



Werkwijzer Piping bij Dijken

Datum 18 november 2014
Status Groeidocument
Versienummer 1.2

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu Directoraat-Generaal Ruimte en Water Postbus 20901, 2500 EX Den Haag Plesmanweg 1-6, 2597 JG Den Haag
Informatie	Helpdesk Water
Telefoon	0800-6592837
E-mail	contact@helpdeskwater.nl
Internet	www.helpdeskwater.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving Zuiderwagenplein 2, 8224 AD Lelystad Postbus 17, 8200 AA Lelystad
Opmaak	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Datum	18 november 2014
Status	Groeidocument
Versienummer	1.2

Revisies

Versie	Datum	Wijzigingen
1.0	31-01-2014	<ul style="list-style-type: none">• Eerste versie.• Geplaatst op internet dd. 05-06-2014.
1.1	12-06-2014	<ul style="list-style-type: none">• Toevoegen van Revisies (deze pagina)• Aanpassing leeswijzer (memo) voorin de Werkwijzer• Vervanging Bijlage 3.3 Casus Zeedijk Molenpolder door de versie van 04-02-2014• Geplaatst op internet dd. 12-06-2014
1.2	18-11-2014	<ul style="list-style-type: none">• Diverse aanpassingen hoofdtekst werkwijzer n.a.v. reviews• Casussen in de bijlagen aangepast n.a.v. reviews

Inhoud

1	Inleiding—11
1.1	Aanleiding—11
1.2	Doel en kader—11
1.3	Relatie met lopend onderzoek—12
1.4	Casussen—12
1.5	Niet vigerende ontwerpmethoden—13
1.6	Expertteam Piping—14
1.7	Leeswijzer—14
1.8	Totstandkoming Werkwijzer Piping bij Dijken—14
2	Stappenplan om tot een maatregel te komen—16
2.1	Stap 1: Ordenen—18
2.1.1	Stap 1.1 Inventariseren informatie(bronnen) en uitgangspunten uit de toetsing—18
2.1.2	Stap 1.2 Verzamelen feiten—18
2.1.3	Stap 1.3 Schematisering—18
2.1.4	Stap 1.4 Benoem de beoordeelde kwelwegen—18
2.2	Stap 2: Begrijpen—18
2.2.1	Stap 2.1 Effect overstap naar nieuw toetskader—18
2.2.2	Stap 2.2 Verken aanscherpingsmogelijkheden—19
2.2.3	Stap 2.3 Uitvoeren gevoeligheidsanalyse—19
2.2.4	Stap 2.4 Uitvoeren aanvullend onderzoek—19
2.3	Stap 3: Beslissen—20
2.3.1	Stap 3.1 Definitieve schematisering in deelvakken—20
2.3.2	Stap 3.2 Definitieve selectie te controleren kwelwegen per deelvak—20
2.3.3	Stap 3.3 Uitvoeren kwelweganalyse—20
2.3.4	Stap 3.4 Vaststellen aard en omvang en voorstel voor maatregelen—20
2.4	Stap 4: Doen—21
2.4.1	Stap 4.1 Beoordeel restrisico en bijdrage noodmaatregelen—21
2.4.2	Stap 4.2 Keuze en implementatie maatregel—21
2.4.3	Stap 4.3 Informatie en afwijkingen in uitvoering vastleggen—21
2.4.4	Stap 4.4 Beheer—22
3	Rekenwijzer kwelweganalyse—23
3.1	Niveau 1: De realiteit—24
3.2	Niveau 2: Begripsschematisatie—24
3.3	Niveau 3: Modelschematisatie—24
3.4	Veiligheidsbenadering: schematiseringsfactor—24
4	Basisformules piping—26
4.1	Controle pipinggevoeligheid—26
4.2	Controle kwelwegstabiliteit: opbarstveiligheid—26
4.3	Controle kwelwegstabiliteit: filterregels—28
4.4	Controle kwelwegstabiliteit: heave (verticale kwelweg)—28
4.5	Controle kwelwegstabiliteit: piping (horizontale kwelweg)—28
4.6	Symbolen- en parameterbeschrijving—30
5	Literatuur—33

