



15-1-2024

ONDERZOEKSVERSLAG

AANPAK VAN PIPING

Begrippenlijst

- **Hoogwaterprotocol:** is een beleidsdocument dat in het geval van hoogwater wordt toegepast. Hierin staat welke handelingen worden gedaan bij bepaalde waterstanden. Dit kunnen maatregelen zijn zoals sluisen dicht zetten of gemalen meer laten pompen.
- **Piping:** piping is een faalmechanisme waarbij water onder een waterkerende constructie kwelt (kwelwater). Hierdoor kan de constructie inzakken of bezwijken.
- **Wellen:** bij het faalmechanisme piping stroomt kwelwater onder een dijk door. De locatie waar dit kwelwater het oppervlak bereikt is een wel.
- **Beslisschema:** een beslisschema is een schema dat door inspecteurs en dijkwachters bij hoogwater gebruikt kan worden als aanvulling op het hoogwaterprotocol om de beheersing van wellen te verbeteren. In een beslisschema wordt beschreven op welke afstand in bepaalde situaties geïnspecteerd moet worden op piping.
- **Kritieke zone:** het gebied tussen de waterkering en de wellen die tot een bepaalde afstand een gevaar kunnen vormen, als er piping optreedt.
- **Peil opzetten:** peil opzetten is een beheersmaatregel voor piping. Hierin wordt het waterpeil in het binnendijkse gebied van de dijk opgezet (= opgestuwd). Hierdoor wordt het drukverschil wat ervoor zorgt dat piping ontstaat verminderd. Door deze maatregel kan piping vertraagd worden en als het vroeg ingezet wordt kan het zelfs worden voorkomen.
- **Macrostabieliteit:** macrostabieliteit is het vermogen van een dijk om als geheel stabiel te blijven onder verschillende omstandigheden.
- **Cohesief materiaal:** materiaal waarin de gronddeeltjes een sterke onderlinge aantrekkingskracht hebben.
- **Capillaire werking:** een zuigende werking waarbij vloeistof door een kleine doorgang tegen de zwaartekracht in omhoog komt.
- **Uittredepunt:** locatie waar het kwelwater dat onder de dijk door stroomt het oppervlak bereikt.
- **Extreem hoogwater:** Wanneer het hoogwater een kritieke waterstand bereikt. Voor het landelijke meetpunt bij Lobith is dit bepaald op >16,50 meter boven NAP. (Lobith: waterstanden en afvoeren, 2024)
- **Opkisten:** beheersmaatregel tegen piping, waarbij zandzakken rondom een wel geplaatst worden. Dit wordt zak voor zak opgehoogd totdat de zandvoering van de wel stopt.

Inhoudsopgave

Begrippenlijst.....	1
Inleiding.....	4
Aanleiding.....	4
Probleembeschrijving.....	4
Doelstelling van het onderzoek.....	5
Onderzoeksvragen.....	5
Beoogd resultaat	5
Doelgroep	6
Leeswijzer	6
1. Theoretisch kader	7
1.2 Piping.....	7
1.3 Inspectie van piping.....	9
1.4 Hoogwaterprotocol	9
1.5 Beheersmaatregelen	11
1.6 Macrostabiliteit	13
1.7 Beoordeling IJsseldijk	14
2. Programma van eisen	16
2.2 Randvoorwaarden	16
2.3 Eisen en wensen van de opdrachtgever	16
3. Onderzoeksmethodiek	17
3.2 Doorlopen onderzoeksproces	17
3.3 Inventarisatiefase	17
Stap 1: huidig hoogwaterprotocol onderzoeken	17
Stap 2: locaties huidige maatregelen, effecten en inspectie in kaart brengen	17
3.4 Analysefase.....	18
Stap 3: potentiële locaties analyseren die voor peilopzet geschikt zijn	18
Stap 4: de kritieke zone van wellen onderzoeken	19
3.5 Realisatiefase.....	19
Stap 5: beslisschema opstellen.....	19
Stap 6: kaart peilopzet locaties opstellen	19
Stap 7: eindredactie.....	20
3.6 Validiteit onderzoeksproces	20
4. Onderzoeksresultaten	21
4.2 Kaart met peilopzet locaties	21
4.3 Analyse beoordelingsresultaten van de IJsseldijk	21

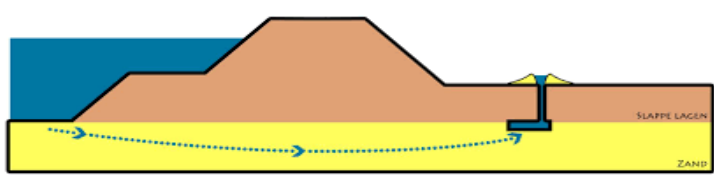
4.4	bevindingen literatuurstudie	22
4.5	bevindingen interviews met gebiedsbeheerders	23
4.6	Beslisschema inspectiezone	25
4.7	Reflectie betrouwbaarheid resultaten.....	25
5.	Conclusies en aanbevelingen	26
5.2	Conclusie	26
5.3	Advies peilopzet locaties	26
5.4	Advies beslisschema	27
5.5	Advies vervolgstappen.....	27
	Bibliografie.....	28
	Bijlagen	29
	Bijlage 1: Hoogwaterprotocol 2019-2023.....	30
	Bijlage 2: Transcriptie interview Geert Jan van de Vegte	35
	Bijlage 3: Interview Paul van Breukelen	40
	Bijlage 4: interview Wim Cornelissen	41

Inleiding

Van oudsher wordt Nederland gekenmerkt door de strijd tegen het water, zowel tegen de dreiging vanuit zee als vanuit de rivieren. Die strijd kon alleen samen gevoerd worden en heeft honderden jaren geleden al gezorgd voor het ontstaan van Waterschappen. Door de klimaatverandering is de bescherming tegen water actueler dan ooit. In het kader van de waterveiligheid is het van belang dat de dijken voldoen aan de veiligheidseisen, zodat ze het binnendijs gebied kunnen beschermen. Het falen van een belangrijke waterkering heeft ernstige gevolgen voor alles wat binnendijs bevindt. Het is daarom belangrijk om de faalmechanismen van dijken goed in kaart te brengen en deze te managen.

Aanleiding

Dit onderzoek richt zich op het faalmechanisme piping, een veel voorkomend probleem bij dijken. Het waterschap heeft andere faalmechanismen goed in beeld, echter een aantal aspecten van piping zijn nog niet genoeg onderzocht terwijl piping een grote impact kan hebben. Bij piping stroomt water met zanddeeltjes onder een dijk door. Vervolgens komen water en zanddeeltjes achter de dijk weer omhoog. De plekken waar het kwelwater en de zanddeeltjes omhoog komen heten wellen. De stroming onder de dijk door komt doordat bij hoogwater de waterdruk toeneemt door het grote verschil in waterpeil. Hierdoor ontstaan kanaaltjes onder de dijk door die aan de andere zijde van de dijk weer op het oppervlak uitkomen. Wanneer de kanaaltjes verder eroderen kan een dijk verzwakken of uiteindelijk bezwijken. Hiervoor zijn dijken in met name zandgrondgebieden erg vatbaar, omdat zandgrond water beter doorlaat dan andere ondergronden, terwijl het dijklichaam is opgebouwd uit een slecht doorlatend materiaal. Door deze tegenstelling in de ondergrond kan piping optreden. Dit is weergegeven in figuur 1 hieronder.



Figuur 1: schematisering piping (Het pipingproces in stripvorm, 2013)

Bij het inspecteren van piping wordt met name gekeken naar wellen omdat dat de plekken zijn waar het kwelwater omhoogkomt en dus waarneembaar bij de inspectie. In het gebied van het waterschap Vallei en Veluwe zijn veel dijken op zandgronden en daarmee een actueel probleem voor het waterschap. Hierdoor is het risico op piping in het beheersgebied van waterschap Vallei en Veluwe groot.

Het waterschap Vallei en Veluwe heeft een hoogwaterprotocol opgesteld om te gebruiken bij situaties van hoogwater. Het hoogwaterprotocol is een beleidsdocument waarin staat welke handelingen worden verricht bij bepaalde waterstanden. Dit kunnen handelingen zijn zoals sluisen dichtzetten of gemalen meer laten pompen. Dit protocol is met name gericht op een groot gebied en mist daardoor het gewenste detailniveau om effectief in te kunnen grijpen op locaties waar piping voorkomt.

Probleembeschrijving

Bij extreem hoogwater (zie begrippenlijst) is het van belang om intensiever en vaker te inspecteren dan bij "gewoon" hoogwater. Het waterschap Vallei en Veluwe heeft daarom bij periodes van hoogwater een extra uitdaging om voldoende operationele capaciteit vrij te maken om deze inspecties uit te voeren. Tijdens extreem hoogwater is de capaciteit helemaal te beperkt om snel en

effectief te inspecteren en daardoor tijdig te kunnen reageren. Het waterschap is hierdoor niet in staat om tijdig noodzakelijke maatregelen tegen piping te nemen wat uiteindelijk kan leiden tot schade aan eigendommen en gevaar voor mensenlevens (bij overstromingen).

De belangrijkste oorzaak van het personeelstekort komt doordat het waterschap ervoor gekozen heeft om de inspecties tijdens hoogwater door werknemers uit te laten voeren en niet door vrijwilligers. Dit heeft voor- en nadelen. Voordelen zijn dat er echte deskundigen inspecteren wat de inschattingen ten goede komt en dat er geen grote groep vrijwilligers opgeleid hoeft te worden. Het nadeel is dat bij extreem hoogwater de inspectiecapaciteit lager is. Hierdoor kan het waterschap onvoldoende controle houden op piping ten tijde van hoogwater en dus de waterveiligheid in deze situatie niet garanderen.

Doelstelling van het onderzoek

Het onderzoek is gericht op optimalisatie van de huidige inspectiecapaciteit en de daarop aangesloten beheersmaatregelen van het waterschap.

Onderzoeksvragen

Hoofdvraag

Welke optimalisaties voor de aanpak van piping zijn nodig zodat bij hoogwater efficiënter geïnspecteerd en geacteerd kan worden?

Deelvragen

Huidige stand van zaken inzichtelijk maken:

- Op welke manier wordt er momenteel opgetreden tegen wellen?
 - o Wat draagt het huidige hoogwaterprotocol bij aan het onder controle krijgen van het faalmechanisme piping?
 - o Welke methode wordt gebruikt voor de inspectie van piping?
 - o Waar worden proactief maatregelen genomen tegen wellen?
 - o Wat zijn de effecten van de maatregelen tegen wellen?

Optimalisatiemogelijkheden:

- Wat is de grootte van de zone waarbinnen geïnspecteerd en geacteerd kan worden op piping?
- Waar kan piping middels peilopzet proactief voorkomen dan wel uitgesteld worden?
- Welk beslisschema kan bijdragen aan het optimaliseren van de aanpak van wellen?

Beoogd resultaat

Voor het opstellen van een beoogd resultaat is er uitvoerig overleg geweest met de opdrachtgever over welk product het meeste effectief is bij de aanpak van piping en wellen. Hieruit zijn twee optimalisatiemogelijkheden naar voren gekomen. Deze optimalisaties oftewel beroepsproducten worden beschreven in een apart adviesrapport.

De eerste optimalisatie (beroepsproduct) is het opstellen van een *beslisschema*. In het beslisschema is aangegeven hoe groot de zone is waarin geïnspecteerd moet worden op wellen. Het beslisschema is een aanvulling op het huidige hoogwaterprotocol en is erop gericht om met meer precisie de zonering aan te geven waar op piping gecontroleerd kan worden bij hoogwater. Daardoor kan de inspectiecapaciteit efficiënter benut worden. Het beslisschema wordt opgesteld aan de hand van informatie uit eerder uitgevoerde onderzoeken en interviews met gebiedsbeheerders. Het beslisschema kan door inspecteurs en dijkwachters bij hoogwater gebruikt worden om gericht te

inspecteren en te reageren op piping. Hierdoor wordt het te inspecteren oppervlak verkleind en kunnen eventuele problemen sneller gevonden worden.

De tweede optimalisatie (beroepsproduct) betreft *kaartmateriaal*. Dit kaartmateriaal geeft locaties weer waar een peilopzet (zie begrippenlijst) mogelijk en nuttig is. Deze kaart wordt opgesteld aan de hand van een gebiedsanalyse over piping gevoelige locaties langs de IJsseldijk. Voor deze analyse worden locaties waar maatregelen genomen zijn tegen wellen en de effecten van deze maatregelen in kaart gebracht. De analyse heeft betrekking op de beheersmaatregel peilopzet, omdat deze maatregel het meest door het waterschap wordt toegepast. Bij peilopzet wordt het waterpeil in het binnendijkse gebied van de dijk verhoogd. Hierdoor wordt het drukverschil, dat piping veroorzaakt, verminderd. Door deze maatregel kan piping vertraagd worden en als het vroeg wordt ingezet, kan het van ontstaan van wellen zelfs worden voorkomen.

