellen te kunnen vinden met de infraroodcamera en deze in de gaten te kunnen houden met de troebelheidsmeters. Er zijn verschillende opties voor het plaatsen van de infraroodcamera's:

- Als er lantaarnpalen aanwezig zijn die zicht hebben op de sloot, kunnen ze hierop bevestigd worden.
- Infraroodcamera's kunnen aan quads worden bevestigd die door de dijkbeheerders kunnen worden gebruikt, hiermee kan de dijkbeheerder ook makkelijker verplaatsen voor andere doeleinden zoals landmeten.
- Wanneer de quads en de lantaarnpalen niet genoeg zicht hebben op de sloten door bijvoorbeeld woningen die het zicht blokkeren kan de infraroodcamera aan een drone bevestigd worden.

Bij de tweede situatie is het noodzakelijk om eerst met behulp van andere technieken de locaties voor het optreden van piping te vinden. Hierbij is het aanbevolen om allereerst de gevoelige locaties voor piping te vinden met behulp van een combinatie van de technieken seismisch onderzoek en verticale glasvezelkabels, die onder andere de stroomsnelheid meten en de eventuele pipes kunnen detecteren. Vervolgens kunnen de technieken van de eerste situatie toegepast worden om deze locaties verder te monitoren.

Bij alle technieken wordt er enkel bij het hoogwaterseizoen onderhoud gedaan en gekeken of de techniek nog naar behoren functioneert. Bij extra hoogwater periodes (duidelijke golven) wordt er ook voor gekozen de techniek nog eens te controleren op betrouwbaarheid van de informatie.

Door het combineren van deze technieken en deze te onderhouden/controleren ontstaat er een waterdichte monitoring die bijdraagt aan de waterveiligheid van Nederland. De beheerder hoeft enkel in te grijpen bij een alarmwaarde of een troebelheidsmeter te plaatsen bij een door de infraroodcamera opgemerkte wel. De dijk hoeft niet meer elke nacht in continudienst te worden bewaakt, want het is al bekend waar de wel zich bevindt en er wordt continu gemonitord en automatisch bij een alarmwaarde gesignaleerd door de toegepaste monitoringstechnieken.

Om de betrouwbaarheid en haalbaarheid van het generieke monitoringsplan te toetsen is een casus uitgevoerd op een dijkvak van het project SAFE. Voor het uitgekozen dijkdeel is ervoor gekozen de technieken infraroodcamera en troebelheidsmeter te combineren aangezien de dunste deklaag achter de dijk zich in de sloten bevindt.

Een kostenvergelijking is gemaakt om de kosten van het monitoringsplan te vergelijken met de kosten van het uitvoeren van extra grond- en labonderzoek. Op deze manier komen de baten voor het monitoringsplan naar voren. Het toepassen van het monitoringsplan in plaats van extra grondonderzoek bespaart namelijk €34.000,-. Los van het kostenverschil zijn er ook andere baten opgemerkt. Zo is het monitoringssysteem minder arbeidsintensief, geeft het minder omgevingshinder, hoeft er geen rekening worden gehouden met open en gesloten seizoen aangezien er niks de grond in wordt gebracht en zorgt het voor het vertragen van de kosten voor dijkversterking. Dit is zeer gunstig aangezien er niet voldoende budget is vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om de dijken in één keer te versterken.

Voor andere dijkversterkingen is het ook aan te bevelen om te kijken naar monitoring in plaats van het optimaliseren van pipingberekeningen. Zeker als er wellen kunnen worden verwacht in sloten aan de binnentoe van de dijk die met infraroodcamera's gemakkelijk kunnen worden opgemerkt.

5.1 Aanbeveling voor vervolgonderzoek

Om het huidige monitoringsplan op een hoger niveau te brengen kunnen er een aantal vervolgonderzoeken verricht worden. Er kan een kostenanalyse/haalbaarheidsanalyse gemaakt worden voor een andere situatie (een andere casus voor een ander dijktraject). De technieken zelf kunnen verder worden uitgewerkt. Hierbij kan gekeken worden naar verschillende datacomputers en de gunstigste methode/computer gevonden worden. Ook kan de techniek verticale glasvezelkabels verder worden uitgewerkt in een toepasbare casus.

6. Bibliografie

- Beek, V. v. (2017). *Handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan t.b.v. piping*. IJkdijk: Deltares.
- Bersan, S. (2015). *Piping detection in dike foundations by distributed temperature sensing*. University of Padova: Hydrology and Earth System Sciences.
- Bruijn, i. H. (2013). *Het pipingproces in stripvorm*. Lelystad: Deltares.
- Buldit B.V. (sd). *Water-water warmtepomp*. Opgehaald van Verwarminginfo: <https://www.verwarminginfo.nl/warmtepomp/water-water-warmtepomp>
- Dijk, H. (2018). *Beslisboom piping*. Tiel: enw.
- Gerritsen, F. (2013). *piping in een tweelagensysteem*. Nijmegen: Royal HaskoningDHV.
- Immers, A. (sd). *Metten grondwaterstroming door middel van glasvezel*. Opgehaald van Vitens: <https://vitensinnoveert.nl/meten-grondwaterstroming-door-middel-van-glasvezel/>
- Jos van Zuylen, M. S. (2020). *Verkenning Dijkversterking SAFE*. Utrecht: Waterschap rivierenland.
- Most, H. v. (2019, Juni). *Nieuwe normering van waterveiligheid*. Opgehaald van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/beoordelen-waterkeringen/nieuwe-normering-van-waterveiligheid>
- P4E.nl. (2021, November 22). *Hoe werkt een warmtebeeldcamera*. Opgehaald van products4engineers: <https://products4engineers.nl/blog/hoe-werkt-een-warmtebeeldcamera>
- Panthera B.V. (sd). *Hoe warm (koud) is het water?* Opgehaald van Dive4all: <https://www.dive4all.nl/faq/hoe-warm-koud-is-het-water>
- Rijksoverheid. (sd). *Monitoring van troebelheid in rivierwater*. Opgehaald van Helpdesk Water: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/monitoring/gegevensinwinning/chemisch-fysisch/troebelheid/>
- SCAN. (2019). *Seismisch onderzoek*. Opgehaald van SCAN: <https://scanaardwarmte.nl/het-programma/seismisch-onderzoek/>
- security, M. s. (2021, November 18). Type infraroodcamera's en specificaties. (S. Arif, Interviewer)
- Stowa. (sd). *Remote Sensing voor waterveiligheid*. Opgehaald van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/waterveiligheidsbeleid-en-regelgeving/remote-sensing-voor>
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1999). *Zandmeevoerende Wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- Vaisala. (sd). *Compact Humidity and Temperature Probe HMP9*. Opgehaald van Vaisala: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmp9>
- Vree, J. d. (sd). *Piping*. Opgehaald van joostdevree: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/piping.shtml>
- witteveenbos. (2021, December 01). *Dijkversterking Den Helder-Den Oever wordt adaptief*. Opgehaald van witteveenbos: <https://www.witteveenbos.com/nl/nieuws/dijkversterking-den-helder-den-oever-wordt-adaptief/>

7. Bijlage

Bijlage 1 Werkplan

Zie vanaf de volgende pagina het werkplan voor deze afstudeerscriptie.

Monitoring van niet urgente dijkdelen

*23 Augustus 2021
Werkplan afstuderen*

*Shikal Arif - 18035213
Docent - Witesh Bharos*

Voorwoord

Het laatste onderdeel binnen het laatste semester van mijn studie Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool is een afstudeeropdracht die na voltooiing resulteert in het behalen van het diploma. Het afronden van deze opdracht zal aantonen dat ik de door mij gekozen competenties beheers en dat de eindrapportage voldoet aan het niveau van een 'young professional' die klaar is om een functie te bekleden binnen de sector civiele techniek. De zes gekozen competenties dienen op een niveau III uitgevoerd te worden en zijn verdeeld in generieke en technische competenties.

De afstudeeropdracht zal ik uitvoeren bij Sweco Nederland B.V. Tijdens mijn baan bij de RijnlandRoute als assistent uitvoerder heb ik kennisgemaakt met een collega van Sweco (Jan van Egdom – projectleider). Deze persoon heeft mij erg gemotiveerd om bij Sweco een afstudeeropdracht te maken. Aangezien mijn vorige ervaringen allemaal te maken hadden met de uitvoering van projecten leek het mij erg interessant om voor het afstuderen bij een ingenieursadviesbureau te lopen. Tijdens mijn studie heb ik de specialisatie Waterbouw gekozen, zo zocht ik ook naar een bedrijf die veel te maken had met waterbouwkundige projecten. Al met al past het bedrijf Sweco erg goed bij mijn doelen en wensen voor mijn afstudeerperiode.

Het onderwerp (of doelstelling) waaraan ik zal werken luidt als volgt: 'Oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente dijktrajecten.' Gedurende 20 weken zal ik dieper in deze materie duiken, waarbij ik informatie/data zal verzamelen en verwerken om zo aan het eind van deze periode het bedrijf te voorzien van kennis betreft monitoring van dijken. Hiermee kan de monitoring van dijken op een dieper niveau geïmplementeerd worden in het bedrijf en zo bij aankomende projecten toegepast worden.

Het doel van dit werkplan is om het gehele proces van de afstudeeropdracht te beschrijven waarbij naar voren moet komen wat de verschillende onderdelen en stappen zullen zijn die genomen moeten worden om tot een eindproduct te kunnen komen.

Algemene Informatie



Studentgegevens

*Student aan de Haagse Hogeschool
(Specialisatie Waterbouw)*

Shikal Arif 18035213

E-mail school: 18035213@student.hhs.nl

E-mail persoonlijk: shikal.arif@hotmail.com

Tel: +31633343535

Adres: Stadhoudersring, 2713GR, Zoetermeer

Afstudeerbedrijf

Sweco Nederland B.V.

De Holle Bilt 22, 3732 HM De Bilt, Nederland

Afdeling Waterbouw

Team Waterkeringen

+31 88 811 66 00

info@sweco.nl

Begeleider Sweco

Martine Stam

Adviseur waterkeringen

06-12641526

martine.stam@sweco.nl

1^{ste} Schoolbegeleider

Witesh Bharos

Docent water en geotechniek

06-18998489

wbharos@hhs.nl

2^{de} Schoolbegeleider

Wim mantje

Docent water

06-39080613

w.j.mantje@hhs.nl

Inhoud

Voorwoord.....	0
Algemene Informatie	0
Aanleiding en achtergrond	1
Probleemstelling	2
Doelstelling	2
Onderzoeksvraag en deelvragen	3
Opdracht	4
Competenties	5
Productentabel	6
Projectgrens	7
Haalbaarheid.....	8
Openstaande vakken.....	10
Planning	10
Bibliografie	11
Bijlage.....	12
Bijlage 1 “Planning”	12

Aanleiding en achtergrond

Nederland is een delta: een laaggelegen land met veel water. Deze ligging maakt Nederland kwetsbaar voor overstromingen. Ten opzichte van de jaren '60 is de bevolking gegroeid van 10 naar 17 miljoen en is de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk toegenomen (toename van het BNP van 17 naar 400 miljard Euro). Daarnaast is er sinds de jaren '60 veel kennis ontwikkeld om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) beter te kunnen berekenen. (Most, 2019)

Dit waren de belangrijkste redenen om de vorige wettelijke normen, gebaseerd op inzichten uit de periode 1953-1960, te actualiseren. In 2006 is gestart met het beleidstraject Waterveiligheid 21e eeuw dat vervolgens is voortgezet in het Deltaprogramma Veiligheid. In het Deltaprogramma wordt jaarlijks voor de eerstvolgende zes jaren zo gedetailleerd als redelijkerwijs mogelijk aangegeven welke maatregelen en voorzieningen in die periode zullen worden uitgevoerd. En welke middelen beschikbaar worden gesteld voor de verschillende opgaven. Op Prinsjesdag 2014 zijn de uitkomsten van dit traject gepresenteerd in de deltabeslissing Waterveiligheid. Vervolgens zijn per 1 januari 2017 nieuwe normen opgenomen in de Waterwet.

Het verbeteren van de waterkeringen is een continue opgave. Er is niet voldoende budget vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om de dijken in één keer te versterken aangezien de kosten hiervoor erg oplopen. De nieuwe waterveiligheidsnormen binnen het Deltaprogramma bieden het kader om de keringen aan te passen aan veranderende omstandigheden. Primaire waterkeringen worden opnieuw beoordeeld en verbeterd wanneer ze niet aan de nieuwe normen voldoen. Uiterlijk in 2050 moeten de keringen aan de nieuwe normen voldoen. De nieuwe waterveiligheidsnormen brengen veel veranderingen ten opzichte van de oude systematiek. De nieuwe normering laat vrijheid waar, wanneer en hoe keringen worden verbeterd. Er is ruimte om mee te koppelen met regionale ontwikkelingen en om de waterkeringen doelmatig te verbeteren met minimale hinder voor de omgeving. De uitdaging is om die vrijheidsgraden bij het ontwerp optimaal te benutten.

Bij Sweco zijn ze gestart met de eerste partiele versterking in Nederland: SAFE (tussen streefkerk en fort everdingen). Hierbij wordt de dijk geschaald op Evident Veilig, Urgent en Niet-Urgent. 'Echt slechte' stukken zijn urgent en worden direct aangepakt. De niet-urgente stukken, zijn eigenlijk net onvoldoende beoordeeld, maar worden niet direct versterkt. Deze dijkdelen moeten echter enkele tientallen jaren later wel worden versterkt. In de tussentijd moeten die dijkdelen wel in de gaten worden gehouden. Ook kunnen zichtjaren toegepast worden om een indicatie te maken wanneer het dijkdeel wel versterkt moet worden. De vraag wordt dus steeds groter om op basis van kennis de 'zwakkere' dijktrajecten in beeld te hebben en hier de juiste monitoring op af te stemmen. Een voorbeeld van een project die dit toepast is de Dijkversterking van Den Oever – Den Helder (HWBP). Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een monitoringstool die de niet-urgente dijkdelen in de gaten houdt. Wat deze monitoringstool precies inhoudt wordt verder uitgewerkt in het eindrapport.

Probleemstelling

Het team waterkeringen heeft momenteel een extra kennis behoefte betreft de verschillende soorten monitoring en de toepassing hiervan. Aangezien dit wel een belangrijk aspect is om bij te dragen aan de waterveiligheid van Nederland is het belangrijk om meer kennis op te bouwen.

Er zijn verschillende soorten monitoring geschikt voor verschillende periodes in een dijkversterkingsproject zoals bijvoorbeeld: kortdurige monitoring bij het beoordelen van de dijken, langdurige monitoring voor dijken die niet-urgent zijn en monitoring tijdens uitvoering. Het is van belang om een efficiënte manier van monitoring toe te passen die goed de verhouding in balans houdt tussen kosten (in monitoring of versterking) en baten (waterveiligheid) van een project.

Het is van belang om de juiste soort monitoring voor de juiste soort faalmechanismen toe te passen op verschillende dijktrajecten. Zo is het bij de ene faalmechanisme niet efficiënt om monitoring toe te passen aangezien het bij het opmerken van het faalmechanisme al te laat is om in te grijpen, terwijl bij andere faalmechanismen monitoring juist de manier is om deze te voorkomen.

Bij deze opdracht wordt er gekeken naar oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente primaire dijktrajecten.

Doelstelling

Het doel van deze afstudeeropdracht is om een goed beeld te hebben welke monitoringstechnieken bestaan. Voornamelijk betreft het faalmechanisme piping. Vervolgens wordt er een monitoringsplan ontwikkeld die toegepast kan worden bij partiele dijkversterkingen(niet-urgente dijkdelen) van primaire dijktrajecten. Dit monitoringsplan geeft dan een efficiënte verhouding weer tussen kosten (in monitoring of versterking) en baten (waterveiligheid) van een project.

Onderzoeksvraag en deelvragen

Onderzoeksvraag:

“Hoe kan dijkmonitoring ingezet worden voor risicogestuurde (partiele) dijkversterking?”

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden dienen de volgende deelvragen te worden doorlopen:

1. Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur betreft het faalmechanisme piping?
 - Wat meten deze monitoringstechnieken?
 - Hoe kun je met de monitoringstechnieken aantonen of een dijkstrekking een signaalwaarde qua sterkte bereikt?(meetnauwkeurigheid)
 - Wat zijn voor- en nadelen van elke methode?
 - Wat zijn de verschillen/overeenkomsten van de methodes?
2. Wat voor monitoringsplannen hebben beheersorganisaties al geschreven?
 - Wat houden deze plannen in?
3. Hoe worden de verschillende monitoringstechnieken uitgevoerd? (uitvoeringsmethode)
 - Hoeveel tijd kost het om de verschillende methodes uit te voeren?
 - Welke monitoringstechnieken zijn het meest efficiënt met de verhouding tussen kosten en baten? (+/-)
4. Welke monitoringstechnieken kunnen gecombineerd worden?
 - Hoe werkt deze gecombineerde techniek?
 - Hoe kan de techniek toegepast worden op een bestaand project?
 - Wat is de verhouding tussen kosten en baten bij dit project? (kengetallen)
5. Waar kan het uitgewerkte monitoringsplan eventueel nog verder geoptimaliseerd worden?
 - Hoe wordt er met behulp van monitoring de veiligheid verhoogd?
 - Welke tekortkomingen/beperkingen heeft de nieuwe monitoringstechniek en waar is er dus nog ruimte voor verbetering?
 - In hoeverre is de investering van tijd en geld in het optimaliseren de moeite waard: wegen de kosten op tegen de baten?

Opdracht

In dit onderdeel wordt de werkwijze beschreven die ik zal gaan hanteren om tot de antwoorden op de eerdergenoemde deelvragen te kunnen komen. Daarnaast volgt er een beschrijving van de producten die geleverd zullen gaan worden die betrekking hebben op de deelvragen.

Werkwijze:

1. Literatuuronderzoek

In de eerste stap wordt er een literatuuronderzoek gedaan om zodoende meer kennis op te doen en de benodigde informatie te verzamelen voor het vooronderzoek. Dit vooronderzoek beantwoordt voornamelijk de vragen onder Deelvraag 1: Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur? Hierin worden o.a. de verschillende methodes inhoudelijk onderzocht en met elkaar vergeleken (voor- en nadelen).

2. Intern onderzoek

In deze stap wordt er gekeken naar de monitoringsplannen die beheersorganisaties al hebben geschreven. Deze plannen worden inhoudelijk onderzocht en eventueel vergeleken met de hiervoor opgedane kennis van het literatuuronderzoek.

3. Uitvoeringstechnieken monitoring

Het doel van deze stap is om een beeld te krijgen wat de verhouding is van kosten en baten van de verschillende methodes, zo kan er gekeken worden naar de tijd die het kost om een monitoring uit te voeren en de kosten die erbij komen kijken. Aan het eind van deze stap zal er een lijst ontstaan met verschillende methodes die het meest efficiënt zijn betreft de bovengenoemde verhouding tussen kosten en baten.

4. Schrijven van een monitoringsplan aan de hand van opgedane kennis

In deze stap wordt er gekeken naar het combineren van de meest efficiënte monitoringstechnieken om zo een monitoringsplan te schrijven die in de toekomst toegepast kan worden op verschillende projecten

5. Casus: Monitoringplan schrijven voor niet-urgente delen?

De eerder geschreven monitoringsplan kan in deze stap toegepast worden op een lopend project.

6. Optimalisatiepunten

Als laatste stap wordt er nog gekeken naar eventuele verbeteringspunten en/of optimalisatiepunten. Hiermee kan het plan later nog beter worden uitgewerkt zodat het gegarandeerd zal werken.

Producten:

1. Het product bij de eerste drie stappen wordt een vooronderzoeksverslag. Dit onderdeel vormt de funding voor de algemene onderzoeksopdracht die volgt.
2. Bij het interne onderzoek worden er interview notules geschreven die in de bijlage van het vooronderzoek komen te staan.
3. Er wordt een Concepteindrapport geschreven met hierin de stappen 4, 5 en 6 uitgewerkt. Dit is dus het uiteindelijke monitoringsplan.
4. Het concepteindrapport wordt beoordeeld kort na de tussenpeiling en zal nog aangepast worden op eventuele feedback van de begeleiders. Hieruit volgt het Eindrapport. De belangrijkste informatie zal worden getoond in het Eindrapport en de overige, aanvullende informatie zal worden geplaatst in de bijlagen (inclusief vooronderzoek). De exacte vorm van het eindproduct moet nog nader worden bepaald in overleg met de bedrijfsbegeleider(s).

Competenties

Hieronder volgen in totaal zes door mij gekozen competenties waarop gefocust dient te worden tijdens de afstudeeropdracht. Deze competenties zullen op niveau III behaald moeten worden om zo te voldoen aan de eisen van het afstuderen.

Generieke competenties:

- **Onderzoek (G1):** Deze competentie is gericht op het zelfstandig onderzoek doen naar het gekozen onderwerp. Hierbij moet ik de exacte hoofdvraag goed kunnen ontleden en vervolgens een juiste aanpak opstellen om deze te kunnen beantwoorden. Het verzamelen van de juiste literatuur en data, het destilleren van de bruikbare informatie en het correct interpreteren ervan om tot conclusies te kunnen komen zijn essentiële onderdelen. De bewijsstukken voor het onderzoek vormen: een vooronderzoek en een analyse van de huidige kennis van het bedrijf.
- **Innoveren (G5):** Het doel van de afstudeeropdracht is om te onderzoeken of een bepaalde methode die tot nu toe altijd gebruikt is vervangen kan worden door een betere methode of gecombineerd kan worden met andere technieken. De uiteindelijke methode die hiervoor in aanmerking komt en onderzocht zal worden zal zeer waarschijnlijk nog niet volledig uitgewerkt zijn en daardoor is er mogelijk veel ruimte in het proces om onderdelen en stappen te optimaliseren. Mijn doel is om handigheid en ervaring op te doen bij het analyseren van de verzamelde informatie en op die manier te innoveren binnen mijn eigen werkmethode om zo een steeds efficiëntere aanpak te kunnen ontwikkelen. Een bepaalde hoeveelheid inzicht in het gebied van monitoring en ervaring met de uitvoering van bepaalde werkzaamheden kunnen hiervoor als bewijsstukken dienen.
- **Leren en verder ontwikkelen (G6):** Doordat vanuit huis werken momenteel de norm is, zal ik door beperkte begeleiding veelal op mijzelf aangewezen zijn. Ik zal dus te maken hebben met een zekere mate van zelfstandigheid. Mijn doel is dan om goed om te gaan met deze zelfstandigheid, zo kan ik een mooie afstudeeropdracht opleveren die mij een stap dichterbij brengt naar het ontwikkelen tot een professional.