Bijlagen—34

Bijlage 1 Checklist behorend bij stappenplan—36

Bijlage 2 Overzicht aanscherpingsmogelijkheden—43

Bijlage 3 Casussen—49

Bijlage 3.1 Casus Zwolsedijk, Hasselt, IJsseldelta, Waterschap Groot-Salland

Bijlage 3.2 Casus Waaldijk, Hurwenen, rivierengebied, Waterschap Rivierenland

Bijlage 3.3 Casus Zeedijk, Molenpolder, kustgebied, Waterschap Scheldestromen

1 Inleiding

Voor u ligt de Werkwijzer Piping bij Dijken. Deze werkwijzer heeft als doel om binnen het ontwerp- en toetsproces van primaire waterkeringen, de adviseur handvatten te bieden in het toepassen van de bestaande kennis en rekenmodellen ten aanzien van het faalmechanisme piping.

Dit betreft Versie 1.2 van deze Werkwijzer. Naar aanleiding van reacties en praktijkervaringen zal deze Werkwijzer worden geactualiseerd in de periode tot eind 2015.

1.1 Aanleiding

In 2012 is het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen (ORZW, 2012) uitgebracht. Dit onderzoeksrapport vormt feitelijk een voortzetting en actualisering van het eerdere Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen (TRZW, 1999). In dit onderzoeksrapport wordt een ten opzichte van het TRZW geactualiseerde rekenregel voor het faalmechanisme piping aangedragen. Ook worden handreikingen gedaan voor onderzoek naar en schematisering van dijktrajecten waar piping mogelijk een rol speelt. Daarnaast zijn in het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken (TRGS, 2012) handvatten gegeven voor het vaststellen van de schematiseringsfactor.

Het ORZW is voor advies voorgelegd aan het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW). In het advies van het ENW (ENW, 2013) is aangegeven dat het onderzoek heeft geresulteerd in een verbeterde rekenregel voor piping. Volgens het ENW is de nieuwe rekenregel dan ook zeker de basis voor toekomstige toepassing. Er wordt echter ook gesteld dat het onderzoeksrapport nog niet geschikt is om als Technisch Rapport te kunnen worden toegepast. Reden hiervoor is dat het voor een gemiddelde gebruiker nog onvoldoende duidelijk is hoe de nieuwe rekenregel in de praktijk moet worden toegepast. Geadviseerd is om aan de hand van een aantal casussen een werkwijzer op te stellen die aangeeft hoe de nieuwe kennis en rekenregel moet worden toegepast. Deze Werkwijzer Piping bij Dijken met bijbehorende casussen geeft invulling aan het ENW-advies.

Samen met de nieuwe kennis vanuit het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen (ORZW, 2012) en het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (TRGS, 2012) kan door middel van praktijkervaring uiteindelijk een volwaardig Technisch Rapport worden uitgebracht.

1.2 Doel en kader

Doel van de Werkwijzer Piping bij Dijken is om ontwerpers en toetsers van dijken duidelijkheid te verschaffen over het toepassen van bestaande kennis bij het specificeren van aard en omvang van een mogelijk pipingprobleem en het technisch beoordelen van eventuele (nood)maatregelen.

De Werkwijzer Piping bij Dijken geeft een methodische aanpak, geïllustreerd met drie casussen, om op een verstandige manier met kennis en informatie van de betreffende waterkering om te gaan.

Deze kennis en informatie betreft voornamelijk de eigen areaal- en gebiedskennis en deskundigheid op het gebied van piping en andere aan piping gerelateerde faalmechanismen bij waterkeringen. Het op een slimme manier vergaren, inzetten en borgen van informatie, samen met de deskundigheid van de ontwerper/toetsers,

maakt in veel gevallen het verschil in de diepgang en kwaliteit van het ontwerp cq. de beoordeling van de waterveiligheid.

De Werkwijzer Piping bij Dijken gaat niet in op specifieke schematiseringsvraagstukken, de inhoudelijk aanpak van analyses, opzet van grondonderzoek of de planvormingsaspecten van het versterkingsproces. Dit is immers locatie-afhankelijk en daarom maatwerk.