Doelgroep

Dit onderzoek is erop gericht om producten op te leveren die voor het dagelijks beheer gebruikt kunnen worden in het veld te tijde van een extreem hoogwater. Dit betreft het beslisschema, dat gebruikt kan worden door de inspecteurs en dijkwachters. Het kaartmateriaal is bedoeld om door de projectorganisatie van het waterschap gebruikt te worden.

Leeswijzer

Het rapport begint met het beschrijven van de theoretische kaders (H1) en het programma van eisen (H2). Vervolgens wordt de onderzoeksmethodiek uit de doeken gedaan in hoofdstuk 3, gevolgd door een uitgebreide beschrijving van de onderzoeksresultaten in hoofdstuk 4. De beroepsproducten zijn terug te vinden in zowel een apart rapport ("Optimalisatie aanpak van Piping", 2024 door Karel Hagemans) als in een apart GIS-bestand. In hoofdstuk 5 tenslotte zijn de aanbevelingen en adviezen terug te vinden en wordt gereflecteerd op de onderzoeksvragen.

1. Theoretisch kader

Bij de aanpak van piping is het belangrijk om de theoretische kaders scherp in beeld te hebben, omdat hier inhoudelijke aspecten bepalend zijn voor de te maken keuzes. Alle begrippen en facetten worden daarom hier uitgebreid behandeld. Met name de beschrijving van piping zelf en de inspectie, het hoogwaterprotocol, de beheersmaatregelen (zoals o.a. peilopzet), macrostabiliteit en de beoordeling van de IJsseldijk.

1.2 Piping

In figuur 1 (inleiding) is schematisch weergegeven hoe het faalmechanisme piping onder een dijk door gaat. Hierin is te zien hoe het kwelwater kanaaltjes onder de dijk vormt. Aan de binnendijkse kant van de dijk is te zien hoe wellen aan het oppervlak komen.

Het faalmechanisme piping treedt op wanneer er een ondoorlatende constructie bovenop een goed doorlatende grondlaag ligt. Het verschil in doorlatendheid zorgt ervoor dat het water bij hoogwater onder de ondoorlatende constructie gaat door stromen. Dit komt door de waterdruk die toeneemt, als bij hoogwater veel water tegen de constructie staat. Hiermee gaat het water onder de constructie door stromen tot het zich achter de constructie weer omhoog kwelt. Piping kan plaatsvinden bij verschillende constructies. Zo zijn verharde constructies zoals kunstwerken kwetsbaar hiervoor. (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)

Verder komt dit veelvuldig voor bij dijken. Deze zijn meestal van klei gemaakt. Doordat klei een cohesief materiaal is zal het aan elkaar kleven wanneer er bij de scheiding van lagen water gaat stromen. Hierdoor zullen de kanaaltjes die vormen bij piping niet instorten, omdat de kleideeltjes aan elkaar blijven kleven. Dit verschilt als piping optreedt tussen twee zandlagen. Hierbij storten de kanaaltjes bij piping in, omdat de zanddeeltjes niet aan elkaar kleven.

Het faalmechanisme piping verloopt in vier verschillende fasen. Deze fasen worden hieronder beschreven. (Piping control, 2023)

In de *eerste fase* is er kwel binnendijs. Het achterland is hierbij verzadigd met water. Hierbij staan er grote kwelplassen op het veld. Dit is weergegeven in figuur 2. Kenmerkend voor het kwelwater is dat het door de mineralen in de ondergrond een bruin, olieachtig laagje aan het water kan geven. Verder is in deze fase te zien dat het binnentalud en de teen van de dijk vochtig en nat is. Wanneer dit ook bij laag water nog voorkomt kan het gras afsterven, de bodem eroderen en de grond verkleuren. (Piping control, 2023)



Figuur2: foto kwelplassen (Piping control, 2023)

In de *tweede fase* vormen zich wellen. Het gaat hierbij om geconcentreerd uitstromend water zonder dat er zand mee stroomt. Dit is weergegeven in figuur 3. In afvoersloten of vijvers is stroming zichtbaar

aan het oppervlak. Hierbij kan het slootwater vertroebelen. Als het in de weilanden voorkomt is opborrelend water waarneembaar. Dit water kan troebel of helder zijn of vol met mineralen. Deze wellen weken ook de bovenste laag van de bodem los. Hierbij geldt dat geen zand uit de ondergrond mee stroomt. Wellen ontstaan zelden alleen, dus er zijn meestal andere openingen in de omgeving te vinden. Ook kan het water omhoog komen vanuit gaten in de bodem of uit pijpen die in het maaiveld geplaatst zijn. (Piping control, 2023)



Figuur 3: foto watervoerende wel (Piping control, 2023)

In de *derde fase* komt er zand vrij. Dit begint klein met kleine zandwolkjes, maar dit kan uiteindelijk doorgroeien tot zandvulkanen. Op de slootbodest of op het maaiveld zijn zandmeevoerende wellen duidelijk zichtbaar door de kenmerkende kratervorm. Dit is weergegeven in figuur 4. Er moet hierbij goed opgelet worden, want het zand kan in sloten snel wegstromen. Dit kan de indruk geven dat het nog wel meevalt. Hiervoor moet er verder gekeken worden of er in de rest van de sloot zandsporten te zien zijn. (Piping control, 2023)



Figuur 4: foto zandmeevoerende wel (Piping control, 2023)

In de *vierde fase* komen er grote hoeveelheden zand vrij. Hierin zijn de kanaaltjes onder de dijk (pipes) aan het eroderen. In figuur 5 is een wel te zien die veel zand uitstroming heeft. Deze erosie wordt steeds sterker naar mate de doorsnede van de kanaaltjes wordt vergroot. Hierbij is de kans groot dat wanneer de kanaaltjes een dusdanige grote doorsnede hebben, de dijk dan kan inzakken of bezwijken. (Piping control, 2023)



Figuur 5: foto zandmeevoerende wel (Piping control, 2023)

1.3 Inspectie van piping

In deze paragraaf wordt de volgende deelvraag beantwoord: “Welke methode wordt gebruikt voor de inspectie van piping?”

Waarneembare symptomen van wellen zijn: veel kwel in sloten (wat waarneembaar is door de vorming van een oliefilmpje op het wateroppervlak) en het verschijnen van luchtbelletjes, wat duidt op watervoerende wellen. Gevaarlijke wellen worden als zodanig beschouwd wanneer ze zand meevoeren. Er sprake is van capillaire werking van het grondwater door een toegenomen waterdruk. Het tegengaan van deze capillaire werking kan worden bereikt door tegendruk op de ondergrond aan te brengen, hetzij door middel van peilopzet of opkisting. Belangrijk hierbij is dat het water ten allen tijde moet kunnen blijven stromen, zodat de druk kan ontsnappen en zich niet ophoopt in de ondergrond.

De belangrijkste inspectiehandeling die toegepast wordt door het waterschap voor monitoren van deze situaties is een visuele controle met regelmaat. Tijdens hoogwater wordt dit door dijkwachters, die in drie shifts controleren, uitgevoerd. Dit biedt een effectieve bewaking. Hierbij wordt specifiek bijgehouden wat de zandvoering van de aangetroffen wellen is. De locaties waar gevaarlijke wellen worden waargenomen, worden extra in de gaten gehouden en beoordeeld om tijdig in te kunnen grijpen bij eventuele risico's. (Jan, 2023)

1.4 Hoogwaterprotocol

In deze paragraaf wordt beschreven wat het hoogwaterprotocol van het waterschap Vallei en Veluwe inhoudt. Hierbij wordt ook beschreven waarop het hoogwaterprotocol gebaseerd is. Deze paragraaf is relevant voor het onderzoek, omdat het hoogwaterprotocol momenteel de basis vormt voor de genomen maatregelen en acties bij situaties van hoogwater. Hiermee geeft het ook antwoord op de volgende deelvraag: “Wat draagt het huidige hoogwaterprotocol bij aan het onder controle krijgen van het faalmechanisme piping?” (sharepoint, 2023)

Een hoogwaterprotocol is een georganiseerde set van procedures en maatregelen die worden geïmplementeerd wanneer er zich een dreiging van overstromingen voordoet als gevolg van extreem hoogwater in rivieren, meren of andere waterwegen. Deze protocollen worden vaak ontwikkeld en beheerd door overheidsinstanties, zoals waterschappen, gemeentelijke overheden of regionale instanties en kunnen in nauwe samenwerking met experts, wetenschappers en andere belanghebbenden worden opgesteld. Een goed ontworpen hoogwaterprotocol is van essentieel belang om de impact van overstromingen te minimaliseren, de veiligheid van de bevolking te waarborgen en economische verliezen te beperken. Het vereist een hoge mate van coördinatie en samenwerking tussen verschillende overheidsinstanties en belanghebbenden en het moet regelmatig worden herzien en bijgewerkt om te blijven voldoen aan de veranderende omstandigheden en risico's.

Voor het waterschap Vallei en Veluwe is het hoogwaterprotocol schematisch weergegeven en dat schema is in bijlage 1 terug te vinden. Hierin worden acties voorgeschreven bij bepaalde waterstanden. Deze waterstanden worden afgeleid van de waterstand bij Lobith. Lobith is voor heel Nederland een referentiepunt voor waterstanden bij hoogwater, omdat de Rijn hier het land binnenkomt en de Rijn daar nog niet vertakt is. Hierdoor is het een goede referentielocatie om een idee te hebben over hoeveel water Nederland binnenstroomt. Waterschap Vallei en Veluwe heeft deze waterstanden ook in het hoogwaterprotocol verwerkt. Aan de hand van deze waterstanden worden acties ondernomen die vooral betrekking hebben op kunstwerken. Deze kunstwerken zoals

sluizen en gemalen worden ingezet om het binnendijkse gebied beter te beschermen. Zo worden bij hoogwater gemalen uitgezet of juist in pompcapaciteit verhoogd. Dat is afhankelijk van de situatie, of een bepaald gebied bestemd is om bij een hoogwater water vast te houden of juist water af te voeren. De waterstanden bij Lobith uit het hoogwaterprotocol zijn gefaseerd. In het hoogwaterprotocol zijn vijf fasen weergegeven. Deze fase zijn: de reguliere fase, fase 1, fase 2, fase 3, fase 4 en fase 5. Deze fasering is gekoppeld aan een landelijke kleurcodering.

Deze landelijke kleurcodering is hieronder in figuur 6 weergegeven. Deze kleurcodering is vastgesteld in het landelijk draaiboek hoogwater en overstromingsdreiging. Het landelijk draaiboek hoogwater en overstromingsdreiging is een beleidsdocument dat door de Rijksoverheid is opgesteld om de coördinatie en reactie van de Nederlandse overheid en andere betrokken instanties, zoals waterschappen, Rijkswaterstaat en veiligheidsregio's op overstromingsdreiging te sturen. Deze kleurcodering heeft drie functies:

De eerste functie is dat de kleurcodering een *signaalfunctie* heeft. Deze functie gaat over de (verwachte) toestand van de Nederlandse watersystemen en de mogelijke maatschappelijke impact. Het doel hiervan is om een eenduidig en gedeeld landelijk beeld van de situatie.

De tweede functie is dat de kleurcode de *basis* vormt voor de volgende *afspraken*: informatie uitwisseling, afstemming over maatregelen en afstemming over pers- en publiekscommunicatie.

De derde functie is dat de kleurcodes gebruikt kunnen worden als *indicator* in de systematiek voor *opschaling* van de crisispartners. Deze systematiek voor opschaling kan door de crisispartners zelf worden bepaald.

De kleurcodering is opgenomen in de planvorming van waterschappen, Rijkswaterstaat en de veiligheidsregio's. Waterschap Vallei en Veluwe heeft deze kleurcodering in de fasering van het hoogwaterprotocol opgenomen. (Informatiepunt leefomgeving, 2024) (sharepoint, 2023)

Kleurcode groen Er is sprake van regulier dagelijks waterbeheer.
Kleurcode geel Hier en daar zijn (verwachte) waterstanden verhoogd. Waterbeheerders nemen standaardmaatregelen. Gebruiksfuncties op en aan het water, zoals scheepvaart en activiteiten in uiterwaarden of in andere buitendijkse gebieden, worden mogelijk beperkt. Kleurcode geel kan meerdere keren per jaar voorkomen.
Kleurcode oranje De dreiging van het hoogwater neemt (naar verwachting) toe. Waterbeheerders nemen verdergaande maatregelen. Indien nodig worden grootschalige maatregelen voorbereid. Gebruiksfuncties op en aan het water worden beperkt. Lichte schade aan waterkeringen kan optreden. Kleurcode oranje komt gemiddeld eens in de vijf jaar voor.
Kleurcode rood Ernstige en uitzonderlijke situatie in het watersysteem (verwacht). Grootschalige noodmaatregelen worden mogelijk getroffen. Schade kan optreden. Nationale veiligheid kan in het geding zijn. Kleurcode rood komt gemiddeld eens in de 20 tot 100 jaar voor (afhankelijk van het gebied).