Technische competenties:

- **Monitoren, toetsen en evalueren (B6):** De bevindingen uit het onderzoek dienen zo objectief mogelijk geëvalueerd te worden. Er wordt dan op verschillende abstractieniveaus en vanuit het perspectief van verschillende betrokken actoren gekeken naar de resultaten. Deze resultaten worden dan waar mogelijk met kwantitatieve en kwalitatieve gegevens onderbouwd. Op deze manier ben ik uiteindelijk in staat aan te geven in hoeverre het vraagstuk is opgelost, en in welke mate de ontstane ambities en verwachtingen zijn ingelost. De aanbeveling met daarin eventuele vervolgacties voor het monitoringsplan kan hiervoor als bewijsstuk dienen.
- **Specificeren (B3):** De onderzoeksvraag van deze afstudeeropdracht is aanvankelijk vrij complex en dient daardoor gespecificeerd te worden in meer ruimtelijke vraagstukken om deze zo beter te kunnen uitwerken. Mijn doel is om alle aspecten van het vraagstuk zo specifiek mogelijk inzichtelijk te hebben. Zo zal ik met behulp van een kosten en baten analyse willen aantonen wat de toegevoegde waarde van het toepassen van het monitoringsplan is. Ook zal ik een casus uitvoeren op een bestaand project waardoor ik kan aantonen of het plan daadwerkelijk een toegevoegde waarde heeft en of er wat optimalisatiepunten naar voren komen die kunnen worden uitgewerkt in de toekomst.
- **Ontwerpen (B2):** Vanuit een concrete beschrijving van de opdracht en de kaders waarbinnen de opdracht valt kan ik volgens het plan van aanpak starten aan de uitwerking van de onderzoeksvraag door onderzoek te verrichten en de uitkomsten te evalueren. Hierbij zal ik de bevindingen gaan visualiseren in de vorm van tabellen om zo concrete conclusies te kunnen trekken. Daarnaast zal er naar verwachting ook een monitoringsplan worden uitgeschreven die toegepast kan worden op aankomende projecten om de partiele verstrekkingen te kunnen monitoren.

Productentabel

De producten die tijdens de afstudeeropdracht zullen worden opgeleverd zijn te zien in onderstaande tabel. Per deelvraag staat weergegeven om welke producten het gaat, welke informatie nodig is bij ieder product, welke competenties eraan gerelateerd zijn en wat de verwachte benodigde tijd is voor de oplevering van de producten.

Deelvragen	Producten	Benodigde informatie	Competenties	Tijdsbesteding
1. Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur?	Vooronderzoeksrapport	Literatuuronderzoek met behulp van het internet en eventueel boeken.	G1;B6	30 dagen
2. Wat voor monitoringsplannen heeft Sweco al geschreven met het team?	Vooronderzoeksrapport (Interview notulen)	Interviews met intern team waterkeringen en monitoringsteam Sweco. Ook eventuele rapportages van Sweco zelf analyseren.	G1;B6	15 dagen
3. Hoe worden de verschillende monitoringstechnieken uitgevoerd? (uitvoeringsmethode)	Vooronderzoeksrapport Kosten en baten analyse (+/-)	Een combinatie van onderzoek op het internet en gesprekken met ervaren werknemers op het gebied van de uitvoering. Inzicht op verschillende technieken om zo keuzes te kunnen maken in de kosten en baten analyse.	G1;G5;G6	15 dagen
4. Welke monitoringstechnieken kunnen gecombineerd worden?	Eindrapport Kosten en baten analyse (kengetallen Sweco)	Vergelijken en analyseren van eigenschappen technieken. Kengetallen Sweco om kosten en baten analyse uit te voeren.	B2;B3;G5;G6	20 dagen
5. Waar kan het uitgewerkte monitoringsplan eventueel nog verder geoptimaliseerd worden?	Eindrapport Aanbeveling	Eerder verzamelde informatie en conclusies om zo een goed advies te geven voor eventuele optimalisatiepunten in de toekomst.	B6;B3	10 dagen

Projectgrens

Afbakening

De periode waarbinnen de afstudeeropdracht zal plaatsvinden is van maandag 30 augustus 2021 t/m vrijdag 4 februari 2022. De laatste 2 weken van de afstudeerstage is gericht op de eindpresentatie over de afstudeeropdracht. Een duidelijke afbakening van de onderdelen die uitgevoerd moeten worden is noodzakelijk om structuur aan het afstuderen te geven.

In het algemeen is het van belang om de techniek te begrijpen betreft dijkversterkingen, faalmechanismen, waterkeringen. Deze kennis zorgt ervoor dat het plan haalbaar en realistisch blijft en ook echt een toegevoegde waarde heeft voor het waterkeringen team van Sweco.

Deelvragen:

1. Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur betreft het faalmechanisme piping?
 - Vooronderzoek in de vorm van een literatuuronderzoek: 2 tot 5 wetenschappelijke artikelen.
 - Onderzoeken van welke methodes/technieken gebruikt worden betreft piping en daarbij de voor- en nadelen van de verzamelde methodes bepalen.
 - De informatie verkrijgen met behulp van het internet en eventueel boeken
2. Wat voor monitoringsplannen hebben beheersorganisaties al geschreven?
 - Onderzoeken wat er in de bestaande monitoringsplannen van beheersorganisaties is genoteerd.
 - Onderzoeken en rondvragen (interview) wat de verwachtingen zijn van het team (toegevoegde waarde).
 - Interviews met ervaren collegas betreft monitoring en de juiste technieken.
 - Analyseren welke gegevens nuttig/toepasbaar zijn en welke niet.
3. Hoe worden de verschillende monitoringstechnieken uitgevoerd? (uitvoeringsmethode)
 - Interviews met ervaren collegas op het gebied van de uitvoering van monitoringstechnieken
 - Onderzoeken op het internet welke methodes er zijn en wat ze inhouden.
 - Een eerste kosten en baten analyse uitvoeren om aan te tonen welke methodes het beste toepasbaar zijn.
 - Kunnen inzien wat de methodes opbrengen en welke kosten erbij komen kijken (schatten).
4. Welke monitoringstechnieken kunnen gecombineerd worden?
 - Verifiëren van de kosten en baten betreft de verschillende methodes met behulp van een kosten en baten analyse.
 - Gebruik maken van de kengetallen verkregen van Sweco voor het bepalen van de kosten.
 - Uiteindelijke monitoringsplan toepassen op een casus betreft een bestaand project.
5. Waar kan het uitgewerkte monitoringsplan eventueel nog verder geoptimaliseerd worden? (Deze deelvraag zal optioneel, afhankelijk van de tijd die overblijft)
 - Balans opmaken van tot hoeveel verbetering de uiteindelijke methode heeft geleid.
 - Inventarisering van in hoeverre de uiteindelijke methode mogelijk zelf ook nog verbeterd kan worden. Zo ja, adviezen hiervoor aanleveren.

Haalbaarheid

De progressie van de afstudeeropdracht kan belemmerd worden door bepaalde, vaak onverwachte factoren. Deze risico's worden hieronder in kaart gebracht met erbij genoteerd oorzaak, gevolg en beheersmaatregelen voor de risico's. Ook wordt er aangegeven wat de kans van optreden is voor en na de beheersmaatregelen.

Oorzaak	Risico	Gevolg	Kans %	Beheersmaatregel	Kans %
Slechte communicatie met begeleiders door bijvoorbeeld vanuit huis werken.	Ontevreden begeleiders.	Vertraging op werkzaamheden door onduidelijkheden.	50%	Een goede aanpak zou zijn om standaard wekelijks voortgangsm meetings te houden via Teams (of zodien mogelijk op kantoor) met mijn begeleider om mijn progressie te kunnen monitoren. Ook kunnen er tijdsloten ingepland worden waar ik, indien nodig, altijd de mogelijkheid krijg om collega's te raadplegen bij eventuele vragen.	5%
Niet genoeg informatie gevonden, uitkomsten vallen tegen.	Onderzoek duurt langer dan gepland.	Tijdsnood.	60%	Goed met de begeleiders te overleggen wat uiteindelijk wel en niet kan worden afgerond in het onderzoek en welke conclusies er uiteindelijk worden getrokken Soms is het bijstellen van de doelen noodzakelijk. Er kunnen dan als alternatief adviezen worden opgesteld die voor vervolgonderzoeken van pas komen.	10%

Begeleiders bedrijf kunnen de kengetallen niet verkrijgen of hebben niet voldoende kengetallen beschikbaar.	Onvoldoende kengetallen voor de kosten en baten analyse.	Lagere kwaliteit eindrapport.	30%	Hierbij kan er met fictieve kosten gewerkt worden en op basis daarvan de methode die toegepast wordt getest. Dit kan vertraging voorkomen en schat het doel van het onderzoek niet, maar wel de toepasbaarheid.	15%
Geen ruimte voor bij een lopend project op dat moment.	Casus bij een bestaand project is niet mogelijk.	Lagere kwaliteit eindrapport.	15%	Hierbij is het belangrijk om het aanbevelingshoofdstuk zo veel mogelijk te specificeren. Zo kan er in de toekomst een vervolgonderzoek gedaan worden op een bestaand project met alle punten die dan genoteerd zijn die ik of een collega nog zou willen uitwerken op een casus.	5%
Abrupte situaties buiten de opdracht	Onvoorziene onzekerheden	Vertraging op werkzaamheden	15%	In de planning kunnen de doorlooptijden van onderdelen iets ruimer worden ingeschat om onvoorziene voorvallen die vertraging kunnen opleveren toch te kunnen opvangen. Dit zorgt daarnaast ook voor een niet te hoge werkdruk, waardoor er minder stress wordt ervaren tijdens het werk.	5%

Openstaande vakken

Momenteel heb ik geen openstaande vakken waar rekening mee gehouden hoeft te worden.

Planning

Onderstaand overzicht toont de planning voor de verschillende onderdelen van de onderzoeksopdracht en de oplevering van de eindproducten met de verwachte doorlooptijden en deadlines. In het algemeen wordt er 2 keer in de week een een overleg ingepland met de bedrijfsbegeleider betreft de stand van zaken. Voor een uitgebreide strokenplanning wordt er verwezen naar Bijlage 1 “Planning”.

Beschrijving product	start	Eind	Deadline
Concept werkplan schrijven	Wk 28/2021	Wk 31/2021	Wk 31/2021
Goedkeuring definitief werkplan	Wk 34/2021	Wk 35/2021	Wk 35/2021
Vooronderzoek (tussenpeiling presentatie)	Wk 35/2021	Wk 42-43/2021	Wk 42-43/2021
Concept eindrapport schrijven	Wk 43/2021	Wk 50/2021	Wk 50/2021
Definitief eindrapport schrijven	Wk 50/2021	Wk 2/2022	Wk 2/2022
Eindpresentatie geven betreft het eindrapport	Wk 2/2022	Wk 3/2022	Wk 3/2022
Beoordeling	Wk 4/2022	Wk 4/2022	Wk 4/2022
Diplomerings	Wk 5/2022	Wk 5/2022	Wk 5/2022

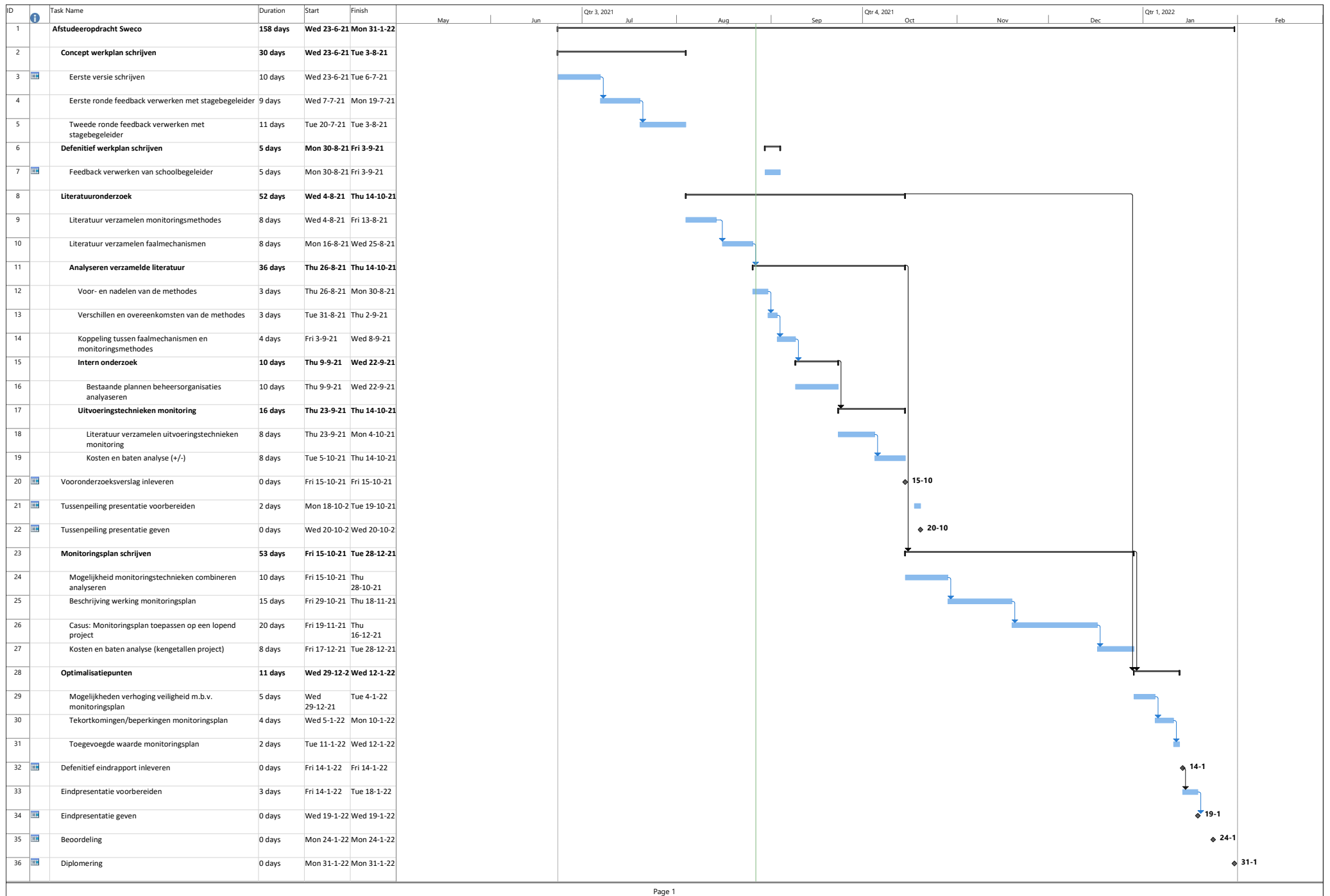
Bibliografie

Most, H. v. (2019, Juni). *Nieuwe normering van waterveiligheid*. Opgehaald van Stowa:
<https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/beoordelen-waterkeringen/nieuwe-normering-van-waterveiligheid>

Bijlage

Bijlage 1 “Planning”

Zie volgende pagina.



Bijlage 2 Reflectieverslag

Zie vanaf de volgende pagina het reflectieverslag betreft deze afstudeerperiode.

Reflectieverslag afstuderen Shikal Arif

*17 Januari 2022
Reflectieverslag afstuderen*

*Shikal Arif - 18035213
Docent - Witesh Bharos*

Voorwoord

Het laatste onderdeel binnen het laatste semester van mijn studie Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool is een afstudeeropdracht die na voltooiing resulteert in het behalen van het diploma. Het afronden van deze opdracht zal aantonen dat ik de door mij gekozen competenties beheers en dat de eindrapportage voldoet aan het niveau van een 'young professional' die klaar is om een functie te bekleden binnen de sector civiele techniek. De zes gekozen competenties dienen op een niveau III uitgevoerd te worden en zijn verdeeld in generieke en technische competenties.

Het doel van dit reflectieverslag is om te reflecteren op de afgelopen 20 weken van mijn afstuderen. Ook worden mijn leerdoelen en competenties op een rijtje gezet om te kijken in hoeverre ik mijzelf heb ontwikkeld in deze periode.

Voor het realiseren van het onderzoek wil ik graag Martine Stam bedanken voor de begeleiding vanuit Sweco. Als adviseur waterkeringen van Sweco, heeft zij advies gegeven en informatie ter beschikking gesteld voor het onderzoek van de afstudeerscriptie. Daarnaast wil ik de heer Witesh Bharos bedanken voor de begeleiding en advies die hij mij heeft gegeven vanuit de Haagse Hogeschool. Ten slotte wil ik nog alle medewerkers van Sweco en docenten van de Haagse Hogeschool bedanken die met mij in gesprek zijn gegaan betreft het onderzoek en mij feedback hebben gegeven.

Dan rest mij nog u veel leesplezier te wensen voor het lezen van mijn afstudeerscriptie!

Den Haag, 17 Januari 2022

Shikal Arif

Algemene Informatie



Studentgegevens

*Student aan de Haagse Hogeschool
(Specialisatie Waterbouw)*

Shikal Arif 18035213

E-mail school: 18035213@student.hhs.nl

E-mail persoonlijk: shikal.arif@hotmail.com

Tel: +31633343535

Adres: Stadhoudersring, 2713GR, Zoetermeer

Afstudeerbedrijf

Sweco Nederland B.V.

De Holle Bilt 22, 3732 HM De Bilt, Nederland

Afdeling Waterbouw

Team Waterkeringen

+31 88 811 66 00

info@sweco.nl

Begeleider Sweco

Martine Stam

Adviseur waterkeringen

06-12641526

martine.stam@sweco.nl

1^{ste} Schoolbegeleider

Witesh Bharos

Docent water en geotechniek

06-18998489

wbharos@hhs.nl

2^{de} Schoolbegeleider

Wim mantje

Docent water

06-39080613

w.j.mantje@hhs.nl

Inhoud

Voorwoord.....	1
Algemene Informatie	2
1. Inleiding.....	8
2. Competentie ontwikkeling	9
3. Conclusie (Persoonlijke reflectie)	11
Bijlage.....	12
Bijlage 1 Competenties	12

1. Inleiding

Dit reflectieverslag is geschreven in het kader van mijn afstudeerperiode bij Sweco Nederland B.V. De afgelopen 20 weken heb ik mijn afstudeeropdracht 'Monitoringsplan betreft piping bij Primaire dijken' bij Sweco Nederland B.V. uitgevoerd. Ik maakte tijdens mijn afstudeerperiode deel uit van het waterkeringen team van Sweco. De afstudeerstage begon op 30 September 2021 en zal beëindigen op 4 Februari 2022. Dit bedrijf heeft mij de ruimte gegeven om mij als student te ontwikkelen tot een 'young professional' die klaar is om een functie te bekleden binnen de sector civiele techniek.

Door te reflecteren wordt er teruggekeken op de afgelopen periode. Een belangrijk onderdeel van de reflectie is om te beoordelen of de vooraf gestelde doelen in het werkplan (competenties) zijn behaald en hoe het afstudeerproces is verlopen. Door te reflecteren op het proces kan ik in de toekomst mij blijven ontwikkelen in minpunten die naar voren komen. Punten die goed zijn gegaan kan ik meenemen in mijn ervaring en ontwikkeling als sterke punten. Al met al kan deze reflectie ervoor zorgen dat ik als student bij een volgend project of een andere opdracht een hoger niveau haal.

In dit reflectierapport worden de volgende zaken beschreven. In hoofdstuk 2 wordt er gereflecteerd op de invulling van de competenties zoals opgenomen in het werkplan. Per competentie wordt daarbij de vraag beantwoordt: 'Heb ik de competentie op niveau III behaald, en met welke producten uit mijn afstudeerrapport toon ik dat aan? In hoofdstuk drie wordt er een persoonlijke reflectie beschreven, dit is een globale beschrijving van mijn ontwikkeling tijdens het afstuderen. Vragen zoals 'Wat heb je over jezelf geleerd?' en 'Wat zijn mijn sterke en zwakke punten?' worden daarbij beantwoordt.



Figuur 1 De Bilt kantoor Sweco

2. Competentie ontwikkeling

Hieronder volgen in totaal zes door mij gekozen competenties waarop ik mij gefocust heb tijdens de afstudeeropdracht. Deze competenties zijn op niveau III behaald om zo te voldoen aan de eisen van het afstuderen.

Generieke competenties:

Onderzoek (G1)

Aantoonende producten: Literatuuronderzoek(vooronderzoek),
monitoringsplan opstellen(opbouw).

Deze competentie is gericht op het zelfstandig onderzoek doen naar het gekozen onderwerp. In dit geval is dat onderzoek doen naar verschillende soorten monitoring. Hierbij is de hoofdvraag goed ontleedt om te kunnen zien dat het van belang is te zoeken naar monitoringstechnieken die een positieve bijdrage leveren bij het kunnen opmerken van het faalmechanisme piping. Er is voor het vinden van technieken eerst nog onderzoek gedaan naar wat het faalmechanisme piping precies inhoudt en welke parameters van belang zijn om dit faalmechanisme te kunnen opmerken. Hierdoor voorkom ik irrelevante informatie te verzamelen en kan ik gericht onderzoek doen. Ik heb aan deze competentie gewerkt door niet alleen op het internet te zoeken naar informatie, maar ook gesprekken te voeren met verschillende collega's binnen het bedrijf Sweco die mij eventueel kunnen inlichten met hun kennis over het onderwerp.

Innoveren (G5)

Aantoonende producten: Verticale glasvezelkabels, Troebelheidsmeters, gecombineerde technieken.

Bij het maken van het monitoringsplan heb ik een analyse gedaan van alle technieken die ik tot nu toe heb gevonden. Hieruit heb ik allerlei alternatieven bedacht voor mogelijke monitoringssystemen die het beste piping kunnen monitoren. Er zijn verschillende technieken gecombineerd en er is ook gekeken naar bestaande technieken die op een net andere manier kunnen worden toegepast om tot een beter resultaat te komen voor het monitoren van piping. Zo heb ik nagedacht over verticale glasvezelkabels bij de teen van de dijk in plaats van horizontale kabels onder de dijk te plaatsen, op deze manier kunnen glasvezelkabels op een makkelijkere manier gebruikt worden bij bestaande dijken zonder dat je het gehele dijklichaam weg hoeft te halen. Een andere innovatie is het plaatsen van troebelheidsmeter in de sloot in plaats het gebruiken van troebelheidsmeter in een lab. Hierbij kan een troebelheidsmeter continu de wellen in de gaten houden en een signaal geven bij verandering van de situatie. Ook heb ik gekeken naar welke technieken gecombineerd kunnen worden voor een beter resultaat, zo heb ik bijvoorbeeld een infraroodcamera die de wellen gecombineerd met de troebelheidsmeter die de opgemerkte wellen op een specifiekere manier kunnen monitoren (zanddeeltjes in water).

Leren en verder ontwikkelen (G6)

Aantonende producten: planningen, vaste gespreksmomenten met begeleiders, aanschuiven bij verschillende overleggen binnen het waterkeringen team Sweco.

In het begin van mijn afstudeerperiode mocht ik nog elke maandag naar kantoor met het gehele waterkeringen team, om daar niet alleen aan mijn opdracht te werken maar ook om aan te schuiven bij verschillende overleggen zoals planningsoverleggen, kennisoverleggen, veiligheidsoverleggen, koffiemomenten enz. Dit was erg leerzaam om zo het team beter te leren kennen en goed te kunnen zien wat Sweco als bedrijf doet en hoe alles in zijn werk gaat. Vanaf eind November kon ik helaas helemaal niet meer naar kantoor door de lockdown en moest ik volledig thuis werken. Dit heeft mij wel positief geholpen door veel meer zelfstandig te zijn en mijn tijd goed in te zetten om zo productief mogelijk te blijven door het maken van planningen. Om nog wel voldoende in contact te blijven met mijn collega's heb ik wel nog steeds online deelgenomen aan de overleggen en hebben we met mijn bedrijfsbegeleider extra momenten ingepland om te sparren over mijn afstudeeropdracht.

Technische competenties:

Monitoren, toetsen en evalueren (B6)

Aantonende producten: multicriteria analyse, conclusie en aanbevelingen voor het vervolgonderzoek.