De Werkwijzer Piping bij Dijken is breed opgezet, waardoor het zijn toepassing kan vinden in nagenoeg alle situaties waarbij piping een rol speelt. Het is aan de gebruiker om na te gaan of de gepresenteerde handreikingen van toepassing zijn op de specifieke situatie die voorligt. Dit vraagt een zeker basisniveau aan kennis en ervaring op het gebied van piping en de staat van de huidige kennis op dit vlak.

De hier gepresenteerde methodiek is toegesneden op piping bij dijken, maar de systematiek is breder toepasbaar. Zo kan de systematiek gebruikt worden bij de analyse van alle faalmechanismen en ook bij waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies.

1.3 Relatie met lopend onderzoek

Met het gereedkomen van deze Werkwijzer Piping bij Dijken is het onderzoek naar piping en de toepassings(on)mogelijkheden van de bestaande kennis niet afgerond. Vanwege de staat van de huidige kennis en de beperkte praktijkervaring is er nog veel winst te behalen. Tijdens het opstellen van de Werkwijzer Piping bij Dijken en de casussen zijn een aantal onduidelijkheden naar voren gekomen op de vlakken van schematisering, parameterbepaling en veiligheidsfilosofie. Deze onduidelijkheden dienen te worden opgepakt binnen lopende initiatieven ten aanzien van kennisontwikkeling. Deze kennisontwikkeling vindt voornamelijk zijn beslag in de Project Overstijgende Verkenning Piping (POV) en de ontwikkeling van het Wettelijk Toetsinstrumentarium 2017 (WTI2017).

Indien bij de aanpak van een pipingvraagstuk tegen kennislacunes of onduidelijkheden wordt aangelopen, wordt aangeraden contact te zoeken met de Helpdesk Water.

1.4 Casussen

Aan de hand van een drietal casussen is de toepassing van deze Werkwijzer Piping bij Dijken geïllustreerd. Dit zijn de casussen:

- Zwolsedijk (IJsseldelta)
- Waaldijk (rivierengebied)
- Zeedijk (kustgebied)

De casussen behandelen ieder een pipingvraagstuk uit de praktijk waarbij de Werkwijzer Piping bij Dijken als kapstok is gebruikt. Dit heeft geleid tot een eenduidige systematische werkwijze waarmee bestaande en nieuwe informatie in kaart is gebracht, mogelijke aanscherpingsmogelijkheden zijn verkend en de aard en omvang van het pipingvraagstuk is ingekaderd.

Hoewel de aanpak binnen de casussen identiek is en gebaseerd is op hetzelfde stappenplan uit deze werkwijzer, is de uitwerking per case verschillend. Hierin komt naar voren dat het maatwerkoplossingen betreffen, waarin de werkwijzer een bruikbaar raamwerk heeft geboden.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de aanleiding om een maatwerkanalyse uit te voeren, de gekozen opzet en het uiteindelijke resultaat (bevindingen), voor de drie uitgewerkte casussen.

Casus	Aanleiding	Opzet	Bevindingen
Zwolsedijk	Onduidelijkheid in toetsresultaten en keuze maatgevende doorsnede. Informatie over in het verleden getroffen maatregelen en gebiedskennis niet duidelijk onderbouwd en/of vastgelegd.	Meer inzicht op basis van een uitgebreide ordening en analyse van beschikbare gegevens. Toepassing van gevoeligheidsanalyse om nut en effectiviteit van mogelijke oplossingen te verkennen.	Aanvullend onderzoek blijkt nodig. Op basis van conservatieve keuzes lijkt de schematisatie niet aan te sluiten bij de werkelijkheid. Op basis van de (data)-analyses zijn aanbevelingen voor nader onderzoek opgesteld.
Waaldijk	Bij waterstanden onder MHW-niveau is er al sprake van zandmeevoerende wellen in een dijkvak dat volgens de regels was goedgekeurd (methode Bligh en Sellmeijer 1988).	Op basis van gedetailleerde en betere informatie van de ondergrond is de veiligheid op piping opnieuw beoordeeld volgens de nieuwe rekenregel: Sellmeijer 2011.	Op basis van de nieuwe Sellmeijer rekenregel uit 2011 kunnen de waargenomen zandmeevoerende wellen goed worden verklaard en een eindoordeel worden geveld (onvoldoende)
Zeedijk	Waargenomen gedrag (wellen) komt niet overeen met eerder toetsoordeel.	Presentatie rekenmethode voor bepaling tijdsafhankelijke effect van de buitenwaterstand, meegneomen in beoordeling volgens nieuwe rekenregel (Sellmeijer 2011).	Resultaat beoordeling (onvoldoende) sluit aan bij waargenomen gedrag, ook met het meenemen van het tijdsafhankelijke effect.