Figuur 6: landelijke kleurcode hoogwater (Informatiepunt leefomgeving, 2024)

1.5 Beheersmaatregelen

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de beheersmaatregelen die door het waterschap zijn toegepast. Deze beheersmaatregelen zijn: peilopzet en opkisten. Verder worden de effecten van peilopzet verder beschreven aan de hand van een interview met de gebiedsbeheerder van de IJsseldijk.

Toegepaste beheersmaatregelen

Het waterschap hanteert twee beheersmaatregelen, namelijk peil opzetten en opkisten. Peil opzetten is een beheersmaatregel tegen piping. Hierbij wordt het waterpeil in het binnendijkse gebied van de dijk verhoogd. Hierdoor wordt het drukverschil verminderd. Door deze maatregel kan piping vertraagd worden en als het vroeg wordt ingezet, kan het zelfs worden voorkomen (als het hoogwater niet lang aanhoudt). Deze maatregel wordt door het waterschap het meest gebruikt, omdat wellen meestal in sloten bij dijken voorkomen. Hierdoor kan het waterpeil van deze sloten worden verhoogd. Dit doen inspecteurs/dijkwachters door stuwen op te hogen of door schotten in een sloot te plaatsen. Dit is weergegeven in figuur 7. In vergelijking met opkisten kost het minder materieel en mankracht. (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)



Figuur 7: afbeelding Peilopzet (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)

Bij de beheersmaatregel opkisten worden zandzakken rondom de zandmeevoerende wel geplaatst. Dit is weergegeven in figuur 8. Hierin kan het kwelwater met zand omhoogkomen. Vervolgens wordt de opkisting zak voor zak opgehoogd, waardoor op een gegeven moment geen zand meer wordt meegevoerd. Dan stopt het ophogen en vormt deze 'wel' geen gevaar meer. Opkisten is een plaatselijke maatregel die veel materieel en mankracht kost. Verder kunnen rondom een opgekiste wel andere wellen ontstaan doordat het kwelwater een andere weg in de ondergrond zoekt. (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)



Figuur 8: afbeelding opkisting (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)

Effecten van Peilopzet

In deze paragraaf wordt beschreven wat de effecten zijn van peilopzet en daarmee wordt op de volgende deelvraag antwoord gegeven: “Wat zijn de effecten van de maatregelen tegen wellen?”. Deze effecten zijn afgeleid van een interview dat is afgenomen met de gebiedsbeheerder van de IJsseldijk. De transcriptie van dit interview staat in bijlage 2. (Jan, 2023)

Peilopzet wordt toegepast als door de inspectie symptomen van piping worden vastgesteld. De afweging om peilopzet toe te passen is gebaseerd op ervaringen met piping in een bepaald gebied langs de IJsseldijk. Verder worden de waterstanden bij Lobith aangehouden om de verwachting van het hoogwater in te schatten. Uit deze waterstanden wordt afgeleid hoelang het hoogwater aanhoudt en wat de waterstanden langs de IJssel zullen worden. Voor de toepassing van peilopzet geldt dat vanaf een waterstand van 12 meter bij Lobith peilopzet wordt toegepast.

Peilopzet wordt toegepast in de volgende situaties:

- Als grond onrustig wordt (dus als er kwelplassen ontstaan en als de waterafvoer van de sloten groter wordt)
- Als de waterhoogten bij Lobith boven een bepaalde waarde komen (vanaf 12 á 13 meter)
- Hoe eerder hoe beter (het is belangrijk om hoogwater voor te zijn)

Door het bijtijds toepassen van peilopzet wordt voorkomen dat er wellen kunnen ontstaan.

Wanneer het hoogwater lang aanhoudt (een langere periode dan 5 á 6 dagen) met een waterstand van boven de 12 m bij Lobith, krijg je een verzadiging van de grond binnendijs. Dan kan de grond gaan opdrijven. Dit komt door de druk van het peilverschil en de kwel die onder de dijk doorstroomt.

Specifiek zijn de effecten van peil opzet de volgende:

- tegendruk geven
- verzwaren/extra massa aanbrengen
- capillaire werking tegen gaan door water te gebruiken.

Die effecten van peilopzet kun je aan de volgende zaken waarnemen:

- je ziet de kwelstromen tot rust komen (wellen)
- de wellen voeren geen zand meer af
- de overstortende straal van sloten steeds groter wordt
- dat er veel water het gebied in komt (kwel)
- dat er steeds meer water onder de dijk door gaat stromen.

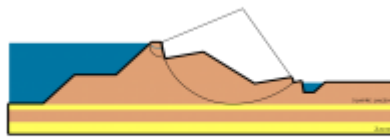
In bepaalde gebieden is peilopzet effectiever.

- Kwelgebieden met heel veel wellen
- Gebieden met zanderige ondergrond of storende lagen in de ondergrond
- Gebieden met schijnwaters (teruglopende kwel) die bij laag water teruglopen vanaf het Veluwe massief
- Gebieden met Grofzandige grondlaag die snel kwelt
- Welsum is een voorbeeld van een gebied met een grove zand ondergrond en heeft storende lagen in de grondopbouw

1.6 Macrostabiliteit

Macrostabiliteit vormt samen met piping het belangrijkste faalmechanisme van de IJsseldijk. Macrostabiliteit is relevant voor dit onderzoek, omdat de meest gebruikte beheersmaatregel tegen piping (peilopzet) een negatief effect kan hebben op de macrostabiliteit van dijken. Beide faalmechanismen zijn door het waterschap beoordeeld. In het onderzoek worden locaties geanalyseerd die geschikt zijn voor peilopzet. Bij de analyses van de locaties is ook gekeken naar de beoordeling die door het waterschap is uitgevoerd.

In figuur 9 hieronder is een schematisering weergegeven waarin een dijk bezwijkt als gevolg van het falen van de macrostabiliteit. Hierin is te zien dat de dijk bezwijkt onder een bezwijkcirkel.



Figuur 9: schematisatie macrostabiliteit (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)

Hieronder wordt een beschrijving gegeven van het faalmechanisme macrostabiliteit. (Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage, 2023)

Macrostabiliteit is het vermogen van een dijk om als geheel stabiel te blijven onder verschillende belasting omstandigheden. Het omvat het begrijpen en beoordelen van de structurele integriteit van de dijk op een grotere schaal, waarbij rekening wordt gehouden met diverse geotechnische en hydraulische factoren. Hier zijn enkele kernaspecten van macrostabiliteit met betrekking tot dijken:

Dijkgeometrie: De geometrische kenmerken van de dijk, zoals de hoogte, hellingen, kruinbreedte en taludhellingen spelen een essentiële rol in de macrostabiliteit. Deze factoren beïnvloeden de distributie van belastingen en stabiliteitskrachten in de dijk.

Grondmechanica: De eigenschappen van de gebruikte grondmaterialen en de stabiliteit van de grondlichamen zijn cruciaal. Het begrip van parameters zoals schuifsterkte, consolidatiegedrag en doorlatendheid is van belang bij het beoordelen van de macrostabiliteit.

Waterdruk en hydraulica: Macrostabiliteit houdt rekening met de waterdruk aan beide zijden van de dijk. De interactie tussen de dijk en het water, inclusief golfaanval en wateropstuwing, speelt een rol bij het beoordelen van de stabiliteit. Een dijk moet bestand zijn tegen deze hydraulische belastingen.

Structurele integriteit: Het vermogen van de dijk om zijn eigen gewicht en externe belastingen te dragen, evenals de weerstand tegen eventuele verschuivingen in de grond.

Veiligheidsfactoren: Bij het beoordelen van macrostabiliteit worden veiligheidsfactoren toegepast om rekening te houden met onzekerheden in ontwerpparameters, materiaaleigenschappen en belastingen. Dit zorgt ervoor dat de dijk voldoende marge heeft om onverwachte omstandigheden het hoofd te bieden.

Monitoring en onderhoud: Een integraal onderdeel van macrostabiliteit is het opzetten van systemen voor monitoring en regelmatig onderhoud. Door de prestaties van de dijk in de tijd te volgen, kunnen potentiële problemen vroegtijdig worden geïdentificeerd en aangepakt.

Macrostabieliteitsonderzoek is van cruciaal belang voor het ontwerpen en beheren van veilige en duurzame dijken, met name gezien de toenemende bezorgdheid over klimaatverandering en de bijbehorende stijging van de zeespiegel. Het is een complexe, multidisciplinaire benadering die kennis vereist van geotechniek, civiele techniek, hydrologie en andere relevante vakgebieden.

1.7 Beoordeling IJsseldijk

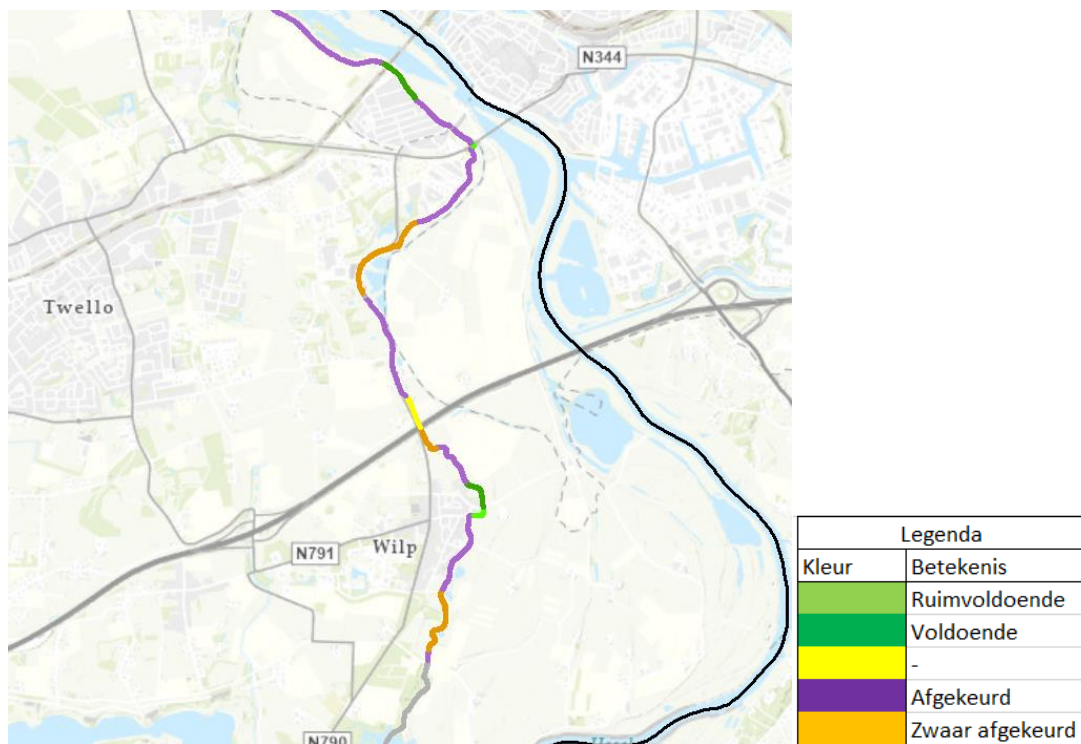
In deze paragraaf wordt beschreven wat de beoordelingen inhouden en hoe deze beoordelingen relevant zijn voor het onderzoek. Verder wordt weergegeven hoe deze beoordelingen eruitzien. (WBI_oordeel_def + 2050, 2023)

Het waterschap heeft de IJsseldijk beoordeeld op verschillende faalmechanisme die kunnen optreden. Deze faalmechanismen zijn berekend en getoetst door rekenmodellen, formules en programma's zoals de D-programma's van Deltares. De uitkomsten van de beoordelingen zijn verwerkt als kaartlagen in GIS, zoals in figuur 10 en figuur 11 is weergegeven. Voor het onderzoek zijn uitsluitend de beoordelingen op piping en macrostabieliteit relevant. Deze beoordelingen zijn beiden gebruikt in de analyse uit paragraaf 4.3. De beoordeling op piping is verder nog van toepassing voor het opstellen van peilopzet locaties aan de hand van de beoordeling op piping. Dit is in paragraaf 2.4 van het beroepsproduct ("Optimalisatie aanpak van Piping", 2024 door Karel Hagemans) verder toegelicht.