Door een multicriteria analyse uit te voeren voor de gevonden monitoringstechnieken in het vooronderzoek heb ik laten zien dat ik in staat ben de bevindingen uit het onderzoek zo objectief mogelijk te evalueren. Zo heb ik alle factoren op een rijtje gezet en kunnen zien welke soorten technieken eruit springen en welke technieken een goede versterking kunnen zijn van andere technieken om uiteindelijk een combinatie voor te stellen. In de conclusie en aanbevelingen van het rapport heb ik aangegeven in hoeverre het vraagstuk is opgelost en welke punten verder kunnen worden uitgewerkt in een vervolgonderzoek om zo het rapport te optimaliseren.

Specificeren (B3)

Aantonende producten: casus monitoringsplan(kostenvergelijking), monitoringstechnieken uitwerken.

De onderzoeksvraag van deze afstudeeropdracht is aanvankelijk vrij complex dus heb ik de hoofdvraag gespecificeerd in meer ruimtelijke vraagstukken om deze zo beter te kunnen uitwerken. Voor deze opdracht heb ik ervoor gekozen eerst een generiek monitoringsplan op te stellen. Hierbij zijn de gekozen technieken op een dieper niveau uitgewerkt en is er nagedacht over eisen, locaties van metingen, dataverwerking, dataverzameling enz. voor elke techniek. Vervolgens heb ik het plan toegepast in een casus (bestaand project) om zo het plan te specificeren en de betrouwbaarheid/haalbaarheid van het plan te toetsen. Met behulp van een kostenvergelijking heb ik aangetoond wat de toegevoegde waarde(baten) van het toepassen van het monitoringsplan is.

Ontwerpen (B2)

Aantonende producten: generiek monitoringsplan, kostenvergelijking.

Vanuit het literatuuronderzoek van deze opdracht en alle bevindingen die hieruit te halen zijn ben ik verder gegaan met het opstellen van een generiek monitoringsplan. Ik heb aangetoond dat ik de competentie ontwerpen heb behaald door het opstellen van een monitoringsplan op basis van maatgevende parameters en eisen, via alternatieven naar een afgewogen keuze (combinatie technieken). Het maken van de kostenvergelijking hoort ook bij deze competentie, aangezien dit generieke plan een positieve bijdrage geeft aan de waterveiligheid van Nederland door met een lager budget de dijk onder controle te houden.

3. Conclusie (Persoonlijke reflectie)

Mijn vorige ervaringen (stages en banen) waren allemaal bij aannemers en voornamelijk in de uitvoering, daarom wilde ik graag voor mijn afstuderen een kijkje nemen bij een ingenieurbureau. Zo kan ik na mijn opleiding een beter afgewogen keuze maken in welke richting ik mij verder wil ontwikkelen. Aan het begin van mijn afstudeerperiode was het nog wennen aan de manier van werken binnen het bedrijf en het tempo waarop dit ging. Ik merkte een stuk minder gehaast dan bij een aannemer en alleen maar binnenwerk. Betreft de opdracht was ik heel enthousiast aangezien het een onderwerp is wat actueel is en een erg positieve bijdrage kan leveren niet alleen aan het bedrijf Sweco op het gebied van kennis maar ook een mogelijke keuze is voor aankomende dijkversterkingen om eerst te kijken of monitoren niet een betere keuze is gezien het budget.

De collega's binnen het team waren ook erg enthousiast over mijn onderwerp en wilde graag helpen waar nodig. Dit heeft het erg makkelijk gemaakt om goed contact te leggen met mijn medecollega's. Ook heb ik meegedaan aan alle teamoverleggen om zo te weten te komen waar iedereen eigenlijk mee bezig is en hoe het allemaal in zijn werk gaat. Het contact leggen met collega's en het te weten komen hoe het bedrijf in zijn werk gaat zijn allemaal leerdoelen die ik voor mijzelf gesteld had. Dit doel heb ik behaald, maar ik had het wel anders ingebeeld. Helaas kon ik in het begin alleen maar op maandagen naar kantoor en daarna helemaal niet meer door de lockdown. Hierna werden alle gesprekken en overleggen met het team online. Ik heb wel nogsteeds geprobeerd zoveel mogelijk contacten te leggen, maar had het misschien fijner gevonden als het op kantoor ook kon.

Ook heb ik om de aantal weken een korte presentatie gegeven aan het team over de stand van zaken van mijn opdracht om hun zoveel mogelijk te kunnen betrekken in het proces. Dit heeft mij erg geholpen in het oefenen van presentaties geven en het ontvangen van feedback om mijn onderzoek tot een hoger niveau te brengen.

Met mijn schoolbegeleider heb ik ook om de twee weken een gesprek gepland om de stand van zaken te bespreken en eventuele feedback te ontvangen. Het was erg fijn om los van het bedrijf vanuit school ook deze feedback te krijgen zo kon ik de kwaliteit van het rapport bewaren.

Sterke punten van mij die ik heb teruggezien in deze periode is mijn mate van zelfstandigheid en geordendheid. Ik heb mijzelf kunnen laten zien dat ik verantwoordelijkheden, deadlines, afspraken enz. goed kan nakomen. Ik kan erg productief zijn voor langere periodes en de kwaliteit van mijn rapport hoog blijven houden. Ook heb ik geleerd dat ik goed contacten kan leggen met collega's zelfs als het alleen maar online kan, zo kan ik altijd koffiemomentjes inplannen en even sparren over van alles om meer te weten te komen over dit vakgebied.

Zwakke punten waar ik in de toekomst meer aan kan werken zijn bijvoorbeeld presentaties geven en meer focus hebben voor binnenwerk. Ik merk dat ik mij meer moet voorbereiden voor presentaties om deze zo goed mogelijk te kunnen geven. Ik ben meestal heel erg enthousiast over het onderwerp en wil er alles over vertellen, maar dan kan ik tijdens het presentatie geven toch een beetje nerveus worden. Na deze ervaring merk ik wel dat mijn hart nogsteeds bij de uitvoering ligt. Het buitenwerk en het visueel zien hoe een project wordt gemaakt maakt mij erg blij en gemotiveerd om verder te gaan en te ontwikkelen in dit gebied. Ik ben erg blij dat ik tijdens deze periode de kans heb gekregen het binnenwerk ook mee te maken, hieruit heb ik namelijk de keuze kunnen maken dat ik toch graag in de uitvoering wil gaan werken. Toch zou ik in de toekomst wel willen werken aan mijn focus voor binnenwerk door meer computerwerk op mij te nemen en dit zelfstandig op te pakken.

Bijlage

Bijlage 1 Competenties

De opleidingskwalificaties zijn afgeleid van landelijk vastgestelde eindkwalificaties in het hbo-domein Built Environment. In de eindkwalificaties is een onderscheid gemaakt tussen competenties en aandachtsgebieden. Er zijn 6 technische competenties en 6 generieke hbo-competenties. De technische competenties refereren aan het zogenoemde maak- of ontwerpproces. De generieke competenties zijn in alle fasen van belang. De aandachtsgebieden beschrijven de kennis en vaardigheden die horen bij de competenties.

Technische en hbo-competenties

Voor de opleiding zijn de volgende technische en hbo-competenties geformuleerd.

	Technische competentie	Omschrijving
B1	Initiëren en sturen	Je kunt maatschappelijk belangrijke ruimtelijke opgaven signaleren en agenderen. Deze vraagstukken kunnen op zowel een concrete als abstract niveau voorkomen en zullen meerdere componenten bevatten, zoals demografische, economische, sociale, technische, ecologische en politieke vragen. Je kunt de aanleiding van de opgave benoemen en de relevantie van het vraagstuk beschrijven. Je kunt daardoor de ruimtelijke opgave plaatsen in een bredere maatschappelijke context plaatsen.
B2	Ontwerpen	Vanuit een beschrijving van de opgave en mogelijke kaders waarbinnen de opgave moet worden opgelost kun je deze conceptualiseren, visualiseren en verder uitwerken tot een plan, model, advies, ruimtelijk of technisch ontwerp. Je werkt op basis van een programma van eisen en wensen eisen en verwachtingen, via alternatieven naar een afgewogen keuze.
B3	Specificeren	Visie ontwikkelen op ruimtelijke vraagstukken. Op basis van gedefinieerde ruimtelijke vraagstukken kun je de doelstelling vertalen en uitwerken. Je doet dit vanuit het perspectief van de belanghebbenden. Dit veronderstelt inzicht in de problematiek, kennis van een procesmatige benadering en kennis van financiële en technische aspecten van mogelijke oplossingen en van instrumenten, en een integrale visie op oplossingsrichtingen en haalbaarheid.
B4	Realiseren	Je kunt op basis van diverse plannen het implementatieproces vormgeven en aansturen. Dit betekent dat je (strategische) plannen en ontwerpen kunt vertalen naar uitwerkingsplannen en -processen. Je bent in staat belangen van betrokken partijen goed af te stemmen en een project van de initiatief- tot de realisatiefase te begeleiden. Je hebt bij dit alles aandacht voor duurzaam beheer.
B5	Beheren	Maken van een beheer- en onderhoudsplan voor het behouden van de kwaliteit.
B6	Monitoren, toetsen en evalueren	Je bent in staat de gekozen oplossingen en bereikte resultaten zo objectief mogelijk te evalueren. Je bent in staat de resultaten op verschillende abstractieniveaus en vanuit het perspectief van verschillende betrokken actoren uit te werken. Je bent in staat dit waar mogelijk met kwantitatieve en kwalitatieve gegevens te onderbouwen. Je kunt, waarmee je de effectiviteit en efficiëntie van de gekozen oplossingen aangeven. Op deze wijze ben je in staat aan te geven in hoeverre het ruimtelijk vraagstuk is opgelost, en in welke mate de ontstane ambities en verwachtingen zijn ingelost. Je kunt waar mogelijk of nodig vervolgacties definiëren.

Generieke hbo-competentie		Omschrijving
G1	Onderzoeken	Je bent in staat een vraagstuk te analyseren en de vraag te identificeren. Je kunt praktijkgericht onderzoek methodisch opzetten en uitvoeren. Je kunt relevante gegevens verzamelen en interpreteren met het doel een oordeel te vormen.
G2	Communiceren	Je brengt beroepsgerichte informatie over naar betrokkenen het beroepenveld, collega's en de vast te stellen doelgroepen (klanten, opdrachtgevers, betrokkenen). Je bent in staat zowel intern als extern te communiceren op een, voor de doelgroep, passende wijze. Communiceren bevat het gehele spectrum waarop informatie ontvangen, gegeven en gedeeld wordt.
G3	Samenwerken	Je bent gericht op samenwerken en constructief afstemmen met medeprofessionals, betrokkenen en de doelgroepen. Je kunt (bege)leidinggeven aan samenwerkingsprocessen.
G4	Managen	Je geeft richting en sturing aan processen om de doelen te realiseren. Je bent zelfsturend en reflectief op het eigen functioneren. Je bent proactief, neemt initiatief en kan buiten kaders denken en werken.
G5	Innoveren	Je bent in staat een product of proces te innoveren. Innovatie kan variëren van optimalisering, via verbetering of verandering tot vernieuwing of transitie.
G6	Leren en verder ontwikkelen	Je demonstreert dat je in staat bent zelfstandig te leren en verder ontwikkelen voor de professionalisering van de eigen beroepsuitoefening. Je hebt inzicht in je eigen ontwikkeling, kennis van leermethoden die voor jouw werken en vaardigheden om je te ontwikkelen.

Competentie niveau

Niveau	Aard van de taak	Aard van de context	Mate van zelfstandigheid
I	Eenvoudig Gestructureerd Past bekende methoden toe	Bekend Eenvoudig Monodisciplinair	Sturende begeleiding
II	Complex Gestructureerd Hanteert bekende methoden in wisselende situaties	Bekend Complex Monodisciplinair In de praktijk	Coachende begeleiding
III	Complex Ongestructureerd Hanteert methoden bij nieuwe situaties	Onbekend Complex Multidisciplinair In de praktijk	Zelfstandig Begeleiding indien nodig

Bijlage 3 Vooronderzoek

Zie vanaf de volgende pagina het vooronderzoek voor deze afstudeerscriptie.

Monitoring van Primaire dijken



*18 Oktober 2021
Vooronderzoek afstuderen*

*Shikal Arif - 18035213
Docent - Witesh Bharos*

Voorwoord

Het laatste onderdeel binnen het laatste semester van mijn studie Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool is een afstudeeropdracht die na voltooiing resulteert in het behalen van het diploma. Het afronden van deze opdracht zal aantonen dat ik de door mij gekozen competenties beheers en dat de eindrapportage voldoet aan het niveau van een 'young professional' die klaar is om een functie te bekleden binnen de sector civiele techniek. De zes gekozen competenties dienen op een niveau III uitgevoerd te worden en zijn verdeeld in generieke en technische competenties.

De afstudeeropdracht zal ik uitvoeren bij Sweco Nederland B.V. Tijdens mijn baan bij de RijnlandRoute als assistent uitvoerder heb ik kennisgemaakt met een collega van Sweco (Jan van Egdom – projectleider). Deze persoon heeft mij erg gemotiveerd om bij Sweco een afstudeeropdracht te maken. Aangezien mijn vorige ervaringen allemaal te maken hadden met de uitvoering van projecten leek het mij erg interessant om voor het afstuderen bij een ingenieursadviesbureau te lopen. Tijdens mijn studie heb ik de specialisatie Waterbouw gekozen, zo zocht ik ook naar een bedrijf die veel te maken had met waterbouwkundige projecten. Al met al past het bedrijf Sweco erg goed bij mijn doelen en wensen voor mijn afstudeerperiode.

Het onderwerp (of doelstelling) waaraan ik zal werken luidt als volgt: 'Oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente dijktrajecten.' Gedurende 20 weken zal ik dieper in deze materie duiken, waarbij ik informatie/data zal verzamelen en verwerken om zo aan het eind van deze periode het bedrijf te voorzien van kennis betreft monitoring van dijken. Hiermee kan de monitoring van dijken op een dieper niveau geïmplementeerd worden in het bedrijf en zo bij aankomende projecten toegepast worden.

In dit vooronderzoek zal de literatuur onderzocht en geanalyseerd worden betreft monitoringstechnieken gefocust op het faalmechanisme piping. Met als doel een conclusie te kunnen trekken hoe het monitoringsplan in grote lijnen wordt opgesteld in het eindrapport.

Algemene Informatie



Studentgegevens

*Student aan de Haagse Hogeschool
(Specialisatie Waterbouw)*

Shikal Arif 18035213

E-mail school: 18035213@student.hhs.nl

E-mail persoonlijk: shikal.arif@hotmail.com

Tel: +31633343535

Adres: Stadhoudersring, 2713GR, Zoetermeer

Afstudeerbedrijf

Sweco Nederland B.V.

De Holle Bilt 22, 3732 HM De Bilt, Nederland

Afdeling Waterbouw

Team Waterkeringen

+31 88 811 66 00

info@sweco.nl

Begeleider Sweco

Martine Stam

Adviseur waterkeringen

06-12641526

martine.stam@sweco.nl

1^{ste} Schoolbegeleider

Witesh Bharos

Docent water en geotechniek

06-18998489

wbharos@hhs.nl

2^{de} Schoolbegeleider

Wim mantje

Docent water

06-39080613

w.j.mantje@hhs.nl

Inhoud

Voorwoord.....	1
Algemene Informatie	2
1. Inleiding.....	3
1.1 Aanleiding en achtergrond.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
1.2 Probleemstelling	4
1.3 Doelstelling	4
1.4 Onderzoeksvraag en deelvragen.....	5
1.5 Leeswijzer	5
2. Het faalmechanisme Piping.....	6
2.1 Wat is piping	6
2.2 Fases piping.....	6
2.3 Voorkomen van piping.....	8
2.4 Toetsing dijken op piping	9
2.4.1 Gegevens verzamelen.....	9
2.4.2 Methode van Bligh.....	10
2.4.3 Methode van Sellmeijer.....	11
2.5 Beoordeling piping	12
2.6 Belang monitoring.....	12
3. Monitoringstechnieken piping	13
3.1 Deformatie	13
Total station (Tachymeter).....	13
Convergentie-opnemer.....	13
Digitale camera.....	14
Extensometer.....	14
GPS ontvangers	14
Grondradar	15
Hellingmeetbuis	15
Hellingmeter.....	16
HR Satellietbeelden	16
Laseraltimetrie	16
Radar.....	17
SP (self-potential).....	17
Visuele inspectie	18
3.2 Temperatuur	18
Glasvezelkabel	18
Temperatuurmeters.....	19
Infraroodcamera.....	19

3.3 Geluid	19
Akoestische emissie	19
3.4 Waterdruk	20
Debietmetingen bovenstrooms en benedenstrooms	20
Seismiek.....	20
Waterspanningsmeter	21
Water injecteren onder constante druk	21
3.5 Gronddruk.....	22
Totaal drukopnemer.....	22
3.6 Dichtheid	22
Boringen	22
Dichtheidsmeter	22
Elektromagnetische metingen en geo-elektrische metingen.....	23
3.8 Doorlatendheid	23
Pompproef	23
Sonderingen.....	23
3.9 Multicriteria analyse	24
3.9.1 Criteria	24
3.9.2 Resultaten en conclusie.....	25
4. Monitoringsplannen beheersorganisaties	26
4.1 Inleiding.....	26
4.1.1 Aanleiding experiment	26
4.1.2 Deelnemers	26
4.1.3 Opzet experiment.....	26
4.2 Monitoringsplannen	27
4.2.1 TenCate/Inventec	27
4.2.2 StabiAlert.....	29
4.2.3 MetaSensing	31
4.2.4 Koenders.....	32
4.2.6 InTech.....	33
4.2.7 Empec	34
4.2.8 Volker Wessels Telecom/Landustrie	35
4.2.9 Alert Solutions	36
4.3 Overzicht en conclusie monitoringsplannen	38
4.3.1 Overzicht	38
4.3.2 Conclusie	39

5. Conclusie	39
Bibliografie	40
6. Bijlage.....	41
Bijlage 1 Motivatie keuzes MCA-meettechnieken	41

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Nederland is een delta: een laaggelegen land met veel water. Deze ligging maakt Nederland kwetsbaar voor overstromingen. Ten opzichte van de jaren '60 is de bevolking gegroeid van 10 naar 17 miljoen en is de economische waarde in de overstroombare gebieden sterk toegenomen (toename van het BNP van 17 naar 400 miljard Euro). Daarnaast is er sinds de jaren '60 veel kennis ontwikkeld om overstromingsrisico's (kansen en gevolgen) beter te kunnen berekenen. (Most, 2019)

Dit waren de belangrijkste redenen om de vorige wettelijke normen, gebaseerd op inzichten uit de periode 1953-1960, te actualiseren. In 2006 is gestart met het beleidstraject Waterveiligheid 21e eeuw dat vervolgens is voortgezet in het Deltaprogramma Veiligheid. In het Deltaprogramma wordt jaarlijks voor de eerstvolgende zes jaren aangegeven welke maatregelen en voorzieningen in die periode zullen worden uitgevoerd. En welke middelen beschikbaar worden gesteld voor de verschillende opgaven. Op Prinsjesdag 2014 zijn de uitkomsten van dit traject gepresenteerd in de deltabeslissing Waterveiligheid. Vervolgens zijn per 1 januari 2017 nieuwe normen opgenomen in de Waterwet.

Het verbeteren van de waterkeringen is een continue opgave. Er is niet voldoende budget vanuit het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) om de dijken in één keer te versterken. De nieuwe waterveiligheidsnormen binnen het Deltaprogramma bieden het kader om de keringen aan te passen aan veranderende omstandigheden. Primaire waterkeringen worden opnieuw beoordeeld en verbeterd wanneer ze niet aan de nieuwe normen voldoen. Uiterlijk in 2050 moeten de keringen aan de nieuwe normen voldoen. De nieuwe waterveiligheidsnormen brengen veel veranderingen ten opzichte van de oude systematiek. De nieuwe normering laat vrijheid waar, wanneer en hoe keringen worden verbeterd. Er is ruimte om mee te koppelen met regionale ontwikkelingen en om de waterkeringen doelmatig te verbeteren met minimale hinder voor de omgeving. De uitdaging is om die vrijheidsgraden bij het ontwerp optimaal te benutten.

Bij Sweco zijn ze gestart met de eerste partiële versterking in Nederland: SAFE (tussen Streefkerk en Fort Everdingen). Hierbij wordt de dijk geschaald op Evident Veilig, Urgent en Niet-Urgent. 'Echt slechte' stukken zijn urgent en worden direct aangepakt. De niet-urgente stukken, zijn net onvoldoende beoordeeld, maar worden niet direct versterkt. Deze dijkdelen moeten echter enkele tientallen jaren later wel worden versterkt. In de tussentijd moeten die dijkdelen in de gaten worden gehouden. Zichtjaren kunnen worden toegepast om een indicatie te maken wanneer het dijkdeel wel versterkt moet worden. De vraag wordt steeds groter om op basis van kennis de 'zwakkere' dijktrajecten in beeld te hebben en hier de juiste monitoring op af te stemmen. Dit komt doordat er te weinig budget zal zijn om al deze dijkdelen tegelijkertijd te versterken. Een voorbeeld van een project die monitoring toepast is de Dijkversterking van Den Oever – Den Helder (HWBP). Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een monitoringstool die de niet-urgente dijkdelen in de gaten houdt. De monitoringstool geeft inzichten in de actuele veiligheidssituatie voor het dijktraject, waardoor het keuzeproces actueel en duidelijk blijft over wanneer en hoe er ingegrepen moet worden bij de niet urgente dijkdelen zonder dat dit ten koste gaat van de kwaliteit en dus de waterveiligheid. (witteveenbos, 2021)

1.2 Probleemstelling

Het team waterkeringen heeft momenteel een extra behoefte aan kennis betreft de verschillende soorten monitoring en de toepassing hiervan. Het is van belang om meer kennis op te bouwen betreft monitoring om bij te kunnen dragen aan de waterveiligheid van Nederland.

Er zijn verschillende soorten monitoring geschikt voor verschillende periodes in een dijkversterkingsproject zoals bijvoorbeeld: kortdurende monitoring bij het beoordelen van de dijken, langdurige monitoring voor dijken die niet-urgent zijn en monitoring tijdens uitvoering. Het is van belang om een efficiënte manier van monitoring toe te passen die goed de verhouding in balans houdt tussen kosten (in monitoring of versterking) en baten (waterveiligheid) van een project.

Bij deze opdracht wordt er gekeken naar oplossingen om op een efficiënte manier monitoring toe te passen op de niet-urgente primaire dijktrajecten ten behoeve van het voorkomen van het faalmechanisme piping en in hoeverre monitoring van belang is bij deze dijktrajecten.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze afstudeeropdracht is om een monitoringsplan te ontwikkelen die toegepast kan worden bij partiële dijkversterkingen (niet-urgente dijkdelen) van primaire dijktrajecten gefocust op het faalmechanisme piping. De kosten en baten voor dit monitoringsplan worden tegen elkaar afgewogen om te kunnen zien in hoeverre een monitoringsplan een positieve bijdrage geeft.

1.4 Onderzoeksvraag en deelvragen

Onderzoeksvraag:

“Hoe kan dijkmonitoring ingezet worden voor risico gestuurde (partiële) dijkversterking?”