De casussen zijn opgenomen in de bijlagen.

1.5 Niet vigerende ontwerpmethoden

Vanuit diverse initiatieven is kennis omtrent piping in ontwikkeling. Dit houdt in dat schriftelijk vastgelegde kennis, zoals Technische Rapporten en Leidraden, niet de grens vormen: de ontwerper mag en zou zich ook uitgedaagd moeten voelen om zelf na te denken over een geëigende ontwerpmethodode.

Indien een van de vigerende richtlijnen afwijkende methode wordt gehanteerd dient deze:

1. goed te worden onderbouwd;

2. door een externe vakdeskundige (ingenieursbureau of kennisinstituut) te worden beoordeeld;
3. gedragen te worden door zowel de toekomstige beheerder van de waterkering (veelal waterschap) en de toezichthouders (Rijksoverheid);
4. voldoende ruimte te bieden voor robuustheid binnen het ontwerp.

Het is de initiatiefnemer in beginsel toegestaan een eigen inbreng van de ontwerper ten aanzien van de ontwerpmethodologie uit te sluiten. Dit kan bijvoorbeeld door in het Programma van Eisen een bepaalde ontwerpmethodologie verplicht te stellen. De initiatiefnemer dient dan wel te beseffen dat een risico bestaat op zeer omvangrijke, of wellicht juist ontoereikende ontwerpen, een en ander afhankelijk van de specifieke omstandigheden.

1.6 Expertteam Piping

Indien de initiatiefnemer, zijn adviseurs en eventuele geraadpleegde externe deskundigen (second opinion) niet tot een oplossing kunnen komen, dan kan het Expertteam Piping om advies worden gevraagd.

Het Expertteam Piping is ingesteld door het ministerie van Infrastructuur en Milieu en bestaat uit deskundigen op het gebied van het faalmechanisme piping, geologie, geohydrologie en probabilistiek.

Het Expertteam Piping is te raadplegen via de Helpdesk Water.

1.7 Leeswijzer

De Werkwijzer Piping bij Dijken is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

- Hoofdstuk 2: Stappenplan om van een in een toetsing (conform VTV2006) afgekeurd dijkvak tot een aangescherpte opgave en een robuuste en realistische maatregel te komen,
- Hoofdstuk 3: Stroomschema voor een kwelweganalyse, inclusief toelichting hoe binnen deze analyse middels de schematiseringsfactor tot een voldoende veilige schematisering kan worden gekomen.
- Hoofdstuk 4: Formuleblad met de (meest voorkomende) berekeningen, inclusief aanduiding voor gebruik van schematiseringsfactor en keuze van karakteristieke waarden.
- Bijlage 1: Checklist, behorende bij het stappenplan uit hoofdstuk 2, om te verifiëren of geen schematiseringswinst is blijven liggen.
- Bijlage 2: Overzicht van aanscherpingsmogelijkheden voor de te hanteren belastingen, voor het schematiseren en voor het analyseren.
- Bijlage 3: Drie uitgewerkte casussen om de toepassing van de Werkwijzer Piping bij Dijken te illustreren.

1.8 Totstandkoming Werkwijzer Piping bij Dijken

Aan de totstandkoming van deze Werkwijzer Piping bij Dijken hebben de volgende personen een bijdrage geleverd:

Werkwijzer Piping bij Dijken – Hoofdttekst

- drs. B.M. Berbee Fugro GeoServices B.V. - Opsteller
- ir. G.R.P. van Goor Fugro GeoServices B.V. - Opsteller
- ir. M.T. van der Meer Fugro GeoServices B.V. - Opsteller