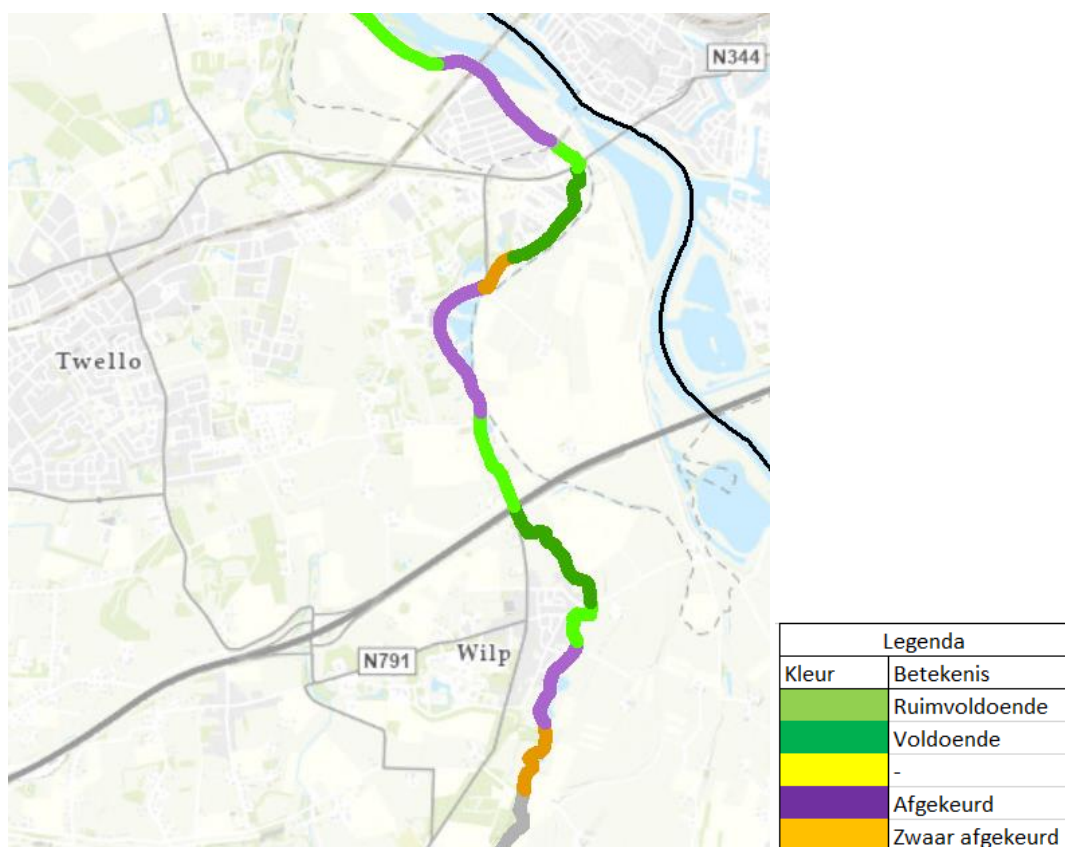
In figuur 10 en 11 hieronder zijn de beoordelingsresultaten van piping en macrostabieliteit weergegeven voor een onderdeel van de IJsseldijk. Deze weergave laat zien hoe de beoordeling van de IJsseldijk is weergegeven en wat dus de betere en minder goede delen zijn van de dijk. Hierin is met kleuren aangegeven wat de resultaten zijn van de beoordeling. Deze kleurcodering is in de legenda weergegeven.

De beoordeling is tot stand gekomen door het combineren van diverse berekenings- en toets resultaten uit geotechnische programma's en modellen. In het landelijke beoordelingsinstrumentarium (Beoordelingsinstrumentarium, 2017) is voorgeschreven hoe de beoordelingen uitgevoerd moeten worden. Verder wordt hierin de kleurcodering verklaard.

De groene kleur duidt op een voldoende situatie, de overige kleuren geven aan dat er sprake is van afkeur. De eisen zijn recent verscherpt en gericht op 2050. Het feit dat er veel trajecten afgekeurd en zelfs zwaar afgekeurd zijn betekent dat er in de toekomst dijkversterkingsprojecten moeten worden opgestart voor deze gebieden.



Figuur 10: kaartfragment beoordeling piping (WBI_oordeel_def + 2050, 2023)



Figuur 11: kaartfragment beoordeling macrostabiliteit (WBI_oordeel_def + 2050, 2023)

2. Programma van eisen

In het programma van eisen worden randvoorwaarden gesteld die nodig zijn voor de uitvoering van het onderzoek. Ook de eisen en wensen die door de opdrachtgever aan de beroepsproducten worden gesteld zijn hier weergegeven. Al deze zaken dienen aanwezig te zijn en/of vormen een extra kader voor zowel de beroepsproducten als het onderzoek.

2.2 Randvoorwaarden

Voor de uitvoering van het onderzoek zijn diverse randvoorwaarden te onderscheiden, dit betreft met name de toegankelijkheid en beschikbaarheid van diverse bronnen. Dit is geregeld in de eerste fase van het onderzoek, daarbij speelde de opdrachtgever een belangrijke rol.

Zo is toegang vereist tot de volgende accounts:

- VDI (Beschermd digitale omgeving)
- GIS-account van Vallei en Veluwe

Verder zijn de volgende GIS-data van belang:

- Kwel en wel archief (wellenkaart)
- Beoordeling waterkeringen voor piping en macrostabiliteit
- AHN

Ook zijn nodig de volgende documenten:

- Hoogwaterprotocol
- Rapporten over piping voor de literatuurstudie van het beslisschema

Naast toegang tot accounts en beschikbaarheid van bronnen is het ook van belang met de volgende personen in contact te komen en van hen wat nadere uitleg te krijgen:

- Gebiedsbeheerders voor interviews
 - o IJsseldijk
 - o Grebbendijk
 - o Overige gebiedsbeheerders (van andere waterschappen)
- Opdrachtgever

2.3 Eisen en wensen van de opdrachtgever

De eisen en wensen van de opdrachtgever zijn richtinggevend voor het onderzoek.

- Effecten van peilopzet in kaart brengen door een interview
- In kaart brengen locaties waar momenteel peilopzet wordt toegepast
- In kaart brengen locaties waar nieuwe peilopzet gerealiseerd kan worden aan de hand van de wellenkaart en aan de hand van de beoordeling op piping.
- Invloedsgebieden peilopzet vormgeven aan de hand van AHN vormgeven
- Locaties analyseren op de beoordeling van piping en macrostabiliteit
- Aan de hand van uitgevoerde literatuur studie en afgenomen interviews een beslisschema opstellen.
- Beslisschema toepasbaar voor in de praktijk
- Verwerking van de aanbevelingen in het beroepsproduct

3. Onderzoeksmethodiek

De onderzoeksmethodiek wordt beschreven aan de hand van het doorlopen proces. De methoden en technieken zijn o.a. literatuurstudie, interviews en data analyse en per onderdeel expliciet aangegeven. Er is ook aandacht voor de validiteit voor de gebruikte werkwijze. Na een korte introductie van de totale opzet zijn de drie fasen afzonderlijk uitgewerkt, gevolgd door een beschouwing van de validiteit van het onderzoeksproces.

3.2 Doorlopen onderzoeksproces

Per processtap is beschreven welke activiteiten worden uitgevoerd en wat de bijbehorende methodiek is en de toegepaste techniek. Hieruit volgen de beroepsproducten en de onderzoeksresultaten. In het schema (figuur 12) is weergegeven hoe het onderzoeksproces doorlopen is. Het beantwoorden van de deelvragen is geïntegreerd in het onderzoek en zal bij de diverse stappen aangehaald worden.



Figuur 12: schema van het doorlopen onderzoeksproces

3.3 Inventarisatiefase

Stap 1: huidig hoogwaterprotocol onderzoeken

Activiteit: Hier is onderzocht wat het huidige hoogwaterprotocol inhoudt. Hiervoor is informatie verzameld door middel van literatuurstudie en verwerkt in een beschrijving van het hoogwaterprotocol. Verder is AI gebruikt om te helpen bij de rapportage. Hierbij is gekeken naar het huidige hoogwaterprotocol.

Resultaat: beschrijvingen van protocol in H1, tevens het antwoord op de eerste deelvraag: “Wat draagt het huidige hoogwaterprotocol bij aan het onder controle krijgen van het faalmechanisme piping?”

Methodiek: literatuurstudie

Techniek: AI

Stap 2: locaties huidige maatregelen, effecten en inspectie in kaart brengen

Activiteit: Geïnventariseerd is waar locaties zijn van wellen waartegen maatregelen getroffen zijn. Hierbij geldt dat de locaties van wellen al bekend zijn, maar de opdrachtgever heeft nog niet in kaart gebracht waar de locaties zijn van wellen waartegen gehandeld is. De maatregel die opgenomen is in de inventarisatie is peilopzet. De andere beheersmaatregel die door het waterschap wordt toegepast is opkisting. Peilopzet wordt toegepast op specifieke locaties en een opkisting heeft geen vaste

locatie. Door de locaties in kaart te brengen ontstaat een beeld van de gebieden waar wellen gevaarlijk zijn geweest. Deze gebieden kunnen dus extra risico vormen bij hoogwater in de toekomst. Deze locaties worden in kaart gebracht in GIS. De locaties zullen door de dijkbeheerder aangewezen worden. Hierbij worden kaartlagen als onderlegger gebruikt waaraan de dijkbeheerder precies kan aanwijzen waar peilopzet toegepast wordt. De kaartlagen die hiervoor zijn gebruikt zijn: AHN, luchtfoto, legger (watergangen), kunstwerken (duikers), kwel en wel archief (wellenkaart), dijkpalen en waterkeringen.

Dit is niet de meest precieze methode, maar dat is voor wellen ook niet nodig. Dit komt doordat wellen in een groot gebied ontstaan. Dus als er een precieze locatie is, dan kunnen in een groter gebied eromheen wellen ontstaan en niet per se op die ene locatie. Verder wordt geïnterviewd wat de effecten van deze maatregelen zijn. Deze effecten worden beschreven aan de hand van een interview dat met de gebiedsbeheerder is afgenomen. Hierdoor is een beeld ontstaan van welke maatregelen op bepaalde locaties effectief zijn. Verder wordt een beschrijving gegeven over hoe de inspectiehandelingen verlopen en op welke symptomen bij de inspectie van piping gelet moet worden. Deze beschrijving wordt gemaakt aan de hand van een interview met de gebiedsbeheerder.

Resultaat: beschrijvingen van de effecten en de inspectie staan in paragraaf 1.5 en 1.3, dit vormt tevens het antwoord op de volgende deelvragen: “Welke methode wordt gebruikt voor de inspectie van piping?” / “Wat zijn de effecten van de maatregelen tegen wellen?”

Verder wordt in de kaart in het rapport met de beroepsproducten (bijlage bij dit rapport: “Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) aandacht besteed aan de volgende deelvraag: “Waar worden proactief maatregelen genomen tegen wellen?”

Methodiek: desktopstudie en interview

Techniek: GIS

3.4 Analysefase

Stap 3: potentiële locaties analyseren die voor peilopzet geschikt zijn

Activiteit: Aan de hand van de uitgevoerde maatregelen is een analyse opgesteld. In deze analyse worden potentiële nieuwe gebieden geanalyseerd die geschikt zijn voor het opzetten van het waterpeil in het binnendijkse gebied. De potentiële locaties zijn aan de hand van de wellenkaart van het waterschap en de beoordelingen van piping en macrostabiliteit vastgesteld. Deze locaties zijn vormgegeven tegen de achtergrond van AHN en de legger (kaartlaag met watergangen) van het waterschap. De potentiële locaties zijn vervolgens geanalyseerd door per locatie de beoordeling op piping en op macrostabiliteit met elkaar te vergelijken. Hieruit volgt per locatie een uitkomst, waarna per locatie een advies is opgesteld. Wanneer de uitkomst van deze analyse voor een bepaalde locatie voor zowel piping als macrostabiliteit negatief uitkwam, is verder onderzoek gedaan of het maaiveld op een natuurlijke manier verzadigt raakt bij hoogwater. Hiervoor wordt met de gebiedsbeheerder nagegaan of dat voor een bepaalde locatie geldt.

Resultaat: kaart met nieuwe peilopzet locaties (bijlage bij dit rapport: “Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) tevens het antwoord op de deelvraag: “Waar kan piping middels peilopzet proactief voorkomen dan wel uitgesteld worden?”

Methodiek: desktopstudie, expert-judgement

Techniek: GIS

Stap 4: de kritieke zone van wellen onderzoeken

Activiteit: Onderzocht is hoe groot de kritieke zone (zie begrippenlijst) is waarin wellen kunnen optreden. De kritieke zone is het gebied tussen de dijk en de wellen die tot een bepaalde afstand een gevaar kunnen vormen. Dit is van belang, omdat het voor kan komen dat er wellen ver uit de dijk ontstaan. Hierbij is onderzocht of deze wellen een gevaar vormen bij piping. Bij het onderzoeken hiervan is de informatie verzameld door literatuurstudie en interviews. Hierbij is gekeken naar rapporten waarin onderzoek gedaan is over piping. In deze onderzoeken is gekeken naar wat de bevindingen zijn over het uittredepunt (zie begrippenlijst). De afstand van het uittredepunt is hiervoor het belangrijkste, omdat de afstanden in het beslisschema verwerkt worden. De uitkomsten van de literatuurstudie zijn met de opdrachtgever besproken, hieruit kwam naar voren dat de uitkomsten aangevuld moesten worden met interviews. Bij deze interviews zijn drie gebiedsbeheerders ondervraagd naar hun inschattingen van de afstanden van het uittredepunt. Verder zijn verschillende waterstanden behandeld. De ingewonnen gegevens uit de literatuurstudie en de interviews zijn vervolgens in het beslisschema verwerkt.