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden dienen de volgende deelvragen te worden doorlopen:

1. Welke monitoringsmethodes zijn momenteel vindbaar in de literatuur betreft het faalmechanisme piping?
 - Wat meten deze monitoringstechnieken?
 - Hoe kun je met de monitoringstechnieken aantonen of een dijkstrekking een signaalwaarde qua sterkte bereikt? (meetnauwkeurigheid)
 - Wat zijn voor- en nadelen van elke methode?
 - Wat zijn de verschillen/overeenkomsten van de methodes?
2. Wat voor monitoringsplannen hebben beheersorganisaties al geschreven?
 - Wat houden deze plannen in?
3. Hoe worden de verschillende monitoringstechnieken uitgevoerd? (Uitvoeringsmethode)
 - Hoeveel tijd kost het om de verschillende methodes uit te voeren?
 - Welke monitoringstechnieken zijn het meest efficiënt met de verhouding tussen kosten en baten? (+/-)
4. Welke monitoringstechnieken kunnen gecombineerd worden?
 - Hoe werkt deze gecombineerde techniek?
 - Hoe kan de techniek toegepast worden op een bestaand project?
 - Wat is de verhouding tussen kosten en baten bij dit project? (Kengetallen)
5. Waar kan het uitgewerkte monitoringsplan eventueel nog verder geoptimaliseerd worden?
 - Hoe wordt er met behulp van monitoring de veiligheid verhoogd?
 - Welke tekortkomingen/beperkingen heeft de nieuwe monitoringstechniek en waar is er dus nog ruimte voor verbetering?
 - In hoeverre is de investering van tijd en geld in het optimaliseren de moeite waard: wegen de kosten op tegen de baten?

1.5 Leeswijzer

Dit vooronderzoeksrapport doorloopt de eerste drie deelvragen van het onderzoek betreft monitoring die voor deze afstudeeropdracht zijn gesteld. De opgedane kennis vanuit de literatuur en interviews wordt geanalyseerd en meegenomen naar het eindrapport waarbij een monitoringsplan zal worden opgesteld met betrekking tot het faalmechanisme piping.

In Hoofdstuk 2 wordt er uitgelegd wat het faalmechanisme piping inhoudt, de verschillende fases van piping, het voorkomen van piping, toetsing, beoordeling en het belang van monitoring betreft piping. Bij Hoofdstuk 3 worden verschillende monitoringstechnieken beschreven betreft het faalmechanisme piping. Bij elke techniek wordt er gekeken naar de uitvoering van de techniek, voor- en nadelen en verschillen en overeenkomsten van de betreffende techniek in de vorm van een multicriteria analyse. In Hoofdstuk 4 worden monitoringsplannen van beheersorganisaties onderzocht en toegelicht. Bij elk plan wordt er gekeken naar de techniek en de meetstrategie. Daarna volgt er een paragraaf met een overzicht en conclusie betreft de plannen in de vorm van een tabel. Vervolgens worden er in Hoofdstuk 5 conclusies getrokken betreft de opgedane kennis van dit rapport en wat er nog volgt in het volgende rapport. Hoofdstuk 6 bevat de bibliografie en in Hoofdstuk 7 de bijlage waarin de motivatie van de keuzes in de multicriteria analyse (Hoofdstuk 3.9) zijn beschreven.

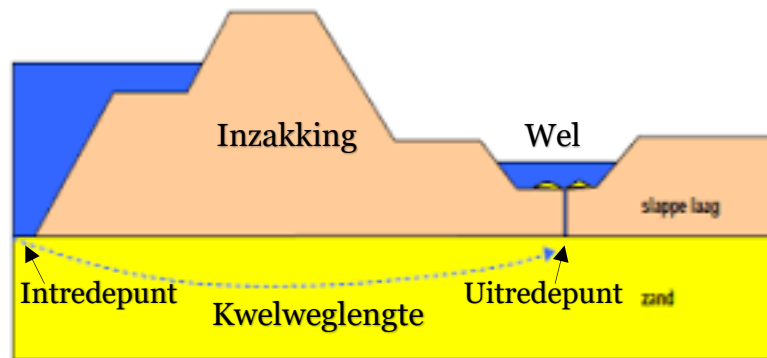
2. Het faalmechanisme Piping

2.1 Wat is piping

Dijken beschermen ons land tegen overstromingen. Zonder dijken en duinen zou de helft van Nederland onder water staan. Maar dijken kunnen bezwijken. Een van de oorzaken daarvan is piping. Maar wat is dat eigenlijk? En hoe kunnen we het voorkomen?

Piping kan voorkomen tijdens hoogwatersituaties. Door het grote verschil in waterstand, voor en achter de dijk, ontstaan drukverschillen. Door die drukverschillen kan water onder de dijk doorstromen en achter de dijk weer naar boven komen. Hier ontstaat een wel, een plek waar (kwel-)water uit de grond omhoogkomt.

Dit is op zich niet ongebruikelijk, maar wanneer het hoge water en het verschil in waterdruk aanhouden, kan water met een hoge snelheid door de zandlaag onder de dijk gaan stromen. Dit leidt nog niet tot het falen van de dijk, maar wanneer dit stromend water zanddeeltjes meeneemt, ontstaat de kans dat er een kanaal (pipe) onder de dijk door ontwikkeld. Als dit proces langer doorgaat, kan uitslijting van het kanaal uiteindelijk leiden tot het inzakken van de dijk. Zie figuur 1.



Figuur 1: Piping

2.2 Fases piping

Het faalmechanisme piping is onder te verdelen in negen fasen. Deze fasen zijn weergegeven in Figuur 2. Fase nul is niet in het figuur weergegeven omdat dit nog niet de start van het pipingproces beschrijft maar de basis. (Gerritsen, 2013)

0. Toenemen van de waterspanning en opdrijven

Piping kan plaatsvinden wanneer er onder de waterkerende constructie een cohesieve deklaag aanwezig is met daaronder een watervoerend pakket. Wanneer het watervoerend pakket met het buitenwater in contact staat, zal bij een toenemende buitenwaterstand horizontale grondwaterstroming op gang komen. Door deze grondwaterstroming kan de stijghoogte in het achterland oplopen. Hierdoor kan er opbarsten en piping plaatsvinden.

1. Opbarsten cohesieve deklaag

Als de stijghoogte in het watervoerend pakket groter is dan het gewicht van de cohesieve deklaag is er sprake van wateroverdruk. Wanneer die overdruk groot genoeg is, zal het grondwater in de zandlaag een uitweg naar boven vinden. Door het opdrijven kunnen scheurtjes in de afdekkende laag ontstaan, waardoorheen het kwelwater zich een weg zoekt naar het maaiveld. Dit wordt opbarsten van de deklaag genoemd. Zonder het opbarsten van de deklaag kan er geen piping ontstaan omdat er dan geen directe verbinding is tussen de binnen- en buitendijkse zijde.

2. Welvorming

Als het grondwater een weg vindt door de cohesieve deklaag als gevolg van de wateroverdruk kan er een kwelweg ontstaan in de deklaag. Door erosie van deze kwelweg ontstaat in de cohesieve deklaag een kanaal, het zogenaamde opbarstkanaal, waardoor wellen op het maaiveld of op de waterbodem ontstaan in het geval dat achter de dijk een waterpartij (bijvoorbeeld een sloot) ligt.

3. Eroderen van de zandlaag

Door het opbarstkanaal stroomt grondwater vanuit het watervoerend pakket richting het maaiveld. Er ontstaat een wel. Door de, uit de zandlaag uittredende kwel, worden zanddeeltjes vanuit de zandlaag naar het opbarstkanaal getransporteerd. Het opbarstkanaal wordt daardoor opgevuld met zand dat zich in gefluïdiseerde toestand bevindt. De stromingsweerstand in het opbarstkanaal neemt daardoor toe. Er zijn nu twee mogelijkheden:

- Door de toegenomen weerstand neemt de stroomsnelheid ter plaatse van het uittredepunt in de zandlaag af waardoor het erosieproces stopt en de wel 'schoon' water gaat produceren.
- De stroomsnelheid neemt onvoldoende af, waardoor de aanvoer van zand naar het opbarstkanaal door blijft gaan. Wanneer de stroming krachtig genoeg is (als het verval over de dijk voldoende hoog is), wordt zand uit de zandlaag in de omgeving van het opbarstkanaal geërodeerd, door de kwelstroom via het opbarstkanaal naar het maaiveld meegevoerd en rondom de uitstroomopening van de wel afgezet. Daar ontstaat dan een zandkrater. De diameter van het opbarstkanaal kan variëren afhankelijk van de stroomsnelheid en de erodeerbaarheid van het materiaal in de afdekkende laag. In de zandlaag ontstaat een holle ruimte ter plaatse van het opbarstkanaal, die zich later boven in de zandlaag direct onder de deklaag in vorm van kanaaltjes (pipes) in bovenstroomse richting (richting buitenwater) uitbreidt. Dit wordt terugschrijdende erosie genoemd. Er ontstaan door vertakkingen kanaaltjes in de bovenkant van de zandlaag. Deze kanaaltjes blijven in stand omdat de deklaag cohesief is.

4. Pipevorming en verder eroderen van de zandlaag

Bij een groot genoeg verval over de kering zullen de erosiekanaaltjes blijven groeien, tot ze het buitenwater bereiken.

5. Doorgaande pipe

Als de kanaaltjes het buitenwater bereiken is er een open verbinding tussen het buitenwater en het uittredepunt ontstaan, waardoor er een doorgaande pipe ontstaat.

6. Verbreding van de pipe (ruimen)

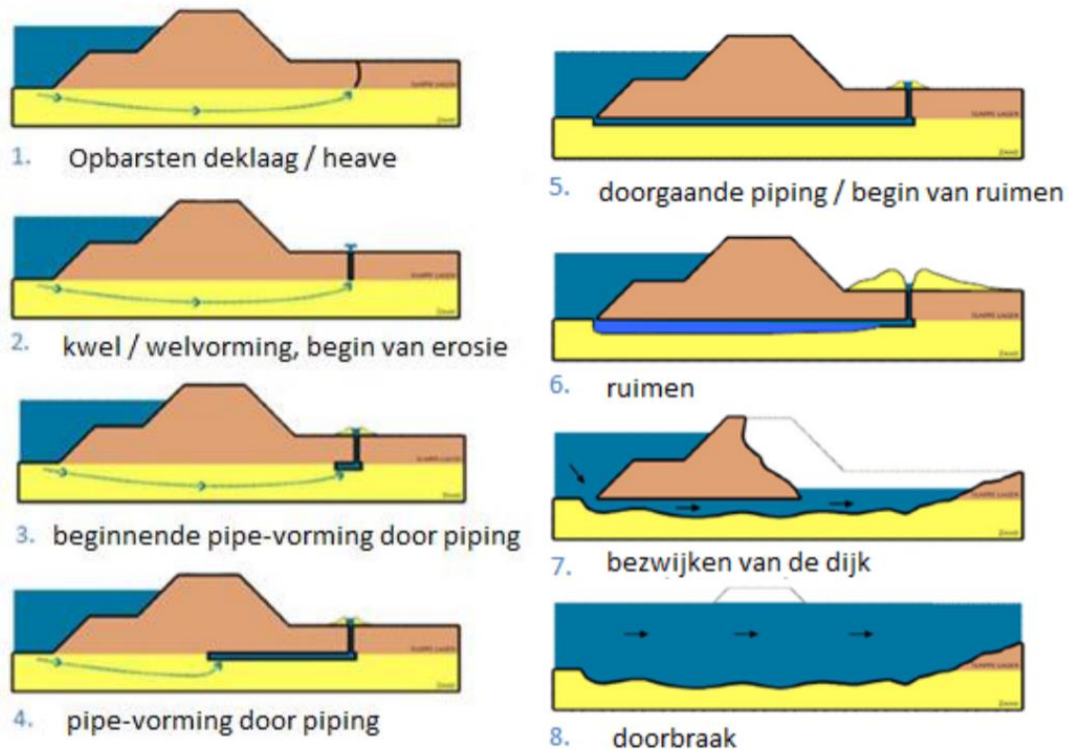
Zodra het kanaaltje contact maakt met het water aan de buitenzijde van de dijk, treedt het ruimproces op. Onder 'ruimen' wordt het proces verstaan waarbij het kanaaltje door een drukgolf die met de stroom meeloopt, vanaf de buitenzijde naar de binnenzijde, versneld verder gaat eroderen.

7. Bezijken van de dijk

Uiteindelijk zal dit leiden tot holle ruimten onder de waterkering die dusdanig groot zijn dat inzakken, van het dijklichaam zal optreden. Bij een voldoende hoge waterstand zal dan een breuk in de dijk ontstaan en zal dit tot dijkdoorbraak leiden. In kleinschalige proeven is waargenomen dat de verdere erosie van de zandlaag na het ontstaan van een doorgaande pipe zeer snel, dat wil zeggen in de orde van minder dan een minuut, verloopt. (Gerritsen, 2013)

8. Dijkdoorbraak

De dijk breekt door.



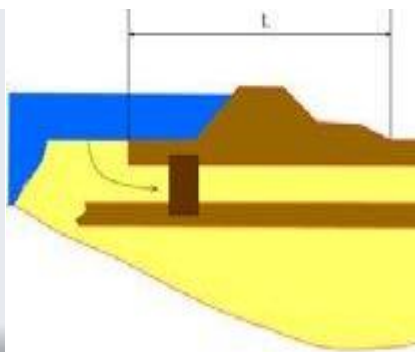
Figuur 2: fases piping (Gerritsen, 2013)

2.3 Voorkomen van piping

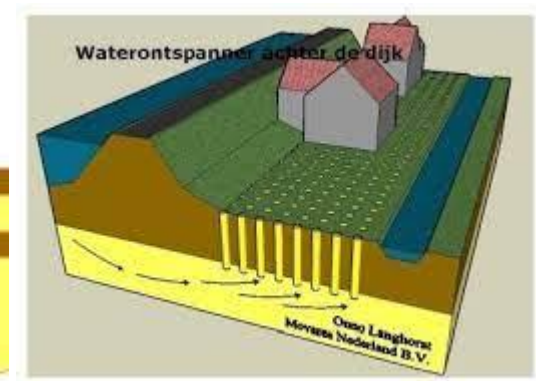
Er bestaan verschillende methodes om te voorkomen dat piping ontstaat bij het ontwerp van de dijk. In deze paragraaf worden er een aantal toegelicht. Het aanbrengen van verticaal zanddicht geotextiel is een manier om piping te voorkomen. Het doek van het geotextiel laat water door, maar geen zand, waardoor het doorgroeiproces van de "pipe" gestopt wordt. Zie figuur 3. Ook een kleikist is een optie. Een kleikist is een dikke, niet zo brede kleilaag die bij een dijk wordt aangebracht om deze waterdicht te maken: het kleipakket houdt erosie (afkalven), kwel en piping tegen. Zie figuur 4. Een andere mogelijkheid is het plaatsen van een aantal grindpalen achter de dijk. Hierdoor vermindert de waterdruk in de dijk en blijft het dijklichaam intact (het vrijkomende water moet wel afgevoerd worden). Zie figuur 5. (Beek, 2017)



Figuur 3: Verticaal geotextiel



Figuur 4: Kleikist



Figuur 5: Grindpalen achter dijk

2.4 Toetsing dijken op piping

2.4.1 Gegevens verzamelen

De volgende gegevens betreffende de geometrie en waterstanden zijn nodig bij de toetsing op piping of het ontwerpen van maatregelen:

- geometrie van de dijk
- geometrie binnendijs, ter bepaling van het uittredepunt (het maatgevende uittredepunt ligt in het algemeen bij de binnenteen, indien het binnendijkse maaiveld horizontaal is, anders is dit vaak het laagste punt/dunste deklaag)
- toetspeil of ontwerpwaterstand (MHW)
- binnendijkse waterstand (deze is meestal gelijk aan het maaiveldniveau ter plaatse van het uittredepunt indien geen open water voorkomt, bij sommige waterschappen is dit gelijk aan het winterpeil van de betreffende polder)

Grondonderzoek is nodig om de volgende gegevens te verzamelen:

de grondopbouw: onderzoek naar

Grondonderzoek is nodig om de volgende gegevens te verzamelen:

- de grondopbouw: onderzoek naar de grondopbouw geeft aan of er sprake is van een pipinggevoelige grondopbouw.
- het intredepunt: het intredepunt is het dichtst bij de dijk gelegen punt waar de watervoerende zandlaag in direct contact met het buitenwater staat, of waar de potentiaal in de zandlaag gelijk is aan de waterstand boven maaiveld.
- de dikte en doorlatendheid van de watervoerende zandlaag
- de dikte, soortelijk gewicht en doorlatendheid van de kleilaag binnendijs (deklaag).

Indien geen pipinggevoelig profiel aanwezig is, zal verder onderzoek niet nodig zijn.

Het onderzoek naar de grondopbouw geeft aan of er sprake is van piping of heave.

Er is sprake van Heave wanneer er drijfzand ontstaat ter plaatse van verticaal uittredend grondwater. Wanneer de buitenwaterstand stijgt en er stroming onder de dijk plaats vindt zal er door de omhooggerichte waterstroming drijfzand ontstaan. In dat geval wordt getoetst op heave met de methode van Lane of met de heaverregels. Als er geen sprake is van heave dan wordt er getoetst op piping met de methode van Bligh of Sellmeijer. Heave wordt onderscheiden van piping. Bij piping is er sprake van interne erosie van materiaal uit een watervoerende zandlaag die aan de bovenzijde is begrensd door een cohesieve laag, ten gevolge van een sterke kwelstroom (zie paragraaf 2.2, fases piping). (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1999)

2.4.2 Methode van Bligh

Piping zal alleen optreden als binnendijks wellen aanwezig zijn. Indien binnendijks een klei- of veenlaag voorkomt, kan alleen een wel ontstaan als een kanaaltje door deze laag aanwezig is. Er zijn een aantal oorzaken waardoor zo'n kanaaltje kan ontstaan:

- perforatie van de kleilaag door boor- of sondeergaten of door funderingspalen (is in de praktijk niet te controleren. Tijdens hoogwater zullen dergelijke gaten mogelijk aan het licht komen.)
- ontgravingen in de kleilaag voor grondverbeteringen of de aanleg van sloten of andere waterpartijen
- uitdroging van de kleilaag
- opbarsten van de kleilaag.

In die gevallen zal kwelweglengtecontrole met behulp van de rekenregels van Bligh of Lane moeten plaatsvinden.

Berekening volgens Bligh: $L > 1,5 \cdot CB \cdot H$

waarin:

L = kwelweglengte* [m]

H = verval over de constructie waarbij piping optreedt [m]

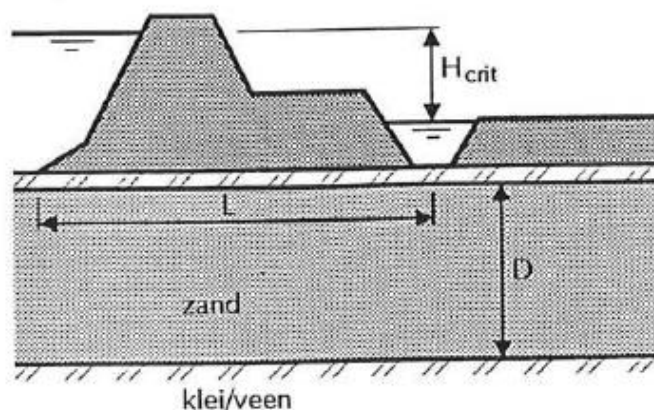
CB = constante afhankelijk van de grondsoort [-]

(zeer fijn slib: $CB = 18$, fijn zand: $CB = 15$, grof zand: $CB = 12$, grind met zand: $CB = 5$ tot 9)

De methode van Bligh is een eenvoudige toetsing op piping, waarin de aanwezige kwelweglengte wordt getoetst aan de kritieke kwelweglengte volgens Bligh. De aanwezige kwelweglengte wordt uit onderzoek verkregen. Indien het uittredepunt niet eenduidig is vast te stellen, dan wordt de toets voor meerdere uittredepunten gedaan, ieder met het bijbehorende verval.

De creep factor van Bligh wordt bepaald aan de hand van de geschatte korreldiameter van het zand in de watervoerende zandlaag. Als geen gegevens van het zand bekend zijn, dan wordt voor de creep factor de waarde 18 aangehouden. Dit is de bovengrens van de creep factor. Met deze waarde kan snel een toets op piping worden gedaan, als uitsluitend globaal het in- en uittredepunt bekend zijn. De methode van Bligh en de waarden die voor Creep worden aangegeven, kennen niet een uitgebreide probabilistische onderbouwing. Aangenomen mag worden dat het een veilige benadering is. Voor de kwelweglengte, of de diverse onderdelen daarvan en voor het binnendijkse maaiveldniveau dient de ondergrens te worden aangehouden.

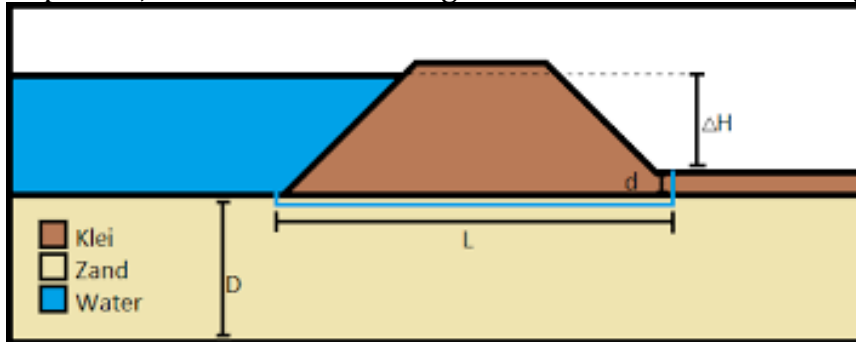
Als de aanwezige kwelweglengte kleiner is dan de benodigde kwelweglengte volgens Bligh, dan is er mogelijk gevaar voor piping. De beoordeling kan dan verder gaan met de rekenregel volgens Sellmeijer.



Figuur 6 Schematisering dijk

2.4.3 Methode van Sellmeijer

Met de methode van Sellmeijer wordt de kritieke kwelweglengte nauwkeuriger berekend. De methode van Sellmeijer levert bijna altijd een lagere kritieke kwelweglengte op in vergelijking met de methode van Bligh, indien de dikte van de watervoerende zandlaag relatief klein is. In het algemeen kan worden gesteld dat het zinvol is de methode van Sellmeijer toe te passen indien de dikte van de zandlaag kleiner is dan de kwelweglengte. Overigens wordt het aanbevolen de methode van Sellmeijer altijd toe te passen, als de ervoor benodigde informatie voorhanden ligt.



Figuur 7 Schematisering dijk

De formule luidt als volgt:

$$\Delta H_c = \alpha c (\gamma_p / \gamma_w) \tan(\theta) (0,68 - 0,10 \ln(c)) L$$

met:

$$\alpha = \left(\frac{D}{L}\right)^{0,28 / \left\{\left(\frac{D}{L}\right)^{2,8} - 1\right\}}$$

en:

$$c = \eta d_{70} (1/\kappa L)^{1/3}$$

met:

$$\kappa = (v/g) k$$

ΔH_c = kritieke verval over de waterkering [m]

γ_p = (schijnbaar) volumegewicht van de zandkorrels onder water [kN/m³]

γ_w = volumegewicht van water [kN/m³]

θ = rolweerstandshoek van de zandkorrels [°]

η = coefficient van White [-]

k = doorlatendheid van de zandlaag [m/s]

κ = intrinsieke doorlatendheid van de zandlaag [m²]

d_{70} = 70-percentielwaarde van de korrelverdeling [m]

D = dikte van de zandlaag [m]

L = lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten) [m]

v = kinetische viscositeit [m²/s]

g = zwaartekracht versnelling [m/s²]

De korrelverdeling is van invloed op de stabiliteit van de korrels in de pipe. Het is daarom van belang de korrelverdeling met name direct onder de slecht doorlatende laag, nabij de uitstroomopening te kennen. De zandmonsters kunnen om deze reden het beste binnendijks, nabij de dijk, worden genomen. Daarnaast dienen voldoende monsters beschikbaar te zijn om de karakteristieke waarde van de d_{70} te bepalen. Als absoluut minimum geldt een aantal van 3 monsters. Indien er minder dan drie monsters beschikbaar zijn kan de karakteristieke waarde niet worden bepaald. Als invoer in de formules van Sellmeijer wordt de karakteristieke ondergrens van het gemiddelde van de d_{70} gebruikt.