Casus Zwolsedijk, Hasselt, IJsseldelta

- drs. B. Koster Waterschap Groot-Salland - Begeleiding

- ir. L.W. van Nieuwenhuijzen Royal HaskoningDHV Nederland B.V. - Opsteller
- ir. M.P.M. Sanders Royal HaskoningDHV Nederland B.V. - Opsteller
- D.J. Sluiter Waterschap Groot-Salland - Begeleiding
- ir. A.G. Wiggers Royal HaskoningDHV Nederland B.V. - Opsteller
- ir. T. de Wit Royal HaskoningDHV Nederland B.V. - Opsteller

Casus Waaldijk, Hurwenen, rivierengebied

- ir. S.G. Van den Berg Waterschap Rivierenland - Begeleiding
- ing. R. Koopmans ARCADIS Nederland B.V. - Opsteller
- ing. R. Oudkerk ARCADIS Nederland B.V. - Opsteller

Casus Zeedijk, Molenpolder, kustgebied

- ir. R. Bouw Witteveen+Bos B.V. - Opsteller
- ir. J.T.M. van der Sande Waterschap Scheldestromen – Begeleiding
- ir. P.E.M. Schoonen Witteveen+Bos B.V. - Opsteller
- ir. S. Te Slaa Witteveen+Bos B.V. - Opsteller

Expertteam Piping – Begeleiding en kwaliteitsborging

- ing. J.E.J. Blinde Deltares
- ir. W. Kanning Stichting Deltares - Secretaris
- drs. G.A.M. Kruse Stichting Deltares
- ir. J. Niemeijer Arcadis Nederland B.V.
- ir. J.T.M. van der Sande Waterschap Scheldestromen
- ir. J.B.A. Weijers Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving

Namens Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving was ir. P.J.L. Blommaart projectbegeleider.

2 Stappenplan om tot een maatregel te komen

De Werkwijzer Piping bij Dijken bestaat uit een stappenplan voor het aanpakken van een pipingvraagstuk, en een 3-tal hulpmiddelen om een kwelweganalyse uit te kunnen voeren: een stroomschema voor een kwelweganalyse, een formuleblad en een checklist met aanscherpingsmogelijkheden.

Het stappenplan en de checklist maken het mogelijk om op een gestructureerde wijze de beschikbare informatie, kennis en rekenregels toe te passen binnen het ontwerp- en toetsproces. Startpunt vormt in principe de situatie waarbij een dijktraject in de 3^e toetsronde als onvoldoende is beoordeeld op het toetsspoor Piping en Heave (STPH). Er wordt van uitgegaan dat minimaal een toetsing op gedetailleerd niveau (conform VTV, 2006) beschikbaar is. Indien dit niet het geval is, wordt aanbevolen deze alsnog uit te voeren.

Het staat de initiatiefnemer echter vrij om dit stappenplan ook toe te passen op niet op piping en heave afgekeurde dijkvakken. Bijvoorbeeld omdat het dijkvak op een andere faalmechanisme dan piping en heave is afgekeurd en integraal een verbetering wordt voorbereid. Of omdat een goedgekeurd dijkvak onderdeel uitmaakt van een dijktraject waarvoor integraal een verbetering wordt voorbereid. Of omdat het dijkvak is goedgekeurd met gebruikmaking van de regel van Bligh.

Het stappenplan is weergegeven in Figuur 1 op de volgende pagina en gaat uit van een afgekeurd dijkvak. De verschillende stappen worden in dit hoofdstuk besproken. Benadrukt wordt dat het stappenplan een hulpmiddel is; indien een of meer stappen niet van toepassing zijn kunnen deze uiteraard gewoon vervallen.

Naast het stappenplan vormt een checklist (bijlage 1) onderdeel van de Werkwijzer Piping bij Dijken. Per stap zijn in deze checklist de belangrijkste punten/aanscherpingsmogelijkheden opgenomen die in het gehele proces van gegevens-inventarisatie tot aan het ontwerpen van maatregelen van belang zijn en kan worden aangegeven of de betreffende punten behandeld zijn.

In Figuur 1 stelt een gekleurde balk een dijkvak voor en een gele omgekeerde driehoek een representatief dwarsprofiel voor dat dijkvak.