Resultaat: beschrijving van de bevindingen in H4, tevens het antwoord op de deelvraag: “Wat is de grootte van de zone waarbinnen geïnspecteerd en geacteerd kan worden op piping?”

Methodiek: literatuurstudie en interviews

3.5 Realisatiefase

Stap 5: beslisschema opstellen

Activiteit: Aan de hand van de resultaten die uit de analyse komen is een beslisschema opgesteld, waarbij de kritieke zone bepalend is. Doordat de zone bepaald is en in het beslisschema is opgenomen, kunnen dijkwachters en inspecteurs bij hoogwater gericht zoeken naar wellen. Bij het opstellen is gebruik gemaakt van expert-judgement. Hiermee geven de dijkbeheerder en de opdrachtgever hun input om zo tot een bruikbaar product te komen. Het beslisschema is bedoeld als aanvulling op het hoogwaterprotocol om tijdens de inspecties bij hoogwater te gebruiken.

Resultaat: beslisschema in het beroepsproductenrapport (bijlage bij dit rapport: “Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans), tevens het antwoord op de deelvraag: “Welk beslisschema kan bijdragen aan het optimaliseren van de aanpak van wellen?”

Methodiek: expert-judgement

Stap 6: kaart peilopzet locaties opstellen

Activiteit: Aan de hand van de resultaten is een kaart opgesteld waarin locaties zijn opgenomen van gebieden die geschikt zijn voor peilopzet. Deze kaart kan gebruikt worden om een gebiedsgerichte aanpak uit te voeren, door in bepaalde gebieden een peilopzet installatie te realiseren kan het waterpeil binnendijs opgezet worden. Zo kan ten tijde van hoogwater piping beter in deze gebieden beheerst worden. Bij het opstellen van deze kaart wordt door middel van expert-judgement de input van de dijkbeheerder en de opdrachtgever verwerkt. Zo is een bruikbaar product ontstaan.

Resultaat: kaart met nieuwe en huidige peilopzet locaties (bijlage bij dit rapport: “Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) tevens antwoord op de deelvragen: “Waar kan piping middels peilopzet proactief voorkomen dan wel uitgesteld worden?”/“Waar worden proactief maatregelen genomen tegen wellen?”

Methodiek: expert-judgement

Techniek: GIS

Stap 7: eindredactie

In deze stap wordt het eindconcept van het advies rapport opgesteld en besproken. Voor het advies geldt dat er wordt nagegaan of de producten een toegevoegde waarde hebben op het optimaliseren van de aanpak van piping. Hierbij worden aanbevelingen aan de opdrachtgever gedaan over het eindproduct.

Vervolgens wordt gecontroleerd of het adviesrapport kwalitatief goed is en dat het product in de praktijk bruikbaar is voor het waterschap. Dit gebeurt met de opdrachtgever en de gebiedsbeheerder. Hierbij wordt goed gekeken of de producten correct zijn afgesteld op de beoogde doelgroepen. Het beslisschema wordt door de gebiedsbeheerder beoordeeld op de bruikbaarheid voor inspecteurs en dijkwachters. De kaart met peilopzet locaties wordt door de opdrachtgever beoordeeld op bruikbaarheid voor de afdeling projectorganisatie van het waterschap. Tot slot wordt feedback verwerkt voor het definitieve adviesrapport.

Resultaat: definitieve versies van het rapport met de beroepsproducten en het onderzoeksverslag

Methodiek: expert-judgement

3.6 Validiteit onderzoeksproces

Het onderzoeksproces wordt in nauwe samenwerking met deskundigen uitgevoerd, hun reflectie op de tussentijdse resultaten is de beste waarborg dat de redeneringen valide zijn. De gebruikte protocollen en werkwijzen hebben hun waarde allang bewezen en zijn daarmee valide. Natuurlijk is daar op voortgeborduurd maar dat is altijd gecheckt met de deskundigen.

Ten opzichte van het projectplan is de oorspronkelijke volgorde iets aangepast: daar waar oorspronkelijk de inventarisatiefase opgevolgd zou worden door het onderzoek naar de kritieke zone is ervoor gekozen om eerst een eerste versie van de kaart te vervaardigen. Stap 3 en 4 uit figuur 12 zijn dus, in goed overleg, omgewisseld in het proces.

De kritieke zone zou aanvankelijk door middel van literatuurstudie onderzocht worden, maar doordat dat te weinig informatie opleverde zijn daar meer interviews met gebiedsbeheerders aan toegevoegd. Daarmee zijn authentieke ervaringen aan het onderzoek toegevoegd, en is tevens de validiteit toegenomen.

4. Onderzoeksresultaten

De onderzoeksresultaten bevatten veel gedetailleerde informatie over locaties in het onderzoeksgebied en soms specifieke aanbevelingen voor beheersmaatregelen. Verder zijn vooral de beroepsproducten (“Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) resultaten van het uitgevoerde onderzoek, hier zijn zowel toelichtingen als de resultaten zelf terug te vinden.

In dit hoofdstuk zijn de locaties die in de kaart zijn weergegeven, geanalyseerd aan de hand van beoordelingsresultaten van de IJsseldijk. De beoordeling van de IJsseldijk wordt verder toegelicht in paragraaf 1.7. Verder zijn er bevindingen uit literatuurstudies en interviews opgenomen en is er tot slot gereflecteerd op de betrouwbaarheid van de resultaten.

4.2 Kaart met peilopzet locaties

- De kaart met de peilopzet locaties is in een apart ZIP-bestand bijgevoegd: “GIS_data peilopzet IJsseldijk”
- De toelichting op de totstandkoming van de peilopzet locaties in hoofdstuk 2 van het beroepsproduct (“Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) beschreven.
- De kaart met peilopzet locaties en de toelichting beantwoorden de volgende deelvragen: “Waar worden proactief maatregelen genomen tegen wellen?” / “Waar kan piping middels peilopzet proactief voorkomen dan wel uitgesteld worden?”

4.3 Analyse beoordelingsresultaten van de IJsseldijk

In deze paragraaf worden de beoordelingsresultaten van de IJsseldijk geanalyseerd. In deze analyse zijn de locaties die in het beroepsproductenrapport (bijlage bij dit rapport: “Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) uitgewerkt zijn nader geanalyseerd. Er is per locatie een beoordeling gegeven op piping en macrostabiliteit. De beoordeling is aangegeven met een kleurcodering, deze is in een legenda (tabel 1) aangegeven. (Beoordelingsinstrumentarium, 2017) De reden dat de beoordeling van macrostabiliteit in deze analyse is opgenomen, is dat de beheersmaatregel peilopzet een negatief effect kan hebben hierop. Dat er twee beoordelingen van macrostabiliteit zijn heeft te maken met de kwaliteit van de dijk stroomop- en afwaarts. Bij het toepassen van peilopzet kan het binnendijs gebied verzadigd raken. Hierbij komt er water tussen de gronddeeltjes waardoor de grond kan gaan opdrijven. Door het opdrijven neemt de korrelspanning in de ondergrond af. Dit heeft als gevolg dat de macrostabiliteit van de ondergrond verslechtert.

	Faalmechanisme			Legenda	
Locatie:	Piping	Macrostabiliteit		Kleur	Betekenis
Hattem					Ruimvoldoende
Wapenveld					Voldoende
Veessen					-
Kloosterhoekweg					Afgekeurd
Bosweg					Zwaar afgekeurd
De Wijk					Extreem afgekeurd
Brummen					
Leuvenheim					
Villa Bakhuis					
Wilp					

Tabel 1: analyse beoordeling IJsseldijk

Aan de hand van de analyse in tabel 1 kan per locatie een conclusie worden opgesteld. Deze conclusies zijn in detail terug te vinden in hoofdstuk 5, hier halen we er enkele voorbeelden uit. Uit het schema volgt bijvoorbeeld dat Hattem voldoet en Villa Bakhuis veel wel veel aandacht behoeft.

Uit tabel 1 blijkt dat de IJsseldijk op zes locaties afgekeurd is op zowel piping als macrostabiliteit. Voor deze locaties is nader overlegd met de gebiedsbeheerder van de IJsseldijk. Hierbij is nagegaan of bij deze locaties het binnendijkse gebied met hoogwater al verzadigt raakt zonder dat peilopzet wordt toegepast. Voor al deze gebieden (met uitzondering van Wilp) geldt dat dit ook zonder toepassing van peilopzet al gebeurt.

Dus peilopzet in deze gebieden is nuttig om toe te passen, ook al heeft het een negatief effect op de macrostabiliteit. Het binnendijkse gebied van deze locaties ondergaat een verhoging van de binnenwaterstand door zowel de toepassing van peilopzet als ook door kwel bij hoogwater. Echter, bij de toepassing van peilopzet worden de effecten van piping gemitigeerd.

4.4 bevindingen literatuurstudie

In deze paragraaf worden bevindingen beschreven die uit verschillende informatiebronnen afkomstig zijn. Met name de deelvraag: “Wat is de grootte van de zone waarbinnen geïnspecteerd en geacteerd kan worden op piping?” staat hier centraal.

Hierbij wordt onderzocht waar het uittreepunt van de kwelstromen onder een dijk ligt. Het uittreepunt is de plek waar het kwelwater dat onder de dijk stroomt bij hoogwater omhoog komt tot het maaiveld. Hiervoor wordt bij uitgevoerde onderzoeken gekeken naar wat de bevindingen zijn voor de locatie van het uittreepunt. Per onderzoeksrapport is aangegeven wat de bevindingen zijn over het uittreepunt. Hierbij zijn drie Nederlandse en één Engelstalig onderzoek geraadpleegd.

Bevindingen “onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen” van Rijkswaterstaat en Deltares: (Zandmeevoerende Wellen, 2012)

- Het maatgevende uittreepunt (locatie waar het kwelwater het oppervlak bereikt) ligt in het algemeen bij de binnendijkse teen van de dijk, als er sprake is van een horizontaal maaiveld.

- Bij een aflopend of onregelmatig maaiveld kan het uittreepunt verder weg liggen. Hierbij zijn lokale laagten, sloten en kolken aandacht locaties.

Bevindingen “Gebiedsspecifieke faalpaden voor piping” van Deltares: (Esther Rosenbrand, 2020)

- De aanwezigheid van wellen beïnvloedt de waterspanningen, die afnemen. Hierdoor ontstaan nieuwe wellen. Dit zal een lokaal effect hebben, echter op een afstand van 50-100 meter is dit effect vermoedelijk minimaal.

Bevindingen “Technisch rapport zandmeevoerende wellen” van de WUR: (Technisch rapport Zandmeevoerende wellen, 1999)

- Het uittreepunt ligt vaak op natuurlijke wijze vast, dus als een bermsloot tot in de zandlaag reikt of wanneer de zandlaag tot het maaiveld reikt.
- Het maatgevende uittreepunt ligt in het algemeen bij de binnenteen, in het geval van een horizontaal maaiveld.
- Bij een onregelmatig maaiveld geldt dat het uittreepunt verder van de dijk kan liggen. Het uittreepunt ligt hierbij meestal in lokale laagte, sloten of kolken.
- Bij een opbarstgevoelige deklaag geldt dat het uittreepunt de opbarstlocatie is.

Bevindingen “Design Method for a Finite Line of Fully Penetrating Relief Wells” van de International society for soil mechanics and geotechnical engineering: (Design Method for a Finite Line of Fully Penetrating Relief Wells, 2021)

- Wellen zitten langs de binnendijkse teen.

4.5 bevindingen interviews met gebiedsbeheerders

Er zijn drie gebiedsbeheerders geïnterviewd waarbij onderzocht is wat hun ervaringen en bevindingen zijn over de locatie van het uittreepunt. De informatie uit dit hoofdstuk is in het beslisschema verwerkt dat in het veld gebruikt kan worden om aan te geven hoever vanuit de dijk geïnspecteerd dient te worden. Het eerste interview is afgenomen bij Geert Jan van de Vegte, de gebiedsbeheerder van de IJsseldijk (voor transcriptie van dit interview zie bijlage 2). Het tweede interview is afgenomen bij Paul van Breukelen, de gebiedsbeheerder van de Grebbendijk (bijlage 3) en het derde interview was met Wim Cornelissen (gebiedsbeheerder Rijn en Waaldijk, transcriptie in bijlage 4).