De doorlatendheid is voor het berekenen van de potentiaal bepaald op basis van globale gegevens. Voor de berekening met de methode van Sellmeijer is meer lokale en gedetailleerde informatie nodig. Omdat de korrelverdelingen al bekend moeten zijn, kan de doorlatendheid het eenvoudigst aan de hand van de korrelverdelingen worden bepaald. Het nauwkeurig bepalen van de doorlatendheid is niet eenvoudig. Eventueel kan een geohydroloog worden geraadpleegd.

2.5 Beoordeling piping

Bij het beoordelen van piping wordt het aanbevolen gebruik te maken van het piping beslisboom model. Het ENW (expertisenetwerk waterveiligheid) is groot voorstander van het mobiliseren van kennis en ervaring bij het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen. Dit wil zeggen dat de delen van de Beslisboom die betrekking hebben op het benutten van beheerderservaring, onderdeel zouden moeten zijn van de beoordeling en niet achteraf toegevoegd moeten worden. In de Beslisboom wordt in de periode van uitgestelde versterking teruggesproken op beheer- en beheersmaatregelen ten tijde van hoogwater. Het ENW is van mening dat dit type beheer moet gelden voor alle afgekeurde waterkeringen, dus niet alleen voor de uitgestelde. Daarnaast geldt dat de beheersmaatregelen ook goed uitvoerbaar moeten zijn onder extreme omstandigheden. Het ENW adviseert de gebruiker dan ook zeer bewust om te gaan met het risico dat wordt genomen. (Dijk, 2018)

2.6 Belang monitoring

Een dijk wordt ontworpen rekening houdend met voornamelijk drie onderdelen namelijk macrostabiliteit, hoogte van de dijk en piping. De hoogte van de dijk kan door visuele controle jaarlijks gemeten worden. Bij piping is het wat complexer te monitoren aangezien het een langzaam proces is en zich ondergronds bevindt. Het doel van monitoren voor de beoordeling van piping is, ongeacht het niveau van toetsing, om meer zekerheid te verkrijgen met betrekking tot de invoerwaarden van relevante parameters. Aangezien het toets schema conservatief is ingesteld, leidt minder onzekerheid in het algemeen tot minder conservatieve invoerwaarden en daarmee tot een gunstigere uitkomst. Na de beoordeling kan de uitkomst zijn dat de dijk niet-urgent is en dus nog enkele jaren vooruit kan zonder dijkversterking. Voor deze dijkvakken is het van belang de dijk in de gaten te houden en te monitoren om te voorkomen dat de dijk gaat falen op piping tijdens hoogwater. De beoordeling en monitoring van de dijk dragen bij aan de waterveiligheid van Nederland. Om onder andere deze redenen is het zeer van belang een efficiënt monitoringsplan samen te stellen gefocust op het faalmechanisme piping.

3. Monitoringstechnieken piping

In dit hoofdstuk worden verschillende monitoringstechnieken betreft het monitoren van het faalmechanisme piping beschreven. Deze technieken zijn ingedeeld in verschillende categorieën namelijk deformatie, temperatuur, geluid, waterdruk, gronddruk, dichtheid en doorlatendheid. (Deltafact sensoren, 2019) In het algemeen is er gekeken naar de informatie verkregen van het “kennisplatform Dijkmonitoring”. (BZ Ingenieurs & Managers, 2013)

3.1 Deformatie

Total station (Tachymeter)

Wat meet het?

Deze meettechniek wordt meestal ingezet om deformaties in het horizontale en verticale vlak te bepalen. Het tijdig signaleren van deformaties kan schade voorkomen. Vooraf wordt het meetobject voorzien van een aantal meetpunten, die tijdens het proces worden gemonitord. Er bestaat ook een automatisch Total station, ook wel Robotic Total Station Monitoring System genoemd. Dergelijke Total stations kunnen automatisch meten, met een continue monitoring. De maximaal toegestane deformaties kunnen hierbij opgegeven worden. Zo kan een melding worden gemaakt wanneer de maximaal toegestane deformaties optreden. Een Robotic Total Station kost ongeveer 30.000 euro.

Hoe werkt het?

Een Total station, ook wel tachymeter genoemd, bestaat uit een theodoliet (een hoekmeetinstrument uit de landmeetkunde) in combinatie met een afstandsmeter. Dit apparaat meet de horizontale richting, verticale hoek en de (schuine) afstand. Vanuit de schuine afstand kan de horizontale afstand worden berekend. De horizontale afstand in combinatie met de horizontale richting leveren een poolcoördinaat dat kan worden omgezet in een x/y coördinaat. Ook is het mogelijk om de hoogte te bepalen met een Total station, door middel van een trigonometrische berekening. Met deze drie coördinaten (x, y en z) kan een 3D afbeelding worden gegenereerd van de ingemeten coördinaten. (Pelser Hartman, sd)



Figuur 8 Total Station

Convergentie-opnemer

Wat meet het?

Een convergentie-opnemer meet het verschil in afstand tussen twee verschillende meetpunten om te bepalen of de punten naar elkaar toe of van elkaar af bewegen.

Hoe werkt het?

Een dergelijke opnemer wordt alleen toegepast als er rond de waterkering een kunstwerk is. Ten opzichte van een kunstwerk kan dan de relatieve verplaatsing worden gemeten. Bij het pipingproces treedt alleen verplaatsing op tijdens het ruimproces of tijdens het bezwijken.

Digitale camera

Wat meet het?

Een digitale camera kan opnamen maken waarmee veranderingen of bijzonderheden kunnen worden vastgelegd. Voor piping zijn luchtfoto's zinvol om veranderingen in het landschap te detecteren, zoals zandmeevoerende wellen. Opgemerkt wordt dat kleine wellen waarschijnlijk niet te detecteren zijn door middel van luchtfoto's.

Hoe werkt het?

Een camera kan gemakkelijk worden ingezet vanaf een vast punt, bij visuele inspecties, of vanuit de lucht. Het maken van luchtfoto's is de oudste toepassingsvorm van 'remote sensing'. Er worden foto's gemaakt van de dijk door een object dat hoog in de lucht vliegt. Dat kan een vliegtuig of helikopter zijn, maar ook een Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) of 'drone'. Vaak wordt de inzet van een gewone digitale camera gecombineerd met andere opnames, zoals infrarood.

Extensometer

Wat meet het?

Een extensometer kan de verticale verplaatsing meten. Zo kan zetting of zwel gemonitord worden. Bij piping is er nauwelijks sprake van zwel of zetting.

Hoe werkt het?

Om de verticale verplaatsing te meten kan gebruik gemaakt worden van een extensometer. Deze meet op verschillende dieptes het verschil in verticale verplaatsing. Dit kan op twee manieren, namelijk met een staaf-extensometer of een sonde-extensometer. De staaf-extensometer gebruikt een aantal roestvrij stalen stangen in een boorgat gevuld met een groutmengsel. De staven zijn van verschillende lengtes en geplaatst in een plastic buis gevuld met vet, zodat de wrijving tussen staaf en omhulsel geminimaliseerd zijn. De staven bewegen in verticale richting als er zetting of zwel plaatsvindt. De sonde-extensometer maakt gebruik van magneten in een buis, die onafhankelijk van elkaar op verschillende niveaus kunnen bewegen. Door met een sonde langs de magneten te bewegen wordt de positie van de magneten opgeslagen. Deze posities zeggen vervolgens iets over de onderlinge verticale verplaatsingen van de lagen tussen de magneten in. Zo kunnen zetting en zwel gemonitord worden.

GPS ontvangers

Wat meet het?

Speciale GPS ontvangers kunnen plaatsveranderingen aan het oppervlak meten met een nauwkeurigheid van 1 à 2 mm. Bij piping zijn niet veel horizontale verplaatsingen te verwachten tot de laatste fase van het pipingproces (bezwijken).

Hoe werkt het?

Door verschillende punten vast te zetten op bijvoorbeeld de helling en het midden van de dijk kunnen de veranderingen opgenomen worden in het GPS systeem.

Grondradar

Wat meet het?

Met een grondradar kan de laagdikte en de diëlektrische constante worden gemeten. De diëlektrische constante geeft de mogelijkheid van een materiaal aan om elektrische energie op te slaan in een elektrisch veld. Zowel de dikte van het afdekkende pakket, met eventuele discontinuïteiten, als de dikte van de zandlaag zijn belangrijke parameters voor het bepalen van het risico op piping. Pipes hebben mogelijk ook een andere diëlektrische constante dan hun omgeving. (Euro radar, sd)

Hoe werkt het?

Bij een grondradar wordt op of vlak bij het maaiveld een pulsvormige golf opgewekt en de grond ingestuurd. De golf plant zich voort in de ondergrond en weerkaatst tegen objecten en grondlagen in de bodem. Op het maaiveld worden signalen opgevangen die informatie geven over de bodemopbouw. Deze radar kost ongeveer 6.000 euro. Een grondradar kan, afhankelijk van de soort bodem, tot op tientallen meters diepte worden ingezet voor bodemonderzoek. In Nederland is er vaak sprake van een grond met een hoge conductiviteit (geleidbaarheid), bijvoorbeeld klei, veen of een bijmenging daarvan, wat ervoor zorgt dat de radar slechts tot enkele meters diepte kan worden gebruikt. Afhankelijk van de ondergrond behaalt een grondradar een diepte van gemiddeld 3 meter minus maaiveld. Voor de meeste toepassingen in de civiele- en bouwsector is dit voldoende.

Hellingmeetbuis

Wat meet het?

De hellingmeetbuis of inclinometer kan vervorming in de horizontale richting meten. Deze kunnen worden toegepast bij grondverschuivingen, in stabiele hellingen, dammen, oevers, ophogingen en het meten van afwijkingen in kunstwerken. Trillingen en bewegingen kunnen op deze manier worden gevolgd. Bij piping zullen tot het laatste stadium weinig trillingen of horizontale vervormingen optreden.

Hoe werkt het?

Een verticale pijp wordt in de ondergrond aangebracht tot in een onvervormbare laag, in Nederland meestal een Pleistocene zandlaag. Door middel van een sonde wordt de toename van de hoekverdraaiing bepaald per lengte-eenheid en zodoende de verplaatsing per lengte-eenheid. Door meerdere metingen in de tijd uit te voeren kan de totale verplaatsing worden bepaald.

De casing van een inclinometer kan worden geplaatst in een boorgat met grout of weggedrukt worden door een sondeermachine. Wanneer de casing wordt geplaatst in een boorgat, zal het grout zo samengesteld zijn dat het de samenstelling van de grond eromheen nabootst. Dit is niet nodig bij wegdrukken. De punt van de inclinometer wordt dusdanig diep geïnstalleerd dat deze niet wordt beïnvloed door het verplaatsen van de grond. Grondverplaatsing zorgt voor de verplaatsing van de inclinometer. Deze meet de snelheid, diepte en grootte van deze verplaatsing door de huidige data te vergelijken met de startwaarden uit het begin toen de inclinometer werd geplaatst.

Hellingmeetbuis met micro-elektronica: SAAF-Inclinometers worden gebruikt om de helling in twee onderling loodrechte richtingen te kunnen meten. Dit wordt voornamelijk toegepast in de monitoring van laterale groundbeweging. Vooraf wordt een buis met daarin een inclinometer in de grond geplaatst. Wanneer de grond eromheen beweegt zal de inclinometer uitslaan en verplaatsing detecteren.

Hellingmeter

Wat meet het?

De hellingmeter wordt toegepast bij zetting van de grond en ook bij het monitoren van de vervorming in waterkeringen tijdens uitvoeren van werkzaamheden. Vervormingen treden bij piping alleen in het laatste stadium op, waarbij de dijk bezwijkt.

Hoe werkt het?

Een hellingmeter wordt gebruikt om lokaal in twee axiale vlakken de helling te meten. De vlakken staan hierbij loodrecht op het oppervlak van de grondplaat van het meetinstrument. Met de naamgeving kan enige verwarring ontstaan: soms worden dergelijke instrumenten aangeboden als “inclinometers”, maar wanneer er een reeks van dergelijke hellingmeters op korte afstand van elkaar met een flexibele kabel worden gekoppeld, dan vormen deze nog niet het equivalent van een hellingmeetbuis. De metingen kunnen wel nog steeds bruikbaar zijn als indicatie van beweging.



Figuur 9 Hellingmeter

HR Satellietbeelden

Wat meet het?

Bij deze techniek wordt er door middel van hoge resolutie satellietbeelden (50 centimeter) plaatselijke veranderingen gemeten. Opgemerkt wordt dat zandmeevoerende wellen vaak kleiner zijn dan 50 cm en daardoor niet altijd opgemerkt zullen worden.

Hoe werkt het?

Hoge resolutie satellietbeelden kunnen beelden maken tot een resolutie van 50 centimeter. Doordat de beelden worden genomen vanaf een hoog standpunt is de geometrische kwaliteit goed. Omdat een satelliet continu meet, maar slechts af en toe langskomt (en hierdoor de hoogwater-piek periode mist) of op zo'n grote afstand staat dat de resolutie beperkter is zijn er wel belangrijke beperkingen. Een voordeel is dat er geen mobilisatie nodig is.

Laseraltimetrie

Wat meet het?

Laseraltimetrie kan vervormingen in een waterkering op afstand meten. De verplaatsingen kunnen met een nauwkeurigheid van circa 1 centimeter worden gemonitord. Hierbij wordt opgemerkt dat de aanwezigheid van gras of gewassen de interpretatie van de verplaatsingen moeilijk maakt.

Hoe werkt het?

Hierbij worden laserpulsen uitgezonden door een scanner die vervolgens van de teruggekaatste lasers een samengesteld beeld vormt van de meetpunten. De teruggekaatste lasers bieden namelijk informatie over de afstand in x, y en z richting. Wanneer deze geometrie door de tijd wordt vergeleken, worden vervormingen zichtbaar. De doorlooptijd van een scan is laag, waardoor acuut kan worden opgetreden in het geval van optredende vervormingen. De intensiteit van de teruggekaatste laserstraal kan aanvullende informatie leveren over het type grond.

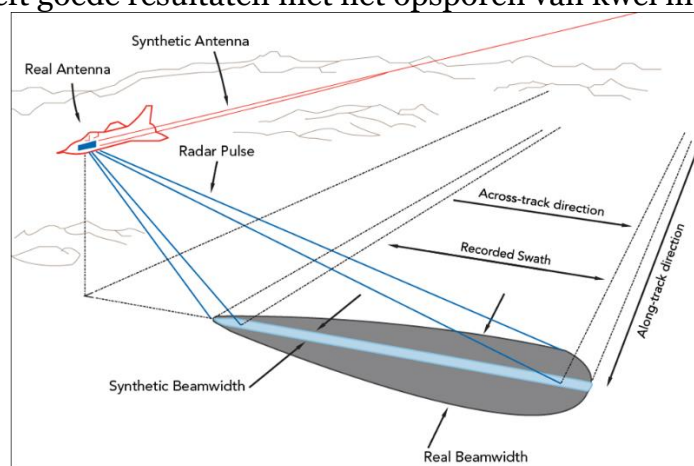
Radar

Wat meet het?

Radar, vaak aangeduid als Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) kan vervormingen vastleggen. De Radar kan ook worden gebruikt om het vochtgehalte in de ondergrond te meten. Het grote voordeel van deze meettechniek is dat er grote oppervlakten kunnen worden bekeken binnen een dusdanig tijdframe dat het mogelijk is om snel veranderingen in de waterkering te observeren. De toegankelijkheid van de waterkering speelt hierbij geen rol, zoals bij handmatige metingen wel het geval is. Nadeel van deze methode is dat je van tevoren niet weet waar de reflectiepunten zich bevinden. Bij piping zijn echter niet veel vervormingen te verwachten tot het laatste stadium van het proces (bezwijken).

Hoe werkt het?

De antenne is op een vaste locatie geplaatst en deze kan over een bepaald tijdframe de vervormingen vastleggen, ook wel Inverse SAR genoemd (InSAR). Betreft het meten van het vochtgehalte wordt er met behulp van de passieve methode met microgolfstraling van circa 1-200 GHz wordt de elektrische geleidbaarheid van materialen gemeten. Hiermee kunnen de materialen aan de hand van de eigen intrinsieke elektrische constante worden bepaald en kan het vochtgehalte worden bepaald. Met deze gegevens kan kwel of droogte in het dijklichaam worden gemonitord. Het gebruik van multi-polarisatie SAR geeft goede resultaten met het opsporen van kwel in waterkeringen.



Figuur 10 Inverse SAR radar

SP (self-potential)

Wat meet het?

Spontane potentiaal (self-potential) kan gemeten worden aan de oppervlakte om waterstromingen in kaart te brengen. Wanneer een pipe ontstaat concentreert de stroming zich naar de pipe toe. Deze methode is daarom mogelijk geschikt om pipes te detecteren.

Hoe werkt het?

Metingen van eigenpotentiaal kunnen metingen aan het oppervlak zijn, net onder het oppervlak of in het water. De positie van de elektroden is hierbij van belang. Deze dienen hierbij goed ingegraven te worden en beschermd tegen zon en warmte. De eigenpotentialen zijn erg klein; in de praktijk wordt niet alleen deze potentiaal gemeten, maar ook andere potentialen zoals redox en diffusie potentialen. Dit maakt het juist meten van de waarde lastig. Wanneer de opnemers in de ondergrond worden geplaatst kunnen de voorkeursstroming worden bekeken in het grondlichaam.

Visuele inspectie

Wat meet het?

Visuele inspectie is de traditionele methode om afwijkende omstandigheden te detecteren, zoals kwel, zandmeevoerende wellen of scheurvorming. Bij een zandmeevoerende wel wordt doorgaans gelet op de grootte, mate van zandtransport, debiet, troebelheid van het water en zandsoort.

Hoe werkt het?

Een visuele dijkinspectie wordt uitgevoerd waarbij de waarnemingen en observaties worden vastgelegd in de vorm van een rapport of in een app.

3.2 Temperatuur

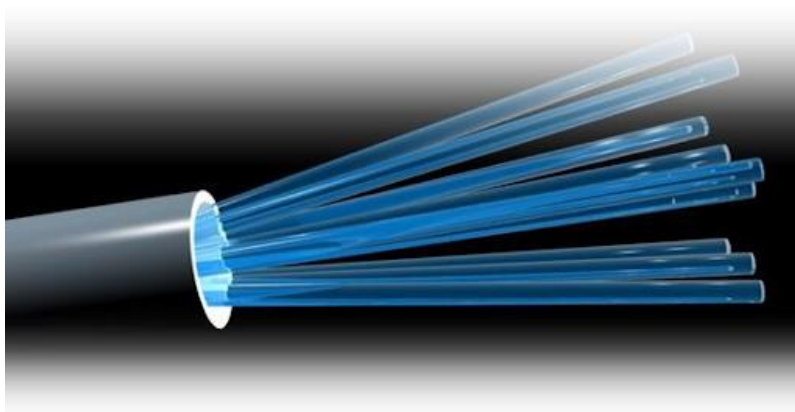
Glasvezelkabel

Wat meet het?

Voor waterkeringen wordt soms gebruik gemaakt van een glasvezelkabel om vervormingen te meten, maar de glasvezel kan ook worden gebruikt als temperatuurmeter. Door temperatuurverschillen te meten kan er worden gemonitord waar water door de waterkering stroomt. Hiermee kan kwel, en ook overmatige kwel leidend tot erosie (piping) worden aangetoond.

Hoe werkt het?

Een glasvezelkabel (optical fibre) is een glazen of plastic golfgeleider met een diameter van ongeveer 0.1 mm die het mogelijk maakt om licht over kilometers lengte te sturen. Door te kijken naar de verandering in de frequentie van de lichtbundel die erdoor heen wordt gestuurd, kan er door een computer berekend worden waar de vervorming plaatsvindt en hoe groot deze is. De glasvezel kan ook worden gebruikt als temperatuurmeter. Door temperatuurverschillen te meten kunnen verschillen in stroomsnelheid gedetecteerd worden. Vervorming kan bij piping optreden wanneer het ruimproces plaatsvindt: de pipes zijn dan dusdanig groot dat de kleilaag erboven inzakt. Daarnaast treedt vervorming op bij het bezwijken van de dijk. Door het terugschrijden van pipes treedt er een verandering in de grondwaterstroming op: de pipe is meer doorlatend dan het omringende zandpakket. Hierdoor ontstaan verschillen in stroomsnelheid. Deze verschillen kunnen passief gemeten worden of actief, door de kabel te verwarmen en de afkoeling te bekijken. Dit laatste biedt een hogere nauwkeurigheid. Om de glasvezelkabel beter te kunnen laten functioneren, kan hij ook in een geotextielmat worden geplaatst, zodat de kabel niet door de slappe grond kan snijden. Hierbij kunnen de vervormingen nauwkeuriger gemeten worden en levert de mat tevens een extra versteviging aan de waterkering. Een nadeel is dan wel dat alleen een betrekkelijk dunne coating kan worden ingewoven, waardoor er altijd een betrekkelijk kwetsbare kabel moet worden toegepast.



Figuur 11 Glasvezelkabel

Temperatuurmeters

Wat meet het?

Temperatuurmeters zijn kleine sensoren die de temperatuur van grond of grondwater registreren. Variatie in temperatuur kan duiden op verschillen in stroomsnelheid. Aangezien pipes meer doorlatend zijn dan het omringende zand kunnen deze gedetecteerd worden door de afwijkende temperatuur.

Hoe werkt het?

Temperatuursensoren worden vaak geïntegreerd in, of gecombineerd met waterspanningsmeters. De sensoren of de componenten zijn verbonden met een loggerkast door middel van een netwerkkabel. Net als waterspanningsmeters kunnen deze systemen door sonderingen verticaal in de dijk worden geplaatst, maar ook horizontaal worden ingebracht door het graven van sleuven.

Infraroodcamera

Wat meet het?

Een infraroodcamera kan een visuele weergave van de heersende temperaturen geven. Doordat het water van onder de dijk vaak een andere temperatuur heeft dan het binnen- en buitenwater, kunnen op deze manier preferente kwelstromen worden gedetecteerd.

Hoe werkt het?

Infrarode straling is elektromagnetische straling die voor het oog niet zichtbaar is, met golflengten tussen de 780 nanometer en 1 millimeter. Binnen de remote sensing techniek wordt meestal gebruik gemaakt van het spectrum van 8 tot 13 micrometer. Een meetmethode om deze straling zichtbaar te maken is thermografie, waarbij gebruik wordt gemaakt van een camera met optiek voor infraroodstraling en een detector voor golflengte. De camera levert dan een visuele weergave van de heersende temperaturen. Hierin zijn de helderste tonen de warmste objecten en de donkerste tonen de minst warme. Door gebruik te maken van een kunstmatig kleurenschema, kunnen de warmteverschillen inzichtelijk gemaakt worden.