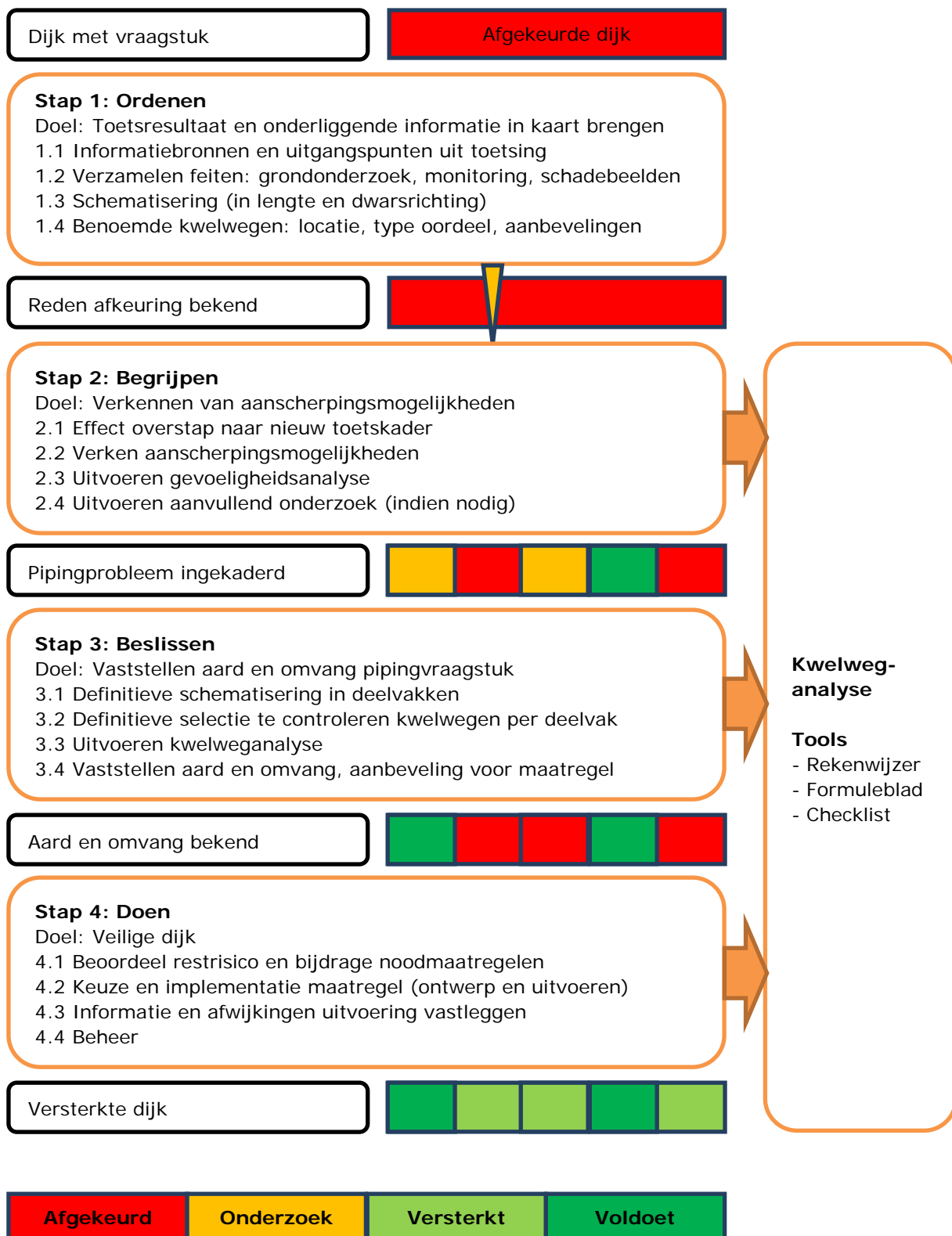


Afgekeurd dijkvak



Representatief dwarsprofiel

Voor een voorbeeld bij de toepassing van het stappenplan wordt verwezen naar de casussen in bijlage 3.



Figuur 1: Stappenplan Werkwijzer Piping bij Dijken

2.1 **Stap 1: Ordenen**

Het doel van deze stap is het inventariseren en vastleggen van de informatie uit de toetsing en de hierbij behorende gegevens, en dit overzichtelijk te ordenen. Hierbij kan worden gedacht aan weergave op kaart en/of in lengte- en dwarsprofielen. Uitgangspunt is dat de toetsing correct is uitgevoerd conform de vigerende voorschriften.