Bevindingen van interview met Geert Jan van de Vegte (beheerder IJsseldijk):

- Peilopzet wordt toegepast als onrust in het grondgedrag wordt waargenomen (dit kan de volgende aspecten bevatten: waterafvoer in het gebied neemt toe, er ontstaan binnendijks kwelplassen en wellen.) Verder wordt voor de IJsseldijk een waterstand van 12 meter + NAP bij Lobith aangehouden om peilopzet toe te gaan passen.
- De maximale afstand vanuit de teen van de dijk waarbij een wel is aangetroffen is 800 meter.
- De meeste wellen komen binnen 100 meter voor, en vooral op 30 à 40 meter.
- Wellen op een afstand van verder dan 100 meter vanuit de teen van de dijk worden door Geert Jan geschat op een laag risico voor de dijk.
- Met een langdurig hoogwater verzadigt het binnendijkse gebied, waardoor er risico is op afschuiving van de dijk. Echter heeft dit langs de IJssel veel tijd nodig.
- Geen zandmeevoerende wellen na 100 meter, tenzij er een leiding lekt.

- Bij het inspecteren wordt het talud en de teensloten binnendijs aangehouden voor de inspectie naar wellen. Bepaalde bijzondere locaties zijn uitzonderingen, zoals bij Welsum. Hierbij wordt verder landinwaarts geïnspecteerd.
- De locaties waar peilopzet wordt toegepast zijn aandacht locaties voor piping.
- In het algemeen zijn de teensloten het oriëntatiepunt van de inspectie.
- Bij aandachtsgebieden kunnen zandmeevoerende wellen op 80 of 90 meter vanuit de dijk ontstaan.
- De hoogste waterstand die Geert Jan heeft meegemaakt is 14,80 meter bij Lobith.
- Bij hele hoge waterstanden kunnen wellen soms verder dan 100 meter ontstaan.
- De duur van een hoogwater heeft ook effect op de vorming van wellen. Hiervoor geldt dat bij een langdurig hoogwater het binnendijkse gebied meer verzadigd raakt dan bij een korte hoogwatergolf. Bij een korte hoogwatergolf is de waterstand binnen een week onder 12 meter bij Lobith. Bij een langdurig hoogwater is er sprake van 2 à 3 weken staand water tegen de dijk. Effect op de afstand is niet bekend.
- Vanaf 11 meter bij Lobith ontstaan wellen langs de IJsseldijk.

Bevindingen van interview met Paul van Breukelen (beheerder Grebbendijk):

- De maximale afstand vanuit de teen van de dijk waarbij een wel is aangetroffen is 100 meter.
- Hoe dichtbij de dijk, hoe groter de wellen zijn en dus ook meer zand meevoeren. Als de wellen verder van de dijk liggen is de druk minder en komt er minder zand mee.
- Zandmeevoerende wellen komen binnen 50 meter vanaf de dijk voor.
- Binnen de 50 à 75 meter vormen wellen een risico op inzakking van het dijklichaam. Dit is ook afhankelijk of er achter de dijk een kanaal of sloot zit.
- Wellen ontstaan in het gebied (bij de Grebbendijk) bij een waterstand van rond de 14,50 en de 15 meter + NAP bij Lobith.
- Als de waterstand boven de 15 meter + NAP bij Lobith uitkomt ontstaan zandmeevoerende wellen.

Bevindingen van interview met Wim Cornelissen (beheerder Waaldijk en Rijndijk van waterschap Rivierenland):

- In het beheergebied van waterschap Rivierenland kan de maximale afstand waar wellen aangetroffen worden honderden meters zijn. Maar dat is moeilijk met zekerheid te zeggen.
- Grote wellen kunnen op 1 km afstand liggen, dus het is eigenlijk niet af te leiden dat wellen vanaf een bepaalde afstand minder zandmeevoerend zijn.
- In het algemeen is de afstand waarbij wellen een risico op inzakking van het dijklichaam vormen 30 à 40 meter van de dijk.
- Vanaf 14 meter boven NAP bij Lobith kunnen wellen zandmeevoerend worden.
- Bij aandacht locaties kunnen zandmeevoerende wellen tot 80 meter vanuit de teen van de dijk ontstaan.

4.6 Beslisschema inspectiezone

- Het beslisschema staat in hoofdstuk 1 het beroepsproduct. (“Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans)
- De toelichting op het beslisschema is in paragraaf 1.2 en paragraaf 1.3 van het beroepsproduct (“Optimalisatie aanpak van Piping”, 2024 door Karel Hagemans) beschreven.
- Het beslisschema en de toelichting op het beslisschema beantwoorden de volgende deelvragen: “Welk beslisschema kan bijdragen aan het optimaliseren van de aanpak van wellen?” / “Wat is de grootte van de zone waarbinnen geïnspecteerd en geacteerd kan worden op piping?”

4.7 Reflectie betrouwbaarheid resultaten

In deze paragraaf wordt op de betrouwbaarheid van de onderzoeksresultaten gereflecteerd.

De kaart peilopzet locaties in het beroepsproduct

De van de gebiedsbeheerder verkregen informatie kan worden toegespitst op de aangewezen locaties, door de onderliggende kaartlagen wist de gebiedsbeheerder precies aan te wijzen waar de huidige peilopzet installaties geplaatst waren. Deze installaties zijn in alle gevallen bij een duiker geplaatst en zijn dusdanig omvangrijk dat de bepaling niet heel precies gedaan hoeft te worden.

De GIS-data die benodigd was om de verschillende peilopzet locaties in kaart te brengen zijn allemaal afkomstig uit de VDI (de digitale omgeving van het waterschap). Deze GIS-data is opgesteld door medewerkers van het waterschap, die hiervoor de beste deskundigheid hebben op dit thema.

Analyse beoordelingsresultaten van de IJsseldijk:

De beoordelingen zijn uitgevoerd door het waterschap, ze zijn uitgevoerd met rekenmodellen en modeleringsprogramma's die hun waarde in de praktijk hebben bewezen.

Betrouwbaarheid bronnen t.b.v. het beslisschema uit het beroepsproduct

Uit de literatuurstudie en de interviews zijn de belangrijkste elementen van het beslisschema afgeleid.

De betrouwbaarheid van de uitgevoerde *literatuurstudie* hangt af van de bestudeerde rapportages. De geraadpleegde rapportages zijn betrouwbaar, omdat de uitgevende organisaties zoals Deltares over veel deskundigheid beschikken.

De bevindingen van de *interviews* met de gebiedsbeheerders zijn betrouwbaar en relevant omdat zij de beheerders zijn van diverse dijken die met piping te maken hebben, waaronder de IJsseldijk. Deze praktische kennis van piping, gebaseerd op lange ervaring in het projectgebied is zeer relevant.

5. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn conclusies en aanbevelingen opgesteld op basis van de onderzoeksresultaten. Met de conclusie wordt de balans van het onderzoek opgemaakt. De aanbevelingen oftewel adviezen zijn enerzijds praktisch, gericht op directe toepassing in de dagelijkse praktijk zoals de adviezen over de peilopzet locaties en het gebruik van het beslisschema bij de inspectie, en anderzijds meer op vervolg ontwikkeling gericht zoals de aanbeveling om meer onderzoek te doen.

5.2 Conclusie

Terugkijkend op de onderzoeksvraag en de bijbehorende deelvragen kan het volgende geconcludeerd worden:

- Er zijn geschikte optimalisaties gevonden in de vorm van kaartmateriaal en een beslisschema (beroepsproducten) die ervoor zorgen dat er bij hoogwater efficiënter geïnspecteerd kan worden. Deze beide producten waren nog niet aanwezig bij het Waterschap.
- Alle deelvragen zijn afdoende beantwoord, de huidige praktijk van omgaan met wellen is overzichtelijk beschreven in hoofdstuk 1.

5.3 Advies peilopzet locaties

Het onderzoek heeft middels kaartmateriaal en onderstaande teksten inzichtelijk gemaakt waar precies de wellen zich bevinden en wat de juiste beheersmaatregelen zijn om de risico's van piping te verkleinen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen locaties met en zonder peilopzet.

Locaties met peilopzet: ermee doorgaan en waarom

- Veessen: peil wel blijven opzetten, omdat het is afgekeurd op piping en omdat het van nature al kwelt + veel wellen
- Welsum, Kloosterhoekweg: peil wel blijven opzetten, omdat het is afgekeurd op piping en omdat het van nature al kwelt + veel wellen
- Welsum, Bosweg: peil wel blijven opzetten, omdat het is afgekeurd op piping en omdat het van nature al kwelt + veel wellen.
- Brummen: peil wel blijven opzetten, omdat hij alleen op piping is afgekeurd en omdat peilopzet hier een voorwaarde vormt voor het voldoen aan de eisen.

Potentiële nieuwe locaties peilopzet: aanbeveling en meerwaarde

- Hattem: niet vereist, omdat de wel ver van de dijk ligt en omdat het op beide faalmechanismen is goedgekeurd.
- Wapenveld: toepassen, omdat de beoordeling op piping slechter is dan macrostabiliteit en omdat het van nature al kwelt.
- De Wijk: toepassen, omdat het is afgekeurd op piping en omdat het net niet voldoet aan macrostabiliteit op dwarsnede niveau.
- Leuvenheim: toepassen, omdat het is afgekeurd op piping en goedgekeurd op macrostabiliteit.

- Veessen, Villa Bakhuis: toepassen, omdat het binnendijkse gebied hier verzadigd raakt door de grote hoeveelheid kwelwater, waardoor niet voor macrostabiliteit uitmaakt als er peilopzet wordt toegepast. De dijk is extreem afgekeurd op macrostabiliteit, dus is het van belang om hier prioriteit aan te geven als dijkversterkingsproject.
- Wilp: Niet vereist, omdat volgens de gebiedsbeheerder het water weinig tegen de dijk staat. Hij is afgekeurd op piping, omdat er buitendijks kolken bij de dijk liggen.

Prioritering van mogelijke nieuwe locaties

1. Leuvenheim
2. De Wijk
3. Wapenveld
4. Villa Bakhuis
5. Wilp
6. Hattem, mits zich er veel nieuwe wellen bij de dijk ontwikkelen.

5.4 Advies beslisschema

Dit schema kan gebruikt worden bij de afwegingen die bij bepaalde situaties gemaakt moeten worden. Zo is de waterstand bij Lobith bijvoorbeeld een eerste parameter op basis waarvan een beslissingsproces van start gaat. Ook spelen parameters als 'soort terrein' en 'afstand tot de dijk' een rol. Omdat in kritische situaties er snel gehandeld moet worden, is een vooropgezet beslisschema praktisch bruikbaar om als een soort draaiboek te dienen en te zorgen voor snelle beslissingen over inspectiehandelingen en maatregelen. Dat heeft meerwaarde, omdat het duidelijk kan maken aan dijkinspecteurs hoever van de dijk er geïnspecteerd moet worden.

5.5 Advies vervolgstappen

Verder wordt het volgende geadviseerd:

- Onderzoek het effect van peilopzet voor de macrostabiliteit in D-geostability
- Onderzoek nieuwe locaties op basis van de beoordeling op piping die nu nog niet in de kaart verwerkt zijn. Er zijn momenteel twee locaties onderzocht, maar er kunnen langs de IJsseldijk meerdere locaties die ook op piping zijn afgekeurd onderzocht worden.

Bibliografie

Beoordelingsinstrumentarium. (2017). Opgehaald van Helpdesk Water.

Blinde, J. (2009). *SBW Piping - Hervalidatie Piping*. Deltares.

(2021). *Design Method for a Finite Line of Fully Penetrating Relief Wells*. Arlington: INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING .

Esther Rosenbrand, H. K. (2020). *Gebiedsspecifieke Faalpaden voor Piping*. Deltares.

Hagemans, K. (2024). *Optimalisatie aanpak van piping*.

(2013). *Het pipingproces in stripvorm*.

Informatiepunt leefomgeving. (2024). Opgehaald van Landelijke plannen Hoogwater en Overstromingen: <https://iplo.nl/thema/water/crisismanagement-water/landelijke-plannen-hoogwater-overstromingen/>

Intranet. (2019).

Jan, G. (2023). Interview over piping. (Karel, Interviewer)

kwel en wel archief. (2023, December). Apeldoorn, Gelderland, Nederland.

Lobith: waterstanden en afvoeren. (2024). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterdata-en-waterberichtgeving/waterdata/lobith-waterstanden-en-afvoeren>

Piping control. (2023). Opgehaald van Rivierenland: <https://pipingcontrol.nl/nl/content/piping-een-belangrijk-faalmechanisme-bij-dijken>

Rivierenland, W. (2023). *Piping control*. Opgehaald van Piping een belangrijk faalmechanisme bij dijken: <https://pipingcontrol.nl/nl/content/piping-een-belangrijk-faalmechanisme-bij-dijken>

sharepoint. (2023, December). Opgehaald van Intranet: <https://wsvalleiveluwe.sharepoint.com/sites/GEO20>

(1999). *Technisch rapport Zandmeevoerende wellen*. stowa.

WBI_oordeel_def + 2050. (2023). Apeldoorn, Gelderland, Nederland.

Wiki Noodmaatregelen Waterkeringen - homepage. (2023, December). Opgehaald van Wiki Noodmaatregelen: <https://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Hoofdpagina>

(2012). *Zandmeevoerende Wellen*. Rijkswaterstaat.