Figuur 12 Infraroodcamera

3.3 Geluid

Akoestische emissie

Wat meet het?

Bij akoestische emissie worden de geluiden gemeten die karakteristiek horen bij de energie die vrijkomt bij plotselinge scheurvorming binnen een materiaal. Bij piping treedt de scheurvorming van de dijk in een laat stadium van het proces op, mogelijk tijdens het ruimproces en wellicht pas tijdens bezwijken. Tijdens het ontstaan van terugschrijdende pipes treedt geen scheurvorming op.

Hoe werkt het?

Door de tijd te vergelijken tussen de verschillende opnemers, kan de locatie van de scheurvorming worden bepaald.

3.4 Waterdruk

Debietmetingen bovenstrooms en benedenstrooms

Wat meet het?

Het debiet in het zandpakket wordt gemeten. Door het meten van het debiet in het zandpakket kunnen mogelijke pipes gedetecteerd worden.

Hoe werkt het?

Op basis van de debietmeters op de pomp kan er gezien worden hoeveel water er toegevoegd wordt gedurende de belastingsperiode om het verval constant te houden. Dit debiet zal gelijk zijn aan het debiet wat door het zandpakket wordt geleid. Bij de benedenstroomse uitstroomopening zijn ook debietmeters geplaatst.

Seismiek

Wat meet het?

Seismiek biedt de mogelijkheid om de ondergrond continu in kaart te brengen. Dit kan zinvol zijn voor het opsporen van oude geulen, gevuld met zand. Deze geulen kunnen gevoelig zijn voor piping.

Hoe werkt het?

Een methode om seismiek in te zetten bij monitoring is door actief een trilling te genereren en te registreren. Er worden verschillende golven gegenereerd. Oppervlaktegolven bewegen deels door de ondergrond en geven zo tot ongeveer 30 meter diepte (diepte van het Pleistoceen in West Nederland) een grondprofiel, wanneer ze aan het oppervlak worden gemeten. Diverse afzettingen (veen, klei, zand) beïnvloeden namelijk het verloop van de golfbeweging. Zie afbeelding hieronder.



Figuur 13 Uitvoering Seismiek methode

Waterspanningsmeter

Wat meet het?

Een waterspanningsmeter meet de lokale grondwaterspanning. Deze sensoren zijn van essentieel belang voor stabiliteitsmetingen en stabiliteitsmonitoring. Ook voor het monitoren van de effecten van grondverbetering zoals verticale of zanddrains kan de waterspanningsmeter (piëzometer) gebruikt worden.

Hoe werkt het?

Eén van de meest voorkomende meettechnieken aan waterkeringen is het gebruik van waterspanningsmeters of piëzometers. De term piëzometer wordt gebruikt om een sensor aan te duiden die afgedicht geplaatst is in de ondergrond, zodanig dat deze alleen reageert op het omringende grondwater en niet op het grondwaterniveau op andere diepten.

Een voorbeeld van een piëzometer is het vibrating wire type. De optredende grondwaterdruk wordt gemeten met behulp van een 'trillende snaar' (vibrating wire) drukelement dat is ingebouwd in een conus. Via twee filters in de conus wordt het poriënwater in contact gebracht met het membraan van het drukelement. Aan de binnenzijde van het drukelement zit een snaar gespannen tussen het membraan en de vaste zijde van het drukelement. De verplaatsing van het membraan door verschillen in de waterspanning zorgt voor een meetbaar spanningsverschil in de snaar.

De opnemer kan met standaard wegdruckmaterieel op de gewenste diepte worden geplaatst. Om voor de invloed van temperatuurvariaties te compenseren, is de waterspanningsmeter voorzien van een temperatuursensor. De waterspanningsmeter meet absolute waterdrukken, zodat deze meter gevoelig is voor luchtdrukvariaties. Om deze reden dient gelijktijdig met de uitlezing van de waterspanningsmeter de heersende luchtdruk te worden bepaald. Bij plaatsing van de waterspanningsmeter is het vaak wenselijk ook de verplaatsing van het instrument te controleren. Via een 4-aderige elektrische kabel kan het signaal direct worden uitgelezen met een standaard uitleesunit.

Water injecteren onder constante druk

Wat meet het?

Deze meettechniek meet niet alleen de bodemopbouw, maar ook de waterdoorlatendheid. Afhankelijk van de weerstand wordt de waterdoorlaatbaarheid bepaald en dus het risico op piping. Klei biedt bijvoorbeeld meer weerstand dan een zandige ondergrond.

Hoe werkt het?

De meettechniek is een afgeleide van de sondeertechniek die gangbaar is in de bouw; met kracht gaat een buis de grond in om de bodemopbouw te meten. Hier is nu een techniek aan toegevoegd om de waterdoorlaatbaarheid te meten. Dat gebeurt door water, onder constante druk, te injecteren via een membraan, dat kan tot wel 30 meter diep.



Figuur 14 Water injecteren onder constante druk

3.5 Gronddruk

Totaaldrukopnemer

Wat meet het?

Een drukopnemer meet de totaalspanning in de grond. Aangevuld met een waterspanningsmeter (soms geïntegreerd in de drukopnemer) kan daarmee de effectieve spanning worden bepaald. Ter plaatse van de pipe is geen gronddruk aanwezig. Een totaaldrukopnemer kan wanneer juist geplaatst mogelijk een pipe detecteren, maar dat vereist wel een (toevallig) juiste plaatsing. Bovendien zijn drukopnemers veelal aanzienlijk groter dan de typische afmeting van een pipe.

Hoe werkt het?

Een drukopnemer bestaat uit twee parallelle stijve platen met daartussen een vloeistof waarvan de druk bepalend is voor de meting. Het is in de praktijk lastig gebleken om een evenwicht te vinden in de toegepaste druk, en de omvang en stijfheid van het instrument, dit mede in relatie tot de aanbrengmogelijkheden. Een klein instrument is met weinig verstoring aan te brengen, maar kent een grote meeton nauwkeurigheid. Met een groter instrument valt nauwkeuriger te meten, maar is moeilijker aan te brengen en beslaat een relatief groot oppervlak. Daarnaast wordt de meting beïnvloed door de in het instrument toegepaste druk en de stijfheid van het gebruikte materiaal

3.6 Dichtheid

Boringen

Wat meet het?

De classificatieproeven uitgevoerd in het laboratorium meten diversen invoerparameters voor het voorspellen van piping. Voorbeelden zijn het volumegewicht en korrelverdelingsbepalingen.

Hoe werkt het?

Een goed uitgevoerde boring haalt ongeroerde monsters uit verschillende grondlagen. De omhooggehaalde grond wordt eerst visueel geïnspecteerd, maar wordt vervolgens vaak ook voor nadere inspectie naar een laboratorium gebracht. In het laboratorium worden classificatieproeven uitgevoerd. Met deze proeven kan de grond worden geclassificeerd en geïdentificeerd

Dichtheidsmeter

Wat meet het?

Een dichtheidsmeter, veel gebruikt in de bagger-wereld, kan worden gebruikt om te bepalen hoeveel deeltjes er in water rondzweven. Bij een zandmeevoerende wel worden zandkorrels afgevoerd. De dichtheid van de vloeistof in een zandmeevoerende wel is, samen met de grootte van de korrels en het debiet, een indicator voor de drukval in de verticale pipe door het slappe-lagenpakket.

Hoe werkt het?

Door een lichtstraal op het te onderzoeken water te richten, kan met behulp van twee andere sensoren gemeten worden hoeveel licht er wordt gereflecteerd en hoeveel licht er aan de andere kant van het water doorschijnt. Dit kan gecorreleerd worden aan de hoeveelheid vaste deeltjes in het water. Indien na het nemen van verschillende monsters in de tijd een toename van vaste deeltjes optreedt, kan dit duiden op piping of andere vormen van uitspoeling van gronddeeltjes van onder de waterkering.

Elektromagnetische metingen en geo-elektrische metingen

Wat meet het?

De geo-elektrische meetmethode is een geofysische methode, die de elektrische weerstand in de bodem meet. De elektrische weerstand wordt vooral bepaald door het in de poriën ingesloten poriënwater en ook door het poriënvolume. De geo-elektrische weerstandsmetingen worden onder andere uitgevoerd ten behoeve van hydrogeologisch onderzoek en verkenning van langgerekte tracés (spoor en weg).

Hoe werkt het?

Met een stroombron wordt via twee stroom elektroden stroom de grond ingestuurd. Het hierdoor teweeggebrachte potentiaalverschil wordt vervolgens gemeten met twee of meer andere elektroden. Door meting van het potentiaalverschil tussen de potentiaal (meet) elektroden en van de stroomsterkte tussen de stroom elektroden kan de schijnbare bodem weerstand bepaald worden. De schijnbare weerstand is opgebouwd uit de specifieke weerstanden van alle bodemlagen die binnen het meetbereik van de meetopstelling vallen. De schijnbare specifieke weerstand wordt gemeten voor een aantal elektroden afstanden en daarna met behulp van standaardkrommen omgezet in specifieke weerstanden behorende bij een bepaalde laag (diepte). Uit de specifieke weerstanden kan men een aantal eigenschappen van de betreffende laag afleiden. De belangrijkste zijn de samenstelling van de laag (klei, zand, veen) en de kwaliteit van het poriewater (zoet, brak, zout). (Fugro, sd)

3.8 Doorlatendheid

Pompproef

Wat meet het?

Met een pompproef kunnen de geohydrologische parameters van de bodem worden bepaald.

Hoe werkt het?

Hierbij wordt water onttrokken aan een watervoerend pakket, waarna in de omgeving van de onttrekking stijghoogten in de tijd worden gemeten.

Sonderingen

Wat meet het?

Sonderingen kunnen een inzicht geven van de verticale variatie in de dichtheid, sterkteparameters en samendrukkingsparameters en daarmee in de scheiding tussen grondlagen. Recentelijk is de HPT-(AMPT) -sondering ontwikkeld, waarmee lokaal de doorlatendheid (en anisotropie) kunnen worden gemeten. (Bodemonderzoek, 2016)

Hoe werkt het?

Bij het uitvoeren van een sondering wordt een staaf met kegelvormige punt de grond in gebracht. Met de kegelvormige punt wordt de conusweerstand gemeten, met de schacht kan de wrijving worden gemeten. Met een HPT-sondering wordt tijdens het sonderen een constante hoeveelheid water via een gat in de sondeerstang de grond in gepompt. Hieruit kan de relatieve doorlatendheid in de bodem worden berekend.

3.9 Multicriteria analyse

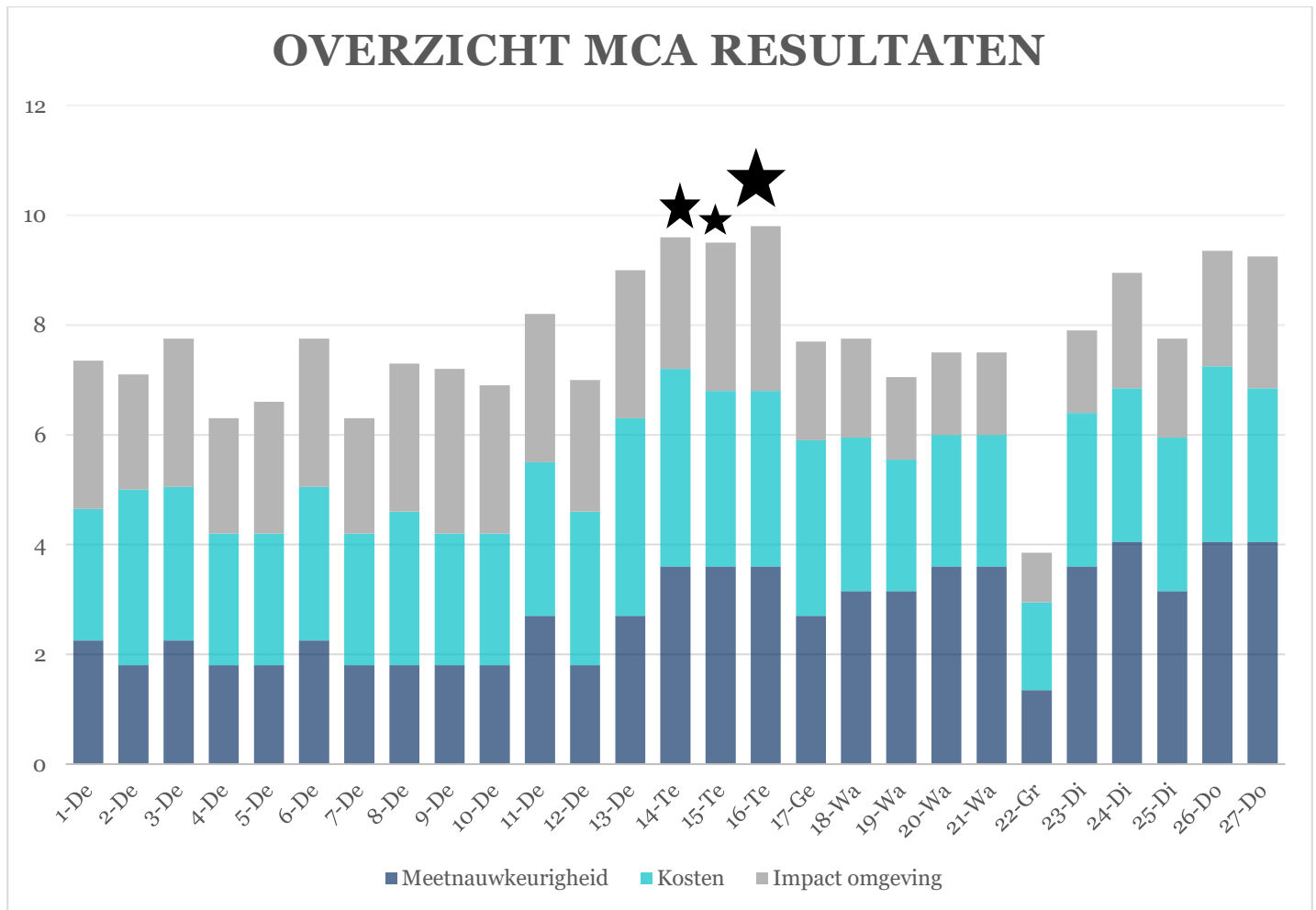
3.9.1 Criteria

Met behulp van de multicriteria analyse wordt er een overzicht gecreëerd van de verschillende technieken. Dit overzicht zorgt ervoor dat tijdens het opstellen van het uiteindelijke monitoringsplan efficiënt teruggekeken kan worden naar de voor- en nadelen en verschillen/overeenkomsten van de technieken. Voor deze analyse is gekozen om de volgende criteria mee te nemen.

Criteria	Weegfactor	Omschrijving
Meetnauwkeurigheid piping	0,9	De meetnauwkeurigheid van de techniek is zeer relevant bij het monitoren van de dijken. Met een hoge nauwkeurigheid zal het risico kleiner zijn dat de meettechniek faalt en dus de dijk faalt. Het is hierbij van belang om te kijken naar de meetnauwkeurigheid van elke techniek betreft het meten van het faalmechanisme piping in de verschillende fases die kunnen optreden (zie hoofdstuk 2.2 fases piping).
Kosten	0,8	Een hoge weegfactor is gekozen aangezien de kosten een belangrijke rol spelen in het budget van de overheid. Hoge kosten (en dus een hoge score) resulteren in een lage eindscore op de MCA (scores reiken van 1 tot 5). Onder kosten wordt er verstaan kosten van de uitvoering, meetapparatuur en van het onderhoud van de techniek.
Impact omgeving	0,6	Hierbij wordt bepaald (een inschatting gemaakt) in hoeverre de techniek een negatief effect zal vertonen op de omgeving. Deze heeft een iets lagere weegfactor aangezien het verschilt per dijk. Als de betreffende dijk geen andere functies heeft zoals een rijweg/fietsweg boven de dijk zal deze minder impact op de omgeving hebben. Ook wordt hierin meegenomen de impact op de omgeving tijdens de uitvoering van de meettechniek of het plaatsen van apparatuur. De levensduur van de techniek speelt ook een rol, hierbij wordt de vraag gesteld hoe lang de techniek meegaat zonder dat er op locatie onderhoud moet worden gedaan of nieuwe apparatuur moet worden geplaatst.

3.9.2 Resultaten en conclusie

Hieronder staat een overzicht van de resultaten uit de multicriteria analyse. Voor een motivatie van de keuzes gemaakt om op deze resultaten te komen wordt er verwezen naar “Bijlage 1 Motivatie keuzes MCA – meettechnieken”.



Figuur 15 Resultaten multicriteria analyse

Conclusie:

Uit de resultaten van de multicriteria analyse blijkt dat de top 3 bestaat uit de meettechnieken infraroodcamera, glasvezelkabels en temperatuurmeters. Deze behoren alle drie tot de categorie temperatuur. Verder staan op 4^{de} en 5^{de} plaats de meettechnieken pompproef en sonderingen behorend tot de categorie doorlatendheid. De doorlatendheid en de temperatuur spelen dus een grote rol in het vroegtijdig kunnen opmerken van de optreding van piping, terwijl de categorie deformatie dat pas in latere stadia van piping kan opmerken.

De resultaten van de multicriteria analyse zijn enkel bedoeld als een overzicht van de verschillen en overeenkomsten van de technieken en willen niet zeggen dat alle lager scorende technieken worden uitgesloten in het vervolg. Er wordt namelijk in het eindrapport verder gekeken naar het opstellen van een monitoringsplan, hierbij wordt er op een dieper niveau gekeken naar de verschillende stadia van het faalmechanisme piping. Het kan dus zo zijn dat de minder scorende meettechnieken wel kunnen worden gecombineerd met hoger scorende technieken voor een beter eindresultaat.

4. Monitoringsplannen beheersorganisaties

4.1 Inleiding

4.1.1 Aanleiding experiment

In de 'IJKdijk validatie-experimenten macro-instabiliteit en piping' is aangetoond dat ontwikkelingen in de dijk met monitoringsinstrumenten realtime te volgen zijn. Met behulp van aanvullende berekeningen is de sterkte van de dijk gedurende de proef op basis van de veelal handmatig ingevoerde actuele meetdata bepaald. De experimenten werden uitgevoerd met twee doelstellingen. Een doelstelling met betrekking tot monitoringssystemen en een validatie doelstelling met betrekking het faalmechanisme. Hiervoor werden proefdijken gebouwd die telkens volgens één specifiek faalmechanisme tot bezwijken werden gebracht. De opgezette meetstrategie had tot doel dat ene specifieke faalmechanisme te monitoren. In de praktijk is een dijk echter gevoelig voor meerdere faalmechanismen. Monitoringssystemen en vooral de toegepaste monitoringsstrategie zouden daarom in staat moeten kunnen zijn om meerdere faalmechanismen te detecteren en monitoren. Mede op voorspraak van de klankbordgroep "Inspectietechnieken voor dijken" van STOWA, is daarom de IJKdijk All-in-one Sensor Validatie Test (AIO SVT) opgestart. (Ing. G. de Vries, 2013)

Het doel van dit hoofdstuk is om meer inzicht te krijgen welke monitoringsplannen hieruit zijn voortgekomen en wat dit experiment heeft bereikt. Deze achtergrondinformatie kan worden gebruikt bij het opstellen van het uiteindelijke monitoringsplan in het eindrapport.

4.1.2 Deelnemers

Er hebben een aantal meetpartijen deelgenomen aan het experiment.

Meettechnieken:

- TenCate en Inventec;
- StabiAlert;
- MetaSensing;
- Koenders;
- InTech;
- Empec;
- Volker Wessels Telecom en Landustrie;
- Alert Solutions.

4.1.3 Opzet experiment

De basis van het experiment waren drie proefdijken: de Oostdijk, de Westdijk en de Zuiddijk. De Oost- en Westdijk kenden een vergelijkbare opbouw met een klei-/zanddijk op een zandondergrond. De Zuiddijk betrof een zanddijk met kleidek op een slappe ondergrond. In en om de proefdijken werden meettechnieken geïnstalleerd. Meetpartijen bepaalden zelf, afhankelijk van de mogelijkheden van hun meettechnieken, in welke proefdijk(en) zij installeerden. Vervolgens werden de proefdijken belast. De Oost- en Westdijk in één week en de Zuiddijk in één week. (Ing. G. de Vries, 2013)

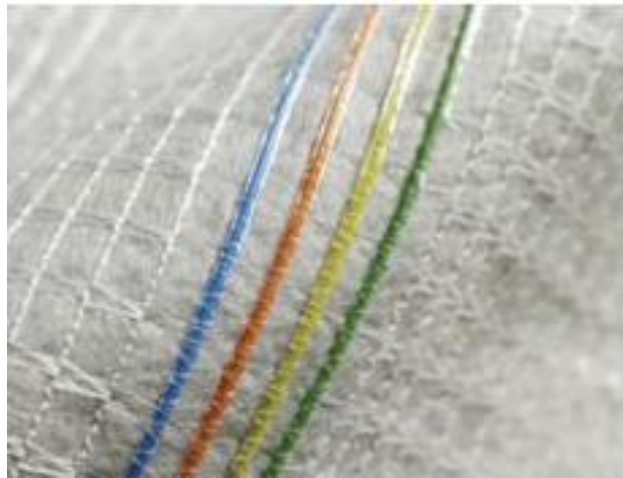
4.2 Monitoringsplannen

4.2.1 TenCate/Inventec

TenCate Geosynthetics en Inventec BV hebben gezamenlijk deelgenomen aan het experiment met de toepassing van de TenCate GeoDetect.

Techniek

Vezeloptica wordt in structurele bewakingsystemen voor civieltechnische toepassingen al vele jaren algemeen gebruikt. TenCate GeoDetect bestaat uit geotextiel met geïntegreerde optische kabels. Het geotextiel wordt in de dijk ingebracht. Met behulp van een uitleesunit meten de optische kabels rek en temperatuur. Indien er deformatie optreedt in de dijk, beweegt het geotextiel als het ware mee en rekt de kabel uit. De golflengte van het teruggekaatste licht verschuift en er wordt deformatie gemeten. Temperatuur wordt gemeten door de naastgelegen kabel. Over de lengte van de kabel wordt er op meerdere plaatsen gemeten. Door het meten van temperatuurverschillen kunnen waterstromen (pipes) worden gedetecteerd. (TenCate GeoDetect, sd)



Figuur 16 TenCate GeoDetect

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

De drainage eigenschappen van het geotextiel zorgen ervoor dat waterstromingen in de dijk zich langs het geotextiel bewegen. Door inzicht in deformatie en waterstromen kan het systeem inzicht verschaffen in het optreden van piping. Voor de beide proefdijken werden stroken geotextiel op 8 plaatsen in de lengterichting van de proefdijk aangelegd. Drie stroken aan het buitentalud (boven elkaar) en vijf stroken op de scheiding tussen zand en kleilaag (naast elkaar). De stroken waren onderling aangesloten per proefdijk, dus de Oost- en Westdijk werden afzonderlijk aangesloten. De optische kabels in het geotextiel werden met behulp van een optische verlengkabel aangesloten op de uitleesunit.

Zuiddijk

In de Zuiddijk werden de stroken geotextiel in lussen door het hele dijklichaam geplaatst. Dit gebeurde op drie niveaus boven elkaar. Elk niveau kende zijn eigen structuur van stroken die in de lengterichting en dwars geplaatst werden. Ook in de Zuiddijk waren de optische kabels onderling verbonden en aangesloten op een uitleesunit. In tegenstelling tot de Oost- en Westdijk, werd in de Zuiddijk alleen deformatie en geen temperatuur gemeten.