Bijlagen

Bijlage 1: Hoogwaterprotocol 2019-2023

Opmerking Ijsselprocedure: Altijd rekening houden met lokale invloeden (opstuwing, regenval, wind, etc..)			
Voor Fase	Waterstand bij Lobith	Kunstwerk sluiten/actie	Actie buiten
	7,90 m Lobith	- Terugslagklep IJmkerwaarden* - Terugslagklep pad IJmkerwaarden*	Acties buiten
	8,70 m Lobith	- Gemaal Veluwe	Geen actie: tmx
	9,03 m Lobith	- Terugslagklep en afsluiter haven Hattem	Standaard per 1 oktober dicht!
	9,20 m Lobith	- Gemaal Bolwerk	Geen actie: tmx
	9,40 m Lobith	- Terugslagklep Vliegendijk	Zie: gemaal de Hoven
		-	
	9,70 m Lobith	- Uitwateringsluis Nieuwe Wetering / Evergeune*	Acties buiten
	9,80 m Lobith	- Gemaal Nijenbeek	Geen actie: tmx
	10,00 m Lobith	- Gemaal Cortenoever	Geen actie: tmx
	10,00 m Lobith	- Gemaal Middelbeek lage leiding	Geen actie: tmx
	10,80 m Lobith	- Gemaal Leuvenheim	Geen actie: tmx
	11,30 m Lobith	- Gemaal Middelbeek voorsterbeek	Geen actie: tmx
	11,40 m Lobith	- Terugslagklep depot van Werven*	Geen actie: tmx
		- Gemaal Allee	Geen actie: tmx
	*11,50 m Lobith	* Gemalen/ sluisen dienen gecontroleerd / gesloten te worden voor hoogwater - 2 Schuiven dichtzetten Hoenwaard (1,60 m NAP Katerveer) - Terugslagklep IJmkerwaarden - Terugslagklep pad IJmkerwaarden - Gemaal Spoorbrug - Gemaal IJmkerwaarden - Terugslagklep depot van Werven - Terugslagklep en afsluiter haven Hattem - Gemaal Veluwe - Uitwateringsluis Nieuwe Wetering / Evergeune - Soerense Beek deuren controleren - De Keersluis (Het Bastion)	Acties buiten zie sluitprotocol
	11,80 m	- Gemaal Spoorbrug - Gemaal IJmkerwaarden	Geen actie: tmx

	11,80m met de verwachting van een stijgend peil	Rekening dat Gemaal de Hoven uitgezet moet worden. - Gemaal de Steenenkamer - Gemaal de Schans	Acties buiten zie sluitprotocol
	12,00 m Lobith	Uiterwaarden stromen in. De verwachte waterstanden van Rijkswaterstaat (WCMN) en de waterstanden in Duitsland in de gaten houden.	
	12,60 m Lobith	- De Keersluis (Het Bastion)	Acties buiten
Fase 1	13,00 m Lobith met de verwachting van een stijgend peil	Fase 1 treed in werking. Hier en daar is een verhoogde waterstand. Waterbeheerders nemen standaard maatregelen. Gebruiksfuncties op en aan het water worden beperkt. Veiligheidsregio's worden tot ROT niveau geïnformeerd.	
		Informeren gemeente Brummen over huidige stand en verwachte stand ivm Cortenoever Voorsterklei: Ingrid Grouwstra (i.grouwstra@brummen.nl) en Anja Wasseveld (a.wasseveld@brummen.nl). Actie calamiteiten	Actie calamiteiten
		- Protocol Hoenwaard - Protocol Binnenpolder Ijsseldijk opzetten voorkade voor tegendruk - Gemaal de Hoven moet handmatig uitgezet zijn.	Protocol in werking
		- Uitwateringsduiker Soerense Beek	Acties buiten zie sluitprotocol
			Geen actie: tmx
		Gemeente waarschuwen i.v.m. het plaatsen wegwijspalen en borden haven Hattem. Vragen of zij gebruikers en bewoners in de uiterwaarden waarschuwen, ook voor het weghalen van vee.	Actie calamiteiten
		Controle Ontluchter bij Hattem , staat de ontluchter open? Dopje er nog op?	Actie buiten
	13,50 – 14,00 m Lobith	Fietspad Hoenwaard stroomt onder. 2.25 m + NAP Katerveer met de verwachting van een stijgend peil naar 2,40 m + NAP De waterstand van Hoenwaard ter plaatse verschilt 30 centimeter met de gemeten waterstand van Katerveer, dit verschil is afhankelijk van de (westen)wind en/of de afvoer van de middelste wetering (Bottenstrenk).	
	14,00 Lobith Lobith met de verwachting van een stijgend peil	Dagelijkse inspectie van de algemene situatie in de uiterwaarden en voorkomen van drijvend vuil.	
		4,50 bij inlaat VeWa Aanbrengen van de cilinders op de inlaat Kerkdijk. Cilinders voorafgaand instromen fietspad	Acties buiten zie sluitprotocol
	13,00 tot 15,00 m Lobith	Beperkte dijkbewaking, 1 persoon rijdend tijdens reguliere dienst 4,60 + m NAP bij inlaat VeWa Fietspad Veessen-Wapenveld stroomt over	
	14,60 m Lobith	- De coupure Stenenkamer moet gesloten worden - Inspectie Wilpse Kleidijk	Acties buiten zie sluitprotocol
	14,60 m Lobith	- De coupure Gelderse Toren moet gesloten worden	Acties buiten zie sluitprotocol

	14,60 m Lobith met de verwachting van een stijgend peil	- Gemaal laag helbergen	Acties buiten zie sluitprotocol
Fase 2	15,00 m Lobith met de verwachting van een stijgend peil	De dreiging van hoogwater neemt toe. Waterbeheerders nemen verdergaande maatregelen. Indien nodig worden grootschalige maatregelen voorbereid. Gebruiksfuncties op en aan het water worden beperkt. Lichte schade aan waterkering kan optreden. Het ROT komt voor de eerste keer bijeen.	
	Uitvoeringsfase: 48 uur van te voren. Lokale stand boven 5.65 m bij Veessen Zie protocol .	Taken en verantwoordelijkheden van het waterschap voordat het water over de inlaat Kerkdijk stroomt: • Strijken van stuw Veesserbroek • Strijken van stuw Plakkenweg • Sluiten doorlaat Kerkdijk (1 koker) • Sluiten doorlaat Veessen (1 koker) • Sluiten doorlaat Oeverwal (2 kokers) • Sluiten doorlaat Doornbos (4 kokers) • Uitzetten gemaal Doornbos • Ontgrendelen uitwateringssluis • Opbouwen (tijdelijk) gemaal Overwal • Inschakelen (tijdelijk) gemaal Oeverwal Zie protocol Veessen-Wapenveld	Acties buiten zie sluitprotocol
		Wanneer het water over de inlaat stroomt, 3,70 m + NAP Inlaat Kerkdijk: • Het veld informeert de OL dat water over de inlaat stroomt en de vizierkleppen worden getrokken. • Openen van de vizierkleppen 11 tot en met 23 op de inlaat Kerkdijk. • Bewaken van de stabiliteit van de dijken langs de hoogwatergeul. • Openen resterende 48 vizierkleppen	
	16,15 m Lobith	Instroom Wilpse Kleidijk, 7,00 m ter Plaatse	
		Zie informatie pompen Gemaal Nijenbeek	Actie buiten
	15,00 – 16,17 m Lobith	Volledige dijkbewaking, 2x daags rijdend	
Fase 3 / Fase 4	16,50 m Lobith met de verwachting van een stijgend peil (MHW 18,00 mNAP)	Ernstige en uitzonderlijke situatie verwacht	
	16,17 – 16,66 m Lobith	Volledige dijkbewaking, 2x daags rijdend. Lopend op geselecteerde trajecten.	
Fase3 / Fase 4	➤ 16,66 m Lobith	Permanente dijkbewaking, 3x8 uursdienst op geselecteerde trajecten.	

Ter info	Calamiteiten, leidingbreuken	Sluitprotocollen effluentleidingen IJsseldijk: • RWZI Hatten • RWZI Terwolde • RWZI Apeldoorn • RWZI Brummen	Actie zuivering
-----------------	---------------------------------	---	-----------------

Bijlage 2: Transcriptie interview Geert Jan van de Vegte

Interviewer: Karel Hagemans
Geïnterviewde: Geert Jan van de Vegte
Functie geïnterviewde: gebiedsbeheerder/gebiedscoördinator
Waterschap: Vallei en Veluwe
Beheergebied: IJsseldijk

Inspectie Wellen

Karel: Wat zijn eigenlijk de waarneembare symptomen van piping in het veld?

Geert Jan: Waarneembare symptomen, dat zie je eigenlijk tijdens je inspectie. Dan kun je het waarnemen als je dus piping hebt. Nou, dan weet je zeker dat je het kunt zien. Dan is het ook vaak zandmeevoerend en dan komt er ook heel veel aan. Als je dus een voorgeschiedenis hebt daarvoor, dan is het eigenlijk hetgeen waar je dus het meest in de sloten heel veel kwel ziet komen, maar dan zie je ook heel veel luchtbelletjes die uit de ondergrond komen, en dat zijn op dat moment geen vissen. Maar dat is gewoon dat de ondergrond dus in beweging is, en daar komt heel veel lucht in de watergangen naar boven. En dan moet je extra alert zijn op wat daar gebeurt.

Karel: Bij welke symptomen van een wel wordt het echt beschouwd als iets gevaarlijks, dus is dat alleen bij zandmeevoerende bellen of...

Geert Jan: Ja, als je alleen zandmeevoerende wellen hebt, dan wordt dat heel erg. Daar moet je gewoon zorgen dat je dus heel alert op bent om de druk te verlagen. Daar hadden we in ons vorige gesprek over gehad, dus dat de capillaire werking van die grondwaterstanden heel erg onder druk komt te staan om die dus tegendruk te geven. En dat kun je dus doen door water op te zetten. Door de stuwtjes op te zetten, zover dat kan. Kan het niet, dan kun je ter plekke een opkisting maken, zodat je dus meer tegendruk geeft aan het water. Je mag nooit een opkisting helemaal afsluiten; je moet altijd water laten lopen, anders blaas je de dijk op of je krijgt daarnaast weer een nieuwe wel. Dat komt dus doordat je de druk gaat verplaatsen, en daar moet je dus heel alert op zijn dat je noodkisting altijd groot genoeg maakt en ruim genoeg om die tegendruk te geven.

Karel: Welke inspectiehandelingen worden eigenlijk allemaal uitgevoerd bij zo'n inspectie van een wel?

Geert Jan: Ja, eigenlijk kun je die niet anders dan gewoon controleren. Met heel grote regelmaat. In de dijkbewaking heb je in drie shiften, en dan blijft hij dus ook gewoon bewaakt. Dan ga je dat ook echt bewaken en met drie ga je dat controleren, en je blijft dus ook gewoon de zandvoering bijhouden, en degene die de wachtcommandant is op dat moment. Die heeft al dat soort locaties, gaat die extra beoordelen en bijhouden.

Effecten beheersmaatregelen piping (Peil opzet)

Karel: Wanneer worden de beheersmaatregelen, zoals peilopzet, toegepast? Is dat dus alleen als er zo'n zandmeeslepende wel is, of is dat al eerder?

Geert Jan: Dat begin je al eerder mee op basis van ervaring. Wanneer de ondergrond onrustig wordt, kun je het waarnemen. Dan heb je een pijlstijging die doorgaat, en dan krijg je wassend water waarvan je zegt: 'Hé, dat gaat echt over de 12 meter richting de 13 meter.' Dan begin je dus al in een heel vroeg stadium, dus het peil binnendijs op te zetten. Omdat de onderstromingen onder de dijk zo lang mogelijk rustig gehouden moeten worden. Tegendruk geeft aan het gegeven dat die onderstromingen maar niet op gang komen. Anders laat je het langzaam op gang komen. Hoe langzamer de onderstroming is van het water, hoe minder kans je hebt op uittredend zand.

Karel: Kun je dat zelfs voorkomen als je dat heel vroeg doet?

Geert Jan: Als het water niet te hoog komt, kan ik het langs de IJsseldijk op meerdere plekken gewoon voorkomen door het heel vroeg op te zetten.

Karel: Licht het er ook aan hoelang zo'n hoogwater aanhoudt?

Geert Jan: Ja, als het hoogwater lang is, heb je een korte golf. We spreken dus over een golf hoogwater, dat altijd 5 tot 6 dagen of een week duurt. Als je heel lang staand water hebt, is hetzelfde peil bij Lobith boven de 12 meter. Dan gaat alles verzadigen en wordt alles week. Je krijgt veel meer invloed op je dijk, en je kering krijgt steeds meer druk te verwerken. Hij wordt gewoon je zode en je kleimassa met je zand erin die gaat weken. Het water moet ergens naartoe, en dan krijg ik veel meer zweetplekken, steeds meer kwel en wel die openbaar komt.