Voor- en nadelen

Voordelen

- Met dit plan kunnen pipes gevonden worden met behulp van glasvezelkabels.
- De ontwerpmaterialen voldoen en/of overtreffen aan de verwachte prestatiefactoren betreft de nauwkeurigheid.
- Vroegtijdige waarschuwingsindicatie van onverwachte veranderingen in het materiaal of de lokale omstandigheden, zoals bijvoorbeeld hoge spanningen, verzakkingen, holtes, pipes enz.
- Een op maat gemaakte oplossing die de eigenaar een grotere veiligheidsmarge biedt bij bepaalde toepassingen voor bodemversterking, bijv. muren, steile hellingen, taluds, dijken, funderingen, zachte bodems en verzakkingengebieden (karst of mijnen). Deze informatie kan worden gebruikt om de aansprakelijkheid op lange termijn te verlagen.
- Een positieve impact op duurzaamheid met een lager risico en een langere levensduur van structuren dankzij het vermogen om passende prestaties te monitoren.

Nadelen

- De relatieve rekken zijn lastig te vertalen naar zwel of krimpgedrag van een dijk.
- Er moet puntinformatie worden verkregen waardoor de methode relatief kostbaar is.
- Op basis van puntinformatie wordt een directe parameter gemeten die nog niet rechtstreeks is te vertalen naar de sterkte van de dijk.
- Het heeft een destructieve inbrengwijze en er moet rekening worden gehouden met het maaibeheer.

4.2.2 StabiAlert

StabiAlert levert een systeem dat verzakking, vervorming, hoekverandering en trilling van alle denkbare objecten registreert. De verzamelde data wordt via internet naar een database verstuurd en de historie van alle bewegingen vastgelegd. Er kan dan op elke locatie op de wereld realtime meegekeken worden naar de status van een object.

Techniek

Door middel van een gevoelige tiltsensor wordt beweging ofwel inclinatie gemeten. De sensoren worden op een stijve pijp gemonteerd, die in het dijklichaam is geplaatst. Aan de uitstekende 60 cm van de pijp zijn de zogenoemde inclinokasten met de tiltsensoren gemonteerd. Van elke steigerpijp wordt de exacte hoek ten opzichte van het lokale zwaarteveld gemeten. Deze hoek wordt 30 keer per seconde gemeten met een nauwkeurigheid van een $1/24000$ ste graad. Elke inclinokast bevat naast de eigenlijke sensor een kleine computer welke de sensor uitleest en de gegevens voorbereid voor verzending naar de centrale servers op een datacentrum.



Figuur 17 Tiltsensor StabiAlert

Meetstrategie

Zuiddijk

Er is een meetraster op de proefdijk uitgezet van zes delen. In elk deel is een steigerpijp geïnstalleerd. Daarvoor zijn standaard 48 millimeter dikwandige steigerpijpen gebruikt. Drie pijpen een meter uit de kruin, aan beide zijden. De onderlinge afstand bedroeg 16,66m. Elke pijp met een lengte van 5,60m is met behulp van een eenvoudige grondverzetkraan 5m in het talud gedrukt. De computers in de inclinokasten lezen de sensoren 30 keer per seconde uit. Elke 5 seconden worden zes kengetallen over de twee richtingen van dit meetinterval opgestuurd. Dit betreffen de gemiddelde hoek, de maximale hoek en de minimale hoek. De combinatie van de onderlinge afstanden van het raster met de gemeten hoeken levert een vectormodel van de actuele vorm van de proefdijk. Elke inclinokast kan de metingen van meerdere weken lokaal opslaan. Bij uitval van de verbinding met het datacentrum blijven de metingen dus bestaan. Bij herstel van de verbinding sturen de kasten de achterstallige data alsnog naar de centrale server(s). Deze opstelling is de resultante van een balans tussen evenredige sensor verdeling, beschikbare budgetten en een vertegenwoordiging van een mogelijk reële marktprijs.

Voor- en nadelen

Voordelen

- De sensor is eenvoudig te installeren.
- Data wordt vanaf het moment van installatie opgeslagen en levert direct waardevolle data op.
- Gebruikers kunnen automatische waarschuwingen ontvangen per e-mail.
- Sensorgegevens kunnen ook worden gecombineerd in projecten.
- Alle projectgegevens blijven permanent on demand beschikbaar via een webapplicatie of API-interface. (StabiAlert, 2019)

Nadelen

- Er wordt wel iets relevants (achteraf) geduid betreft de voorspelling van het faalmechanisme, maar is onvoldoende specifiek gemaakt.
- De techniek beschikt over matige nauwkeurigheid.
- De techniek is lokaal en is dus voor specifieke metingen (zoals piping) niet nuttig.

4.2.3 MetaSensing

MetaSensing levert diensten met remote sensing apparatuur. In dit experiment wordt gemeten met de Fast Ground Based Synthetic Aperture Radar (FastGBSAR).

Techniek

De FastGBSAR is een instrument dat tweedimensionale kaarten kan produceren op basis van radartechnologie. Om deze kaarten te produceren, worden drie basistechnieken gebruikt: FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave), SAR (Synthetic Aperture Radar) en interferometrie. Deformatie wordt aangetoond door het reproduceren van de tweedimensionale kaarten. Door een herhalingsperiode van 5 seconden kan deformatie worden aangetoond in de tijd. Dankzij zijn microwave signalen, kan de radar efficiënt werken tijdens dag- en nachtsituaties en door mist en wolken dringen.



Figuur 18 FastGBSAR instrument

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

De Oostdijk is niet gemeten, de Westdijk wel. De radar is opgesteld aan de binnenzijde van de proefdijk. De opstelling bestond uit twee betonnen blokken met daarop een rail waarover het instrument horizontaal kon wegen.

Zuiddijk

De radar is hier wederom aan de binnenzijde van de proefdijk geplaatst. Echter niet recht voor de dijk, maar schuin vanaf de linkerzijde.

Voor- en nadelen

Voordelen

- De meest nauwkeurige realtime monitoring van onstabiele gebieden of constructies
- Vroege detectie en waarschuwing (MetaSensing, 2019)
- Geen reflectoren nodig
- Geen stabiel referentiegebied nodig
- Autonome 24/7 werking in alle weersomstandigheden

Nadelen

- Dit plan richt zich op de deformatie (binnenzijde dijk), dit is niet nuttig betreft het monitoren betreft het faalmechanisme piping.
- Deze techniek is enkelvoudig uitgevoerd, dit wil zeggen dat het uit één systeemonderdeel bestaat. Als dit onderdeel defect raakt kan die geheel niet meer gebruikt worden.
- Deze techniek levert data, maar vergt expertise om er iets mee te kunnen doen.
- Deze techniek geeft geen voorspelling van het faalmechanisme weer of deze wordt niet aangeduid.

4.2.4 Koenders

Koenders is een leverancier van sensoren, instrumentatie en meetnetten in onder andere de geotechniek.

Techniek

Koenders Instruments maakt gebruik van de SDT (Smart Dike Tube). Deze heeft verschillende geïntegreerde sensoren. De behuizing zorgt ervoor dat de SDT zowel horizontaal als verticaal in een dijkvak ingebracht kan worden.

De SDT meet:

- Deformatie (X, Y en Z);
- Waterspanning;
- Temperatuur;
- Rek.

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

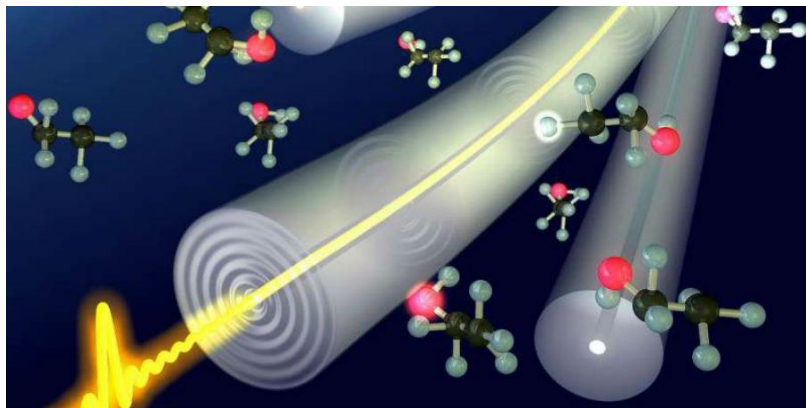
In de Oost- en Westdijk is gebruik gemaakt van verticaal geplaatste SDT's. Voor deze proeven is de SDT uitgerust met de volgende sensoren:

- Temperatuur via glasvezel;
- Rek via glasvezel.

Zuiddijk

In de Zuiddijk is naast verticaal geplaatste SDT's ook met horizontaal geplaatste glasvezel rek gemeten. Voor deze proef is de SDT uitgerust met de volgende sensoren:

- Temperatuur via glasvezel;
- Rek via glasvezel.



Figuur 19 Glasvezel SDT

Voor- en nadelen

Voordelen

- Temperatuur wordt gemeten via glasvezel, hiermee kunnen mogelijke pipes gedetecteerd worden. Voor meer uitleg hierover wordt er verwezen naar paragraaf “3.2 Temperatuur”.
- Meetfrequentie is hoog, deze meet eenmaal per minuut.
- Binnen enkele dagen is het systeem operationeel
- Uit deze techniek komt begrijpelijke data met een korte vertraging van enkele minuten beschikbaar.
- De techniek is robuust en is stabiel gebleven onder bepaalde omstandigheden.

Nadelen

- Deze techniek is enkelvoudig uitgevoerd, dit wil zeggen dat het uit één systeemonderdeel bestaat. Als dit onderdeel defect raakt kan die geheel niet meer gebruikt worden.
- Deze techniek levert data, maar vergt expert om iets mee te kunnen doen.

4.2.6 InTech

InTech Dike Security Systems BV heeft een remote sensing techniek ontwikkeld om de kans van doorbraak van waterkeringen vroegtijdig te kunnen detecteren.

Techniek

InTech maakt gebruik van een infraroodcamera. Deze techniek berust op het op afstand meten van de uitstraling van infrarood van de waterkering met hoge resolutie. Daarmee kunnen temperatuurverschillen worden gedetecteerd.

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

Voor het experiment is gebruik gemaakt van een door InTech ontwikkeld meetvoertuig. Op het meetvoertuig is een telescoopmast van 12m bevestigd waarop de twee temperatuur gekalibreerde infrarood sensor systemen zijn bevestigd. Het voertuig is mobiel en kan op een gewenste plaats voor de proefdijk worden geplaatst. De speciale infrarood sensoren beschikken ieder over ongeveer 300.000 meetpunten waarmee op 0,05 graad nauwkeurig de temperatuur aan het dijkoppervlak wordt bepaald. Op basis van het temperatuurverval door de proefdijk heen (verschil in temperatuur water bovenstrooms, kern van de proefdijk en uittredend water benedenstrooms), wordt de fase waarin bijvoorbeeld piping zich bevindt bepaald. Softwarematig kunnen zowel puntmetingen-, lijnmetingen- en oppervlakte metingen realtime worden bepaald. (Luijendijk, 2016)



Figuur 20 Meetvoertuig InTech

Voor- en nadelen

Voordelen

- Door het meten van temperatuurverschillen kunnen mogelijke pipes gedetecteerd worden. Zie paragraaf “3.2 Temperatuur” voor meer informatie.
- De meetinformatie geeft kwalitatief aan wat er met de waterkering gebeurt.
- Het non destructieve meettechnieken zijn met een continu beeld.
- Het kan snel een globale indruk geven over grote dijkstrekking met name gericht op afwijkend gedrag van de dijk in de tijd.

Nadelen

- Nadelen zijn dat er in dit geval geen directe correlatie met de sterkte van de dijk is
- De meetperiode en inzet zijn kritisch en zeer bepalend voor het resultaat.

4.2.7 Empec

Empec Survey ontwikkelt een integraal systeem waarbij grondradars, video, warmte camera's, weerstandsmeting en laserscan kunnen worden gebruikt als een relatief snelle manier om een dijk in te meten en waterstromen binnen een dijk te kunnen waarnemen. Het systeem is mobiel en kan met relatief grote snelheid tussen de 60 en 80 km/uur over een dijk worden verplaatst. Op deze manier kan in een korte tijd een groot gebied worden onderzocht. In dit experiment is gebruik gemaakt van grondradar.

Techniek

De antenne van de grondradar is voorzien van een zender en ontvanger. De zender zendt een radiosignaal in de orde van grootte van 100 Mhz in de grond. Dit signaal wordt teruggekaatst door voorwerpen, of aardlagen die verschillen van de laag die erboven ligt. De mate van terugkaatsing wordt bepaald door de di-elektrische constante van het materiaal. Als twee verschillende materialen eenzelfde constante hebben zal men deze niet kunnen waarnemen. Het teruggekaatste signaal wordt ontvangen door de ontvanger en werkt in de logger tot een visueel beeld. De tijd in nano seconden die het signaal aflegt wordt geregistreerd. De diepte wordt dus weergegeven in een tijd. Als de grondsnelheid, in m/ μ s, is bepaald kan dus pas de diepte in meters worden uitgerekend. De software op de logger is in staat om de gemiddelde grondsnelheid te bepalen. Deze wordt gebruikt voor de interpretatie van de diepte. De penetratiediepte van het signaal is afhankelijk van de signaalfrequentie, signaaldemping van de grond en de elektrische weerstand van de grond.



Figuur 21 Empec Grondradar

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

De grondradar werd over de proefdijk gereden. Het systeem bestond uit een op afstand bediend voertuigje met een aanhangertje waarop de radar was gemonteerd. De aanlooptijd, de opbouw, kalibratie van het gebruikte systeem bedroeg 20 tot 30 min.

Voor- en nadelen

Voordelen

- Het kunnen meten van waterstromen binnen de dijk zijn relevant voor het detecteren van het faalmechanisme piping.
- Er zijn weinig omstandigheden denkbaar die invloed hebben op het functioneren, wat deze techniek robuust maakt.
- Binnen enkele uren is de techniek operationeel

Nadelen

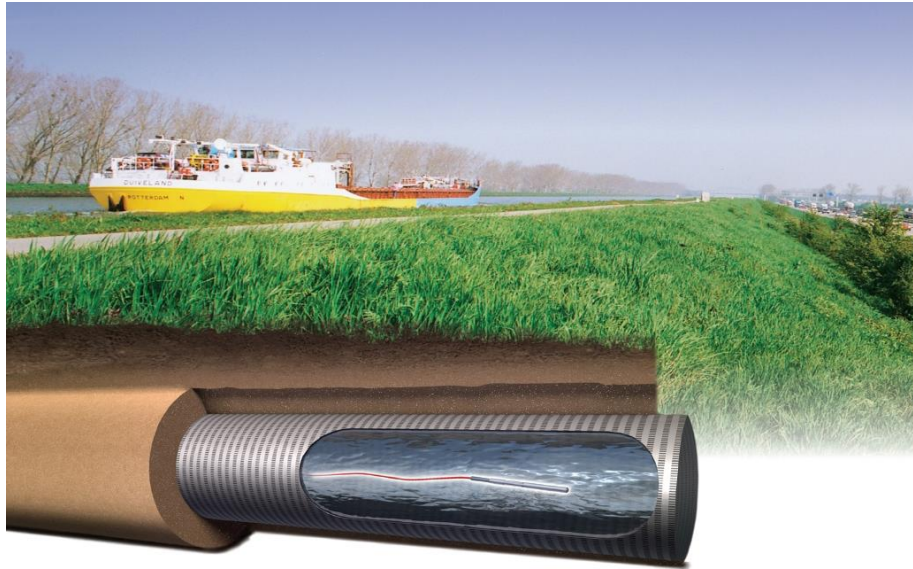
- Deze techniek is enkelvoudig uitgevoerd, dit wil zeggen dat het uit één systeemonderdeel bestaat. Als dit onderdeel defect raakt kan die geheel niet meer gebruikt worden.
- Deze techniek levert data, maar vergt expertise om er iets mee te kunnen doen.

4.2.8 Volker Wessels Telecom/Landustrie

Volker Wessels Telecom en Landustrie ontwikkelden samen het Dijk Monitoring- en Conditioneringssysteem (DMC). Het systeem monitort en conditioneert wanneer grenswaarden bereikt zijn.

Techniek

Het DMC-systeem geeft door middel van glasvezel sensoren, geplaatst in een horizontale filterbuis in een dijk, informatie over de conditie van de dijk. Dit gebeurt door middel van het meten van de waterspanning en de watertemperatuur van het dijklichaam. Als de indicatoren aanleiding geven om in te grijpen treedt het systeem in werking en zorgt een pomp, opgenomen in de filterbuis, voor de afvoer van water. Hierdoor neemt de stabiliteit van het dijklichaam weer toe. Het DCM-systeem zorgt naast realtime monitoring voor ingrijpen bij hoge waterspanningen en afwijkende temperaturen.



Figuur 22 DMC-systeem

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

De Oostdijk is niet gemeten, de Westdijk wel. Het DMC-systeem is aangebracht in de Westdijk. In een bestaande dijk wordt het DMC-systeem aangebracht middels een horizontaal gestuurde boring. De zogenaamde HDDW (Horizontal Directional Drilled Wells). Om economische redenen is het niet haalbaar geweest om te installeren middels een HDDW bij de Westdijk. In deze proef is tijdens de opbouw van de proefdijk een vergelijkbaar filter aangebracht. Over de lengterichting zijn twee filterbuizen geplaatst. Eén in het zandpakket. Eén in het dijklichaam. De filterbuis heeft een vaste filterzandomstorting om wegspoelen van het filterzand als gevolg van vergevorderde piping te voorkomen. Indien tijdens de proef een faalmechanisme optreedt of gaat optreden, zal het systeem proberen het falen te voorkomen door de conditioneringsfunctionaliteit aan te zetten.

Zuiddijk

Over de lengterichting van de proefdijk is in de zandkern een filterbuis geplaatst. In de zandkern is vooral waterspanning relevant. Temperatuursensoren zijn hier achterwege gelaten. Indien de waterspanning te hoog wordt, zal de conditioneringsfunctionaliteit de freatische lijn in de proefdijk verlagen. Nadat het DMC-systeem in werking is gezet, zal het worden gestopt om verdere belasting van de proefdijk mogelijk te maken.

Voor- en nadelen

Voordelen

- Dit systeem heeft een hoge nauwkeurigheid
- Dit systeem is robuust. Er is rekening gehouden met alle mogelijke vormen van uitval en er is een oplossing voorhanden.
- Begrijpelijke data is realtime beschikbaar.

Nadelen

- Dit systeem meet niet alleen, maar zorgt ook voor een oplossing. De oplossing is hierbij niet specifiek voor het voorkomen van piping.
- Dit systeem is binnen minimaal een maand operationeel.

4.2.9 Alert Solutions

Alert Solutions BV ontwikkelt en levert sensor netwerken voor continue monitoring van infrastructurele werken. Monitoringsystemen functioneren onder de naam GeoBeads.

Techniek

Alert Solutions heeft waterspanningsmeters en multisensormodules toegepast. Er zijn twee types waterspanningsmeters ingezet, de ACE-250 en VCP-250. Deze twee types zijn elektronisch identiek, maar verschillen qua behuizing. De multisensormodules meten naast waterspanning ook temperatuur en inclinatie (de hoek van de sensor ten opzichte van het verticale zwaartekrachtveld). De instrumenten worden met standaard sondeermaterieel in onder meer dijken aangebracht.



Figuur 23 Waterspanningsmeters

Meetstrategie

Oost- en Westdijk

In de Oost- en Westdijk zijn waterspanningsmeters geplaatst. In geval van piping of zandmeevoerende wellen ontstaan kanaaltjes onder de dijk die het water afvoeren uit het dijklichaam en waarin zand mee kan spoelen. Volgens de theorie van het faalmechanisme piping ontstaan de kanaaltjes bij de teen van de dijk aan de uitstroomzijde (binnenteen) en groeien deze door uitspoeling van zand onder de dijk verder naar de rivierzijde. Daar waar de kanaaltjes groeien, zal dit zich manifesteren als daling van de lokale waterspanning. Door de waterspanningen continu te meten wordt zichtbaar wanneer de waterdrukken scherpe dalingen laten zien, wat dan kan wijzen op het ontstaan van piping. Waterspanningsmeters zijn in twee rijen evenwijdig aan de teen van de proefdijk op de overgang van zand naar klei geplaatst. Voor deze configuratie is gekozen omdat juist op het grensvlak tussen klei en zand het ontstaan van piping wordt verwacht. Bij het ontstaan van piping zullen de kanalen groeien vanuit de binnenteen van de dijk naar de kern van de proefdijk toe. Om die ontwikkeling te volgen worden twee rijen van opnemers achter elkaar geplaatst. Zodra een pipingkanaal de eerste rij sensoren bereikt zal daar de waterspanning afnemen (vereffening met benedenstrooms), terwijl het verhang tussen beide rijen (verschil in waterspanning) hiermee juist toeneemt. Zodra het pipingkanaal verder groeit tot de tweede rij opnemers zal ook daar de waterspanning dalen en daarmee het verhang tussen beide rijen ook.

Zuiddijk

In de Zuiddijk zijn multisensor-modules geplaatst in twee dwarsraaien. De modules meten gelijktijdig waterspanning, temperatuur en inclinatie. De Zuiddijk is zo geconstrueerd dat het optreden van macro-instabiliteit of micro-instabiliteit verwacht kan worden. Om deze faalmechanismen te kunnen waarnemen zijn de sensoren op die locaties geïnstalleerd waar potentiële problemen zich het eerst kunnen manifesteren. Dat betekent sensoren aan de binnenteen van de proefdijk in alle relevante grondlagen (diepe pleistocene zandlaag, het veen en klei) voor het monitoren van macro-instabiliteit. Daarnaast een module in de teen van het dijklichaam om micro-instabiliteit te kunnen monitoren. Per raai zijn vier sensormodules geïnstalleerd. Elke module bestaat uit drie sensorelementen voor het meten van de verschillende parameters. In totaal dus 24 sensoren.

Voor- en nadelen

Voordelen

- De gemeten parameters zijn nuttig voor het detecteren van het faalmechanisme piping.
- De waarden kunnen rechtstreeks in modellen worden gezet zoals D-Geostability of Plaxis en daarmee kan de actuele sterkte van een waterkering worden gemeten.
- De informatie is altijd bruikbaar, ook al wordt niet tijdens een maatgevende situatie gemeten.
- Er wordt direct één van de belangrijkste parameters gemeten als het gaat om sterkte
- De output is goed te koppelen aan realtime sterkte voorspellingen.

Nadelen

- Omdat het puntmetingen zijn wordt voor dat ene punt een hoog detailniveau bereikt. Echter de informatie opgedaan in dat ene punt moet worden doorvertaald naar een grotere strekking van de dijk waarvoor geen monitoring is geïnstalleerd. Ook kan dit ertoe leiden dat het meest kritische punt van de dijk, of het meest droogtegevoelige punt gemist wordt waardoor de monitoringsopzet mogelijk onveilig kan zijn.
- Nadelen zijn dat er puntinformatie wordt verkregen waar door de methode relatief kostbaar is. (Vries, 2012)
- Het heeft een destructieve inbrengwijze en er moet rekening worden gehouden met het maaibeheer.

4.3 Overzicht en conclusie monitoringsplannen

4.3.1 Overzicht

In de onderstaande tabel is een overzicht opgesteld van de voorgaand onderzochte monitoringsplannen. De verschillende parameters die elke monitoringsplan meet wordt weergegeven. Dit is van belang om bij het opstellen van het uiteindelijke monitoringsplan in één oogopslag terug te kunnen zien welke parameters elk plan meet.

Monitoringsplannen	Parameters									
	Doorlatendhe	Temperatuur	Waterspanni	Vochtgehalte	Deformatie	Rek	Verzakking	Vervorming	Inclinatie	Trilling
TenCate/Inventec		x			x	x				
StabiAlert							x	x	x	x
MetaSensing					x					
Koenders		x	x		x	x				
ITC				x						
InTech		x								
Empec	x									
Volker Wessels Telecom/Landustrie		x	x							
Alert Solutions		x	x						x	

Tabel 1 Overzicht monitoringsplannen

Monitoringsplannen	Parameters									
	Doorlatendhe	Temperatuur	Waterspanni	Vochtgehalte	Deformatie	Rek	Verzakking	Vervorming	Inclinatie	Trilling
TenCate/Inventec		x			x	x				
StabiAlert							x	x	x	x
MetaSensing					x					
Koenders		x	x		x	x				
InTech		x								
Empec	x									
Volker Wessels Telecom/Landustrie		x	x							
Alert Solutions		x	x						x	

4.3.2 Conclusie

Uit het onderzoek van verschillende monitoringsplannen is een overzicht gecreëerd die in de vorige paragraaf te zien is, dit is van belang om in één oogopslag de verschillen en overeenkomsten van de plannen op te merken. Dit onderzoek is enkel bedoeld als een overzicht van de verschillen en overeenkomsten van de technieken en wil niet zeggen dat sommige technieken worden uitgesloten in het vervolg.

Bij alle plannen zijn voor- en nadelen beschreven, hierbij is opgevallen dat de plannen die gebruik maken van temperatuurmeters en waterspanningsmeters het beste piping kunnen detecteren. Er zijn ook andere factoren die niet zo voordelig zijn bij enkele plannen, die hebben te maken met de uitvoering en plaatsing van het systeem en wat voor impact dit zal gaan hebben op de omgeving. Ook de nauwkeurigheid van de technieken en het gebruiken van de data die verkregen wordt zijn van belang voor een goed monitoringsplan.

In het eindrapport wordt er verder gekeken naar het opstellen van een monitoringsplan, hierbij wordt er op een dieper niveau gekeken naar de verschillende stadia van het faalmechanisme piping. Het kan dus zo zijn dat sommige monitoringsplannen wel kunnen worden gecombineerd met andere voor een beter eindresultaat.

5. Conclusie

Het team waterkeringen (Sweco) heeft momenteel een extra kennis behoefte betreft de verschillende soorten monitoring en de toepassing hiervan. Aangezien dit wel een belangrijk aspect is om bij te dragen aan de waterveiligheid van Nederland is het belangrijk om meer kennis op te bouwen.

Voor het vinden van een antwoord op de hoofdvraag: ‘Hoe kan dijkmonitoring betreft piping ingezet worden voor risico gestuurde (partiële) dijkversterking?’ is er een vooronderzoek uitgevoerd (zie bijlage 3 vooronderzoek). Uit de resultaten van de multicriteria analyse blijkt dat de top 3 bestaat uit de meettechnieken infraroodcamera, glasvezelkabels en temperatuurmeters. Deze behoren alle drie tot de categorie temperatuur. Verder staan op 4^{de} en 5^{de} plaats de meettechnieken pompproef en sonderingen behorend tot de categorie doorlatendheid. De doorlatendheid en de temperatuur (stroomsnelheid) spelen dus een grote rol in het vroegtijdig kunnen opmerken van de optreding van piping, terwijl de categorie deformatie dat pas in latere stadia van piping kan opmerken.

In het volgende rapport (eindrapport) wordt er verder gekeken naar het opstellen van een monitoringsplan, hierbij wordt er op een dieper niveau gekeken naar de verschillende stadia van het faalmechanisme piping. Het kan dus zo zijn dat sommige monitoringstechnieken en/of monitoringsplannen wel kunnen worden gecombineerd met andere voor een beter eindresultaat. Uiteindelijk wordt het opgestelde plan in een casus vorm toegepast bij een of meerdere bestaande projecten binnen Sweco om de haalbaarheid en toepasbaarheid van het plan te toetsen. Ook worden er eventuele optimalisatiepunten aangemerkt.

Bibliografie

- Beek, V. v. (2017). *Handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan t.b.v. piping*. IJkdijk: Deltares.
- Bodemonderzoek. (2016, November). *HPT-sondering met MPT-mini-pompproef*. Opgehaald van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemonderzoek/onderzoekstechnieken/hpt-sondering-met-mpt-mini276830>
- BZ Ingenieurs & Managers. (2013). *Meettechnieken*. Opgehaald van Kennisplatform Dijkmonitoring: <http://www.dijkmonitoring.nl/technieken/meettechnieken>
- Deltafact sensoren. (2019, Juni). *Sensoren*. Opgehaald van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/innovatieve-dijkconcepten/sensoren#Kosten>
- Dijk, H. (2018). *Beslisboom piping*. Tiel: enw.
- Euro radar. (sd). *Grondradar*. Opgehaald van Euro radar: <https://www.euroradar.nl/grondradar/>
- Fugro. (sd). *Geoelektrische metingen*. Opgehaald van Joostdevree: https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgs/schijnbare_weerstand_1_geoelektrische_metingen_www_fugro-nederland_nl.pdf
- Gerritsen, F. (2013). *piping in een tweelagensysteem*. Nijmegen: Royal HaskoningDHV.
- Ing. G. de Vries, D. (2013). *Dijkmonitoring: beoordeling van meettechnieken en visualisatiesystemen*. Amersfoort: STOWA/Stichting IJkdijk.
- Luijendijk, S. (2016). *Livedijk Ameland eindrapport*. Deltares.
- MetaSensing. (2019). *fastgbsar*. Opgehaald van MetaSensing: <https://www.geomatics.metasensing.com/fastgbsar>
- Most, H. v. (2019, Juni). *Nieuwe normering van waterveiligheid*. Opgehaald van Stowa: <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterveiligheid/beoordelen-waterkeringen/nieuwe-normering-van-waterveiligheid>
- Pelser Hartman. (sd). *Total Station*. Opgehaald van meet-tekenwerk: <https://meet-tekenwerk.nl/total-station/>
- StabiAlert. (2019). *CrackR De eerste 3D IoT scheurmeter*. Opgehaald van StabiAlert: <https://www.stabialert.nl/nl/instruments/crackr-3d-crack-monitoring-sensor/>
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1999). *Zandmeevoerende Wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
- TenCate GeoDetect. (sd). *TenCate GeoDetect - Fiber Optic Sensing Geosynthetics*. Opgehaald van Environmental-expert: <https://www.environmental-expert.com/products/tencate-geodetect-fiber-optic-sensing-geosynthetics-532772>
- Vries, I. G. (2012). *Monitoring droogteonderzoek veenkaden*. Deltares.

6. Bijlage

Bijlage 1 Motivatie keuzes MCA-meettechnieken

1^{De}:

- Maximaal toegestane deformatie wordt opgegeven waarna d.m.v. verschillende meetpunten wordt gemeten (nauwkeurigheid goed, maar voor piping te laat)
- Ongeveer 30.000 euro voor de robotic Total station
- Een stand wordt neergezet met vaste meetpunten (op eventueel paaltjes), vervolgens wordt de data omgezet in een 3D model dus deze methode zal zo goed als geen invloed hebben op de omgeving

2^{De}:

- Verplaatsing door piping treedt alleen op bij het ruimproces of het bezwijken. Dan meet de convergiemeter de afstandverschillen (voor piping te laat)
- het verschil in afstand tussen twee meetpunten bepalen kan d.m.v. sensoren deze zijn erg goedkoop dus de kosten zijn minimaal
- Ook de omgeving wordt weinig beïnvloed tijdens het meetproces, tijdens de uitvoering moeten de sensoren wel insitu geplaatst worden

3^{De}:

- Detecteert wel grotere zandmeevoerende wellen maar niet kleinere
- Luchtcamera of vaste camerapunt is alleen nodig
- Omgeving wordt niet beïnvloed door alleen een camera te plaatsen

4^{De}:

- Verticale verplaatsing wordt gemeten. Zetting treedt pas op in latere stadia van het pipingproces
- Een aantal roestvrij stalen stangen in een boorgat gevuld met een groutmengsel. De staven zijn van verschillende lengtes en geplaatst in een plastic buis gevuld met vet, deze worden insitu geplaatst
- Omgeving wordt bij uitvoering beïnvloed, maar bij meetproces niet

5^{De}:

- Meetnauwkeurigheid techniek 1/2 mm, maar betreft piping is het niet erg van belang (detecteert pas bij het bezwijken)
- Gps-ontvangers met vaste meetpunten zijn nodig
- Vaste meetpunten bij de helling en het midden van de dijk zijn nodig

6^{De}:

- Met grondradar kan de laagdikte en de geleidbaarheid worden gemeten. De geleidbaarheid zegt ook iets over de samenstelling van de grond. Dit is belangrijk voor piping. Afhankelijk van de ondergrond behaalt grondradar een diepte van gemiddeld 3 meter minus maaiveld.
- Grondradar kost ongeveer 6.000 euro en het heeft bediening nodig van een persoon
- Een pulsvormige golf opgewekt en de grond ingestuurd. Op het maaiveld worden signalen opgevangen die informatie geven over de bodemopbouw. De grondradar wordt bediend door een persoon

7^{De}:

- Bij piping zullen tot het laatste stadium weinig trillingen of horizontale vervormingen optreden
- De casing van een inclinometer kan worden geplaatst in een boorgat met grout of weggedrukt worden door een sondeermachine
- In situ de grond in drukken tijdens uitvoering

8^{De}:

- Vervormingen treden bij piping alleen in het laatste stadium op, waarbij de dijk bezwijkt
- Meetinstrument (sensor) niet zo duur
- Aan het oppervlak wordt er gemeten

- 9^{De}:**
- Bij deze techniek wordt er door middel van hoge resolutie satellietbeelden (50 centimeter) plaatselijke veranderingen gemeten. Opgemerkt wordt dat zandmeevoerende wellen vaak kleiner zijn dan 50 cm en daardoor niet altijd opgemerkt zullen worden
 - Meet continu met hoge resolutiesatelliet
 - Geen mobilisatie nodig
- 10^{De}:**
- Laseraltimetrie kan vervormingen in een waterkering op afstand meten, gras of gewassen kan de nauwkeurigheid negatief beïnvloeden
 - Laser instrument nodig
 - Scanner stuurt laserpulsen de grond in bij uitvoering verder geen invloed op de omgeving
- 11^{De}:**
- Het vochtgehalte kan ook worden bepaald. Hiermee kan kwel of droogte in het dijklichaam worden gemonitord wat van belang is bij piping
 - Vast punt radar
 - Geen hinder tijdens meetperiode alleen plaatsen op een vast punt tijdens uitvoering
- 12^{De}:**
- De eigenpotentialen zijn erg klein; in de praktijk wordt niet alleen deze potentiaal gemeten, maar ook andere potentialen zoals redox en diffusie potentialen. Dit maakt het juist meten van de waarde lastig
 - Kosten elektroden met kosten uitgraven en plaatsen elektroden
 - Uitvoering bestaat uit het uitgraven van oppervlakte om de elektroden te plaatsen daarna geen hinder voor de omgeving
- 13^{De}:**
- Visuele inspectie kan worden uitgevoerd bij alleen watervoerende wellen. Hierbij kan je nog optijd ingrijpen voordat het zandmeevoerende wellen worden.
 - Manuren en rapportage (arbeidsintensief)
 - Geen invloed op de omgeving
- 14^{Te}:**
- Door temperatuurverschillen te meten kan er worden gemonitord waar water door de waterkering stroomt. Hiermee kan kwel, en ook overmatige kwel leidend tot erosie (piping) worden aangetoond.
 - Glasvezelkabel en ingraven met eventueel een geotextielmat
 - Tijdens uitvoering kabel ingraven daarna geen hinder meer voor de omgeving
- 15^{Te}:**
- Variatie in temperatuur kan duiden om verschillen in stroomsnelheid. Pipes worden gedetecteerd
 - Temperatuursensoren plaatsen
 - Tijdens uitvoering sensoren ingraven daarna geen hinder meer voor de omgeving. Kan ook verticaal worden geplaatst de grond in net als sonderingen
- 16^{Te}:**
- Doordat het water van onder de dijk vaak een andere temperatuur heeft dan het binnen- en buitenwater, kunnen op deze manier preferente kwelstromen worden gedetecteerd
 - Thermografische camera
 - Geen hinder voor de omgeving
- 17^{Ge}:**
- Bij piping treedt de scheurvorming van de dijk in een laat stadium van het proces op: mogelijk tijdens het ruimproces en wellicht pas tijdens bezwijken. Tijdens het ontstaan van terugschrijdende pipes treedt geen scheurvorming op
 - Meerdere geluidopnemers
 - Sensoren op de oppervlakte geplaatst tijdens meten

18Wa:

- Het debiet in het zandpakket wordt gemeten. Door het meten van het debiet in het zandpakket kunnen mogelijke pipes gedetecteerd worden
- Debietmeters plaatsen met pomp
- Geeft enige hinder door plaatsen debietmeters

19Wa:

- Seismiek biedt de mogelijkheid om de ondergrond continu in kaart te brengen. Dit kan zinvol zijn voor het opsporen van oude geulen, gevuld met zand. Deze geulen kunnen gevoelig zijn voor piping
- Boorinstallatie, sensoren, zwelklei en een grondmicrofoon
- Boren en plaatsen van sensoren/klei geeft hinder aan de omgeving

20Wa:

- Een waterspanningsmeter meet de lokale grondwaterspanning. Dit kan goed van pas komen bij het detecteren van pipes.
- Peilbuizen
- Peilbuizen worden geplaatst en steken uit de grond na uitvoering

21Wa:

- Deze meettechniek meet niet alleen de bodemopbouw, maar ook de waterdoorlatendheid. Afhankelijk van de weerstand wordt de waterdoorlaatbaarheid bepaald en dus het risico op piping
- Boorinstallatie, waterinjectiemembraan
- Met kracht gaat een buis de grond in om de bodemopbouw te meten. Hier is nu een techniek aan toegevoegd om de waterdoorlaatbaarheid te meten. Dat gebeurt door water, onder constante druk, te injecteren via een membraan, dat kan tot wel 30 meter diep

22Gr:

- Een totaal drukopnemer kan wanneer juist geplaatst mogelijk een pipe detecteren, maar dat vereist wel een (toevallig) juiste plaatsing. Bovendien zijn drukopnemers veelal aanzienlijk groter dan de typische afmeting van een pipe
- Grote drukmeter nodig om grote nauwkeurigheid te behouden dus meer kosten
- Impact op de omgeving hoog met groot drukmeter instrument

23Di:

- De classificatieproeven uitgevoerd in het laboratorium meten diversen invoerparameters voor het voorspellen van piping. Voorbeelden zijn volumegewicht-bepaling en korrelverdelingsbepalingen. Dit zijn wel lokale metingen. Op bepaalde locaties is de grond slechter dan op andere locaties langs dijk, dit kan gebruikt worden om op die locaties te gaan monitoren, aangezien daar de grootste kans is op piping.
- Boorinstallatie, laboratoriumonderzoek grondmonsters
- Impact op omgeving tijdens uitvoering daarna niet meer

24Di:

- De dichtheid van de vloeistof in een zandmeevoerende wel is, samen met de grootte van de korrels en het debiet, een indicator voor de drukval in de verticale pipe door het slappe-lagenpakket
- Watermonsters onderzocht d.m.v. lichtstralen
- Watermonsters nemen is de enige hinder op de omgeving

25Di:

- Uit de specifieke weerstanden kan men een aantal eigenschappen van de betreffende laag afleiden. De belangrijkste zijn de samenstelling van de laag (klei, zand, veen) en de kwaliteit van het poriewater (zoet, brak, zout). Dit zijn wel lokale metingen. Op bepaalde locaties is de grond slechter dan op andere locaties langs dijk, dit kan gebruikt worden om op die locaties te gaan monitoren, aangezien daar de grootste kans is op piping.
- Stroombron, elektroden
- Boren om te meten geeft hinder aan de omgeving tijdens uitvoering

26Do:

- Met een pompproef kunnen de geohydrologische parameters van de bodem worden bepaald. Dit zijn wel lokale metingen. Op bepaalde locaties is de grond slechter dan op andere locaties langs dijk, dit kan gebruikt worden om op die locaties te gaan monitoren, aangezien daar de grootste kans is op piping.
- Wateronttrekking pomp, stijghoogtemeters
- Peilbuizen steken uit de grond

27Do:

- Recentelijk is de HPT-(AMPT)-sondering ontwikkeld, waarmee lokaal de doorlatendheid kunnen worden gemeten
- Kegelvormige boorinstallatie
- Geeft hinder tijdens uitvoeren

Bijlage 4 Alternatieven

Alternatieven:

1. Combi Radar InSAR, visuele controle en dichtheidsmeter

Radar (InSAR) voor vochtgehalte metingen, globale meting kan kwel opsporen, wordt af en toe een puls in de grond geleid.

2. Combi Infraroodcamera, Seismisch, visuele controle en dichtheidsmeter

Infraroodcamera, in een vast punt, meet globaal en continu alleen oppervlakte. **Seismisch** voor oude geulen en gevoelige plekken voor piping. Deze kan leiden tot een opgebraste locatie waarna **visuele controle** wordt gedaan om te kijken hoe ver het proces al is.

3. Combi infraroodcamera, visuele controle, dichtheidsmeter

Infraroodcamera, in een vast punt, meet globaal en continu. Onderzoeken naar kwelwegen en dan vervolgens worden geleid naar opbarstpunten voor **visuele controle**. De visuele controle is dus lokaal en is af en toe. Bij opkomen zand kan de snelheid van het zandtransport gemeten worden met een **Dichtheidsmeter** waarbij het water wordt onderzocht op toename vaste deeltjes. Bij overschrijding hoeveelheid zandtransport moet er ingegrepen worden.

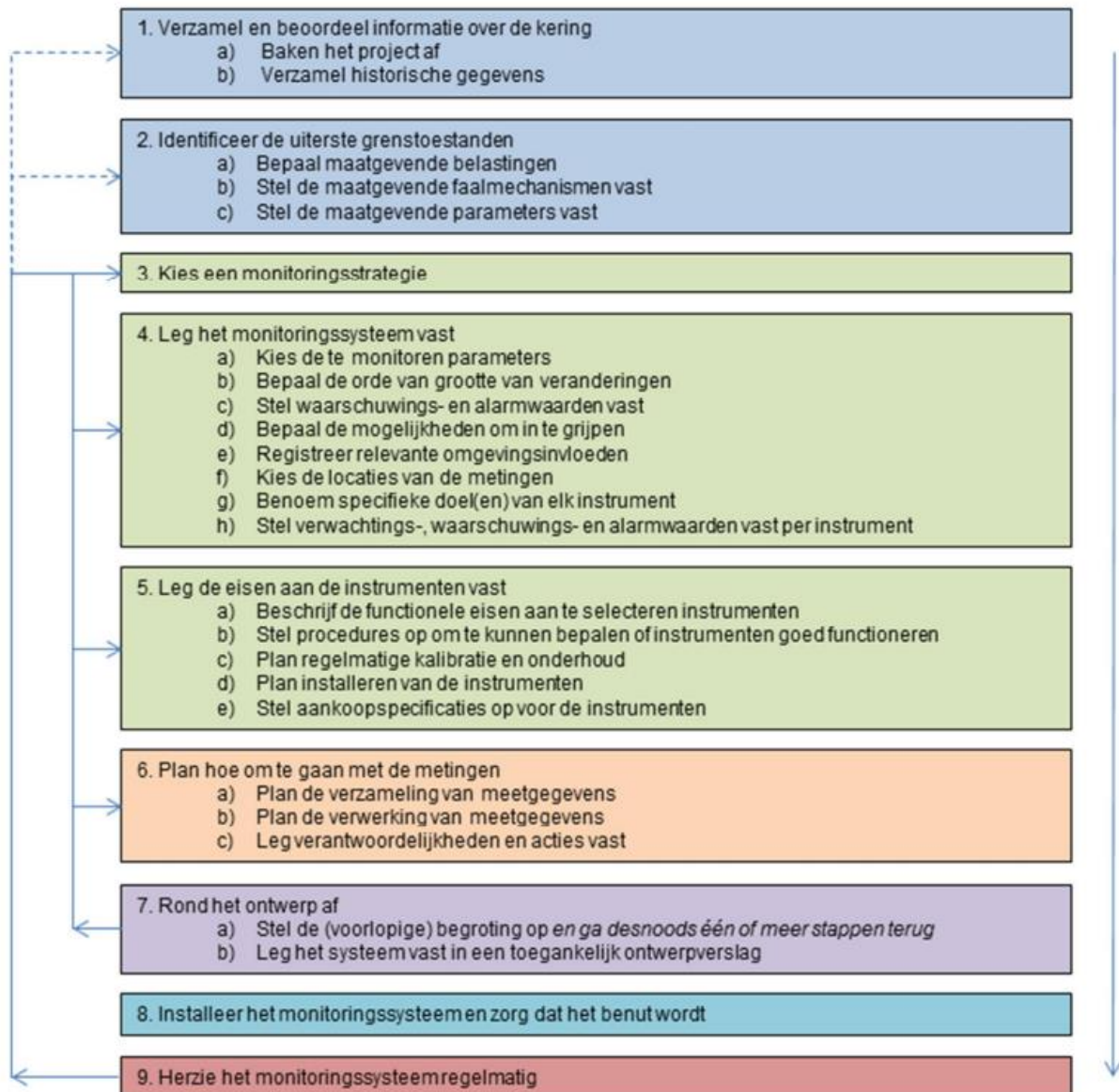
4. Combi temperatuurmeters, visuele controle en dichtheidsmeter
5. Combi Temperatuurmeters, seismisch, visuele controle (met eventueel infraroodcamera bij sloten) en dichtheidsmeter voor zandtransport.
6. Combi glasvezelkabel verticaal, seismisch, infrarood bij sloten, dichtheidsmeter bij bestaande wellen en bij nieuwe wellen.

Uitzoekpunten:

- De infraroodcamera's, Sensor security.nl bullet camera's (vast punt). Alleen oppervlakte niet in de grond.
- Drone beelden met infraroodcamera
- Bij een gedeelte van een boezemkade waarbij excessieve kwel optreedt, kan ter bewaking gedurende de periode tot aan versterking een infraroodcamera in een vaste opstelling worden aangebracht. Dit biedt een meetfrequentie die hoog genoeg is om ingrijpen bij een plotselinge verslechtering mogelijk te maken. De kosten hiervan kunnen acceptabel zijn in vergelijking met de kosten van een overstroming aan de ene kant en een mogelijk overbodige acute noodmaatregel aan de andere kant. Zo'n meetsysteem kan binnen een dag operationeel zijn.
- Temperatuurmeters sensoren in de grond steken en naar een data verzamelpunt brengen (Vaisala, sd)
- Standalone meet continu en verzameld data (Stowa, sd)

Bijlage 5 Opzet monitoringsplan

Bij het opzetten van het monitoringsplan is er gebruik gemaakt van het stroomschema hieronder en de handreiking voor het opstellen van een monitoringsplan betreft piping. (Beek, 2017)



Figuur 4.1 Stroomschema monitoringsplan