Karel: Wat zijn dan specifiek de effecten van peilopzet?

Geert Jan: Dat is eigenlijk gewoon tegendruk geven aan de ondergrond. In principe verzwaar je gewoon het voorland of het binnenland. Maar die capillaire werking ga je tegen door het met water te doen. Je hebt gewoon een extra massa aangebracht, dat is in principe hetgeen wat je doet.

Karel: Hoe kun je die effecten waarnemen? Kun je dat gewoon zien?

Geert Jan: Ja, je kunt gewoon in je inspectie zien wat je aan het doen bent. Dan zie je ook gewoon dat alle stromingen rustig worden. Dus je zet stuwtjes op en er is heel veel kwel in het gebied. Wellen beginnen te lopen, maar ze voeren geen zand. Dat is gewoon voor de inspectie, een waarneming die je moet doen. Maar om dat te controleren, bezoek je dagelijks al die locaties om te kijken of de overstortende straal steeds groter wordt. Als die overstortende straal steeds groter wordt bij elk stukje, weet je dat je steeds meer water krijgt in dat gebied. In het achterliggende gebied waar je aan het stuw bent, moet je steeds alerter worden doordat je meer water krijgt over de stuw. Dan weet je dat steeds meer in de ondergronden aan de gang is, waardoor het water onder de dijk doorkomt en nog steeds meer geweld krijgt en kwel.

Karel: Zijn er ook specifieke gebieden die effectiever zijn met peilopzet? Dus speciale locaties waar dat meer effect heeft?

Geert Jan: Ja, die zijn er inderdaad en dat zit met name in de kwelgebieden waar je heel veel wellen hebt. Die wellen lopen vaak op een zandige ondergrond of storende lagen, of een storende laag die daar onder zit. Dan krijg je schijnwaters en die lopen dus vanuit het Veluwe massief heel handig terug naar de IJssel met een lage waterstand. Maar daarover een harde onderlaag, een kleiachtige laag. Daarboven heb je dan grof zand, dan heb je heel snel dat je kwel krijgt, maar ook heel erg wel. Dat is dus wat je bij Welsum aan de Bosweg ziet, waar de ondergrond heel grof van structuur is. Grof zand zit gewoon onder, maar daar zitten ook storende lagen onder. Ook die omgeving blijft bij normale weersomstandigheden vaak nat, dus daar zitten ook storende ondergrondlagen in."

Kritieke zone

Karel: Nou duidelijk, de volgende vragen gingen eigenlijk over die kritieke zone. Die moet ik voor het onderzoek nog verder gaan onderzoeken. En dat is dan eigenlijk van hoe ver vanuit de teen van de dijk een wel voor kan komen? En in hoeverre die gevaarlijk is?

Wat is de maximale afstand vanaf de teen van de dijk waar u een wel heeft aangetroffen?

Geert Jan: Ja, ik heb ooit een wel aangetroffen in een nieuw gegraven sloot, dus wat ik net ook even zei, die grondlaag, daar moet je heel zuinig op zijn. Maar dat doe je dus ook binnendijs en dan zit dat 800 meter vanuit de teen van de dijk, 800 meter landinwaarts. Waar dus dat zand voert en daar hadden ze een nieuwe sloot gegraven en dan heb je dus die grondwaterlagen doorgraven. Eigenlijk zijn dat allemaal schijnwaterspiegels die daar lopen, maar die maak je kapot doordat je een nieuwe sloot graaft in dat achterland. Nou, en op een gegeven moment ben ik daarop attent gemaakt van: 'Hé, komt allemaal zand naar boven.' Nou, kijk, en dan krijg je dus de kweldruk vanuit het Veluwe Massief, de afstroming en de tegendruk vanaf de IJssel bij een hoge waterstand, en dan krijg je als het ware een kleine opbreking in de bodem, want dat is dan een zwak moment in het achterland. Maar normaal heb je een ongeroerde massa binnendijs. Nou, dan heb je het voor over die eerste 100 meter uit waar de meeste dingen voorkomen, vooral op 30, 40 meter. Dat is het slimste tot 100 meter velden inwaarts. Dat moet je ongeveer aanhouden voor waar het meeste gebeurt.

Karel: Is er daarbuiten eigenlijk niet zoveel gevaar voor instorting?

Geert Jan: Nee, dan zit je ook heel veel uit de dijk, dus die drukverschillen die worden veel groter. Dan krijg je een veel verspreider gebied waar die druk naar boven komt. Het kan alleen maar met een heel langdurig hoogwater. Theoretisch kan het dus zijn dat je dus een opbarsting krijgt in het veld waar je heel veel kwel hebt, dan heb je het dus niet over wellen. Waarbij het gewoon midden in een perceel grasland zo verzadigd kan raken dat het gewoon gaat opbreken.

Karel: Oké, maar dat heeft dan verder niet zoveel effect op het dijklichaam zelf...

Geert Jan: Het dijklichaam zelf niet direct.

Karel: Dat was dan een beetje het idee...

Geert Jan: Als je hoog water hebt en je krijgt een verzadigingsproces doordat je langer hoogwater hebt, dan heb je het heel vaak over afschuivingen die komen doordat het talud afschuift binnendijs door de waterdruk. Maar dan is er ook vaak een verzadiging aan de hand. Maar dan moet je langere tijd hoog water hebben en zeker langs de IJssel.

Karel: Bij wellen van 100 meter en meer vanuit de teen van de dijk, is dat meestal gewoon kwel?

Geert Jan: Je kunt ook vaak wel zien hoe het water eruitziet. Heel vaak kun je constateren aan het water waar het vandaan komt. Als dus het water tot stilstand komt, dan krijg je er een oliefilmpje overheen, dus over het water. Dan zie je eigenlijk niet zoveel, maar dan weet je gewoon dat de ondergrond dus kwelt.

Karel: En zandmeevoerende wellen die komen niet echt voor vanaf 100 meter ongeveer...

Geert Jan: Verder dan 100 meter niet. Dan is er wel iets heel ergs aan de hand. Dat moet je net hebben met de leiding. Dat is wel een groot gevaar in de kering. Een leiding zoals een effluentleiding vanaf een zuivering of zo die heel ver het land inloopt. Dus dat kan wezen dat daar een lekkage ontstaat. En dat je dus verder ook gewoon water uit de bodem krijgt waar gewoon leidingen liggen die niet goed zijn afgesloten op de kering.

Karel: Oké, dus dat zijn dan echt specifieke gevallen die je dan krijgt...

Geert Jan: Ja, dan krijg je een lekkage rondom een leiding, want alle leidingen die in de dijk zitten en die de dijk doorkruisen, zowel van ons helft van de gemalen als inlaatduikers als uitlaten van een zuivering. Zeg maar, die effluent die naar de IJssel toe gaat, moeten allemaal dubbelkerend zijn afgesloten, zowel binnendijs als buitendijs afgesloten kunnen worden.

Karel: Ja, zoals je kunt handelen als er iets fout gaat.

Geert Jan: Nou ja, daar kun je niet veel aan doen, maar als het heel ver het land in gaat en je krijgt een lekkage rondom een leiding of rondom een gebouw, dan heb je vaak wel een probleem.

Karel: Hoe ver vanaf de teen van de dijk wordt er momenteel inspectie uitgevoerd op wellen?

Geert Jan: Langs de bosweg ben je wat verder. Verder is hetgeen wat je loopt, het talud, en voor de inspectie houd je de teensloten van de dijk binnendijs aan.

Karel: Hoever vanuit de teen van de dijk heb jij bij aandachtsgebieden zandmeevoerende wellen gezien?

Geert Jan: op 80 of 90 meter vanuit de dijk.

Karel: Wat is de hoogste waterstand bij Lobith die je langs de IJssel hebt meegemaakt?

Geert Jan: 14,80 meter.

Karel: Kunnen bij hele hoge waterstanden wellen verder ontstaan dan ongeveer 50 meter vanuit de dijk?

Geert Jan: ja, het kan meer dan 100 meter zijn.

Karel: Heeft de duur van het hoogwater effect op de vorming van wellen?

Geert Jan: Ja, hiervoor geldt dat bij een langdurig hoogwater het binnendijkse gebied meer verzadigd raakt dan bij een korte hoogwatergolf.

Karel: En hoelang duurt een korte en een lange hoogwater?

Geert Jan: Bij een korte hoogwatergolf is de waterstand binnen een week onder 12 meter bij Lobith. Bij een langdurige hoogwater is er sprake van 2 á 3 weken staand water tegen de dijk.

Karel: Vanaf welke waterstand ontstaan wellen langs de IJssel?

Geert Jan: vanaf 11 meter bij Lobith.

Karel: Dus laat maar zeggen binnen 50 meter. En voor dat specifieke geval bij Welsum is het dan wel verder omdat je dan ook van die vijvertjes hebt.

Geert Jan: Ja, en daar zit je ook met de opstuwing, dan zit je ook verder vanuit de dijk. Buiten de 50 meter van de dijk, dus dan hou je dat gebied wat je opstuwt. Die gebieden zijn eigenlijk aandacht locaties voor ons, daar ga je mee verder en dan ga je ook heel ver van de dijk af. Gewoon waakzaam zijn op wat er gebeurt daar in die ondergrond en wat er gebeurt in de slootborrels? En dat is bijvoorbeeld bij Veessen, die staat veel verder weg. De bosweg staat ook verder weg dan 50 meter. En

dan zie je dus ook dat meer dan 50 meter, dus ook de wel uitgesloten wordt. Maar dat zijn enkele locaties die gewoon bekend zijn. Maar voor de rest ben je gewoon alert op hetgeen wat er gebeurt ook in de watergangen verderop. Specifieke locaties geef je aan bij een dijkwachter en de inspectie en anders is de teensloten meestal je oriëntatiepunt.

Karel: Oké, duidelijk. Dat was ook mijn laatste vraag, dus bedankt voor het interview.

Bijlage 3: Interview Paul van Breukelen

Interviewer:	Karel Hagemans
Geïnterviewde:	Paul van Breukelen
Functie geïnterviewde:	gebiedsbeheerder/gebiedscoördinator
Waterschap:	Vallei en Veluwe
Beheergebied:	Grebbedijk

Karel: Wat is de maximale afstand vanaf de teen van de dijk dat u wellen heeft aangetroffen in uw gebied?

Paul: Ik ben ze wel eens op 100 mtr achter de dijk tegengekomen.

Karel: Zijn wellen vanaf een bepaalde afstand minder zandvoerend? En welke afstand is dat?

Paul: Hoe dichterbij de dijk zijn de wellen groter en voeren daardoor meer zand mee. Hoe verder van de dijk is de druk minder en komt er ook minder zand mee. Binnen de 50 meter van de teen van de dijk zijn wellen zandmeevoerend.

Karel: Vanaf welke afstand vanaf de teen van de dijk kunnen wellen een risico vormen op inzakking van het dijklichaam?

Paul: Binnen de 50 mtr tot 75 mtr. Ligt er ook aan wat er achter de dijk zit, er kan ook een kanaal lopen of sloot.

Karel: Bij welke waterstanden ontstaan wellen in uw gebied?

Paul: Rond de 14.50 en de 15.00 NAP bij Lobith

Karel: Bij welke waterstanden kunnen wellen zandmeevoerend worden?

Paul: Na 15 NAP bij Lobith ontstaan zandmeevoerende wellen.

Bijlage 4: interview Wim Cornelissen

Interviewer: Karel Hagemans
Geïnterviewde: Wim Cornelissen
Functie geïnterviewde: gebiedsbeheerder/gebiedscoördinator
Waterschap: Rivierenland
Beheergebied: Rijndijk en Waaldijk

- Karel: Welk gebied beheert u?

Wim: Ik beheer de Waaldijk en de Rijndijk.

- Karel: Wat is de maximale afstand waar u wellen heeft aangetroffen?

Wim: In ons gebied kan dat erg uiteen lopen, bij ons kan dat dat honderden meters zijn.

- Karel: Zijn wellen vanaf een bepaalde afstand minder zandmeevoerend?

Wim: Grote wellen kunnen bij ons op 1 km afstand liggen, dus het is eigenlijk niet af te leiden.

- Karel: Vanaf welke afstand kunnen wellen een risico vormen op inzakking van het dijklichaam?

Wim: Ligt aan de grootte van het voorland, maar ik denk dat je invloed hebt op 30 á 40 meter.

- Karel: Bij welke waterstanden kunnen wellen zandmeevoerend worden? Dan bedoel ik die grote wellen.

Wim: Vanaf 14 meter boven NAP bij Lobith.

- Karel: Wat is de hoogste waterstand die u heeft mee gemaakt?

Wim: 15 meter boven NAP bij Lobith. Ik heb het hoogwater van 1993 en 1995 niet meegemaakt.

- Karel: Hoe ver kunnen bij aandachtsgebieden zandmeevoerende wellen ontstaan?

Wim: Bij dit soort locaties kunnen ze tot 80 meter vanuit de teen van de dijk ontstaan.