2.1.1 Stap 1.1 Inventariseren informatie(bronnen) en uitgangspunten uit de toetsing
Inventariseer de informatie(bronnen) en uitgangspunten zoals die in de toetsing zijn gebruikt. Primair betreft dit de informatie uit het toetsrapport en verwijzingen die daarin zijn opgenomen, het gehanteerde toets- en polderpeil en de toegepaste toetsregel(s).

2.1.2 Stap 1.2 Verzamelen feiten
Binnen deze stap wordt de beschikbare aanvullende informatie, naast die uit de toetsing, geïnventariseerd. Hierbij kan het gaan om informatie vanuit eerder nabij de waterkering uitgevoerd geotechnisch onderzoek, monitoringsresultaten en aanvullende (archief)gegevens van de waterbeheerder. Ook meer kwalitatieve informatie zoals ervaringen van de beheerder met wellen of waargenomen schadebeelden zijn hierbij relevant. Naast deze informatiebronnen bieden online-databanken, bodem-, grondwater- en geohydrologische kaarten vaak verdiepend inzicht in de lokale en regionale geohydrologische situatie (zie o.a. ORZW H9.2 en de checklist in bijlage 1).

2.1.3 Stap 1.3 Schematisering
Inventariseer en benoem de schematisaties die zijn opgesteld binnen de toetsing. Op welke wijze is de complexe buitenwereld teruggebracht tot (een) beter behapbare schematisatie(s) en voor welk dijktraject worden zij representatief geacht?

2.1.4 Stap 1.4 Benoem de beoordeelde kwelwegen
De vragen die binnen deze stap dient te worden beantwoord zijn:

- Welke kwelwegen zijn onderzocht?
- Waar bevinden deze kwelwegen zich (denk aan keuze voor intrede en uittredepunt)?
- Op welke detailniveau zijn deze kwelwegen beoordeeld en met welke rekenregels?
- Zijn er aanbevelingen in de toetsing opgenomen, en is hier gevolg aan gegeven?

2.2 **Stap 2: Begrijpen**

In de voorgaande stap lag de focus op het inventariseren en ordenen van de beschikbare informatie en gehanteerde uitgangspunten. De toetsing van de waterkering vormt daarbij het vertrekpunt. In deze vervolgstap worden de mogelijke aanscherpingsmogelijkheden verkend. Op basis van de beschikbare informatie en de nieuwe kennis omtrent piping en de rekenregels wordt de toetsing tegen het licht gehouden en een basisschematisatie opgesteld. De rekenwijzer, het formuleblad en checklist kunnen binnen de verschillende stappen worden gebruikt.

2.2.1 Stap 2.1 Effect overstap naar nieuw toetskader
Vergelijk de uitgangspunten in de toetsrapportage met de huidige staat van kennis, onder meer ten aanzien van hydraulische belasting (toets- en ontwerpwaterstand). Voor een praktische doorkijk naar een eventueel nieuwe normenstelsel voor de waterveiligheid kan gebruik worden gemaakt van het Ontwerp Instrumentarium (OI) 2014. Ga na of in de toetsing gebruik is gemaakt van de rekenregels en

schematiseringsmethodiek uit het ORZW en het TRGS inclusief schematiseringsfactor. Bepaal het effect van eventuele wijzigingen van het toetskader en hydraulische belastingen op de beoordeling.

2.2.2 *Stap 2.2 Verken aanscherpingsmogelijkheden*

Binnen deze stap worden de verschillende aanscherpingsmogelijkheden op de toetsing verkend. Als handreiking binnen deze stap is in bijlage 2 een overzicht opgenomen van aspecten waarop aanscherping van de toetsing kan plaatsvinden. Deze aspecten zijn geclusterd in drie onderdelen, dit zijn:

- belastingen (hydraulische randvoorwaarden en invloed tijdsafhankelijkheid);
- schematisatie (geometrie, bodemopbouw en geohydrologie), en
- analyse (intredepunt, uitredepunt en kwelweg).

Per onderdeel zijn aandachtspunten en concrete acties benoemd die helpen om te identificeren of er aanscherpingsmogelijkheden zijn en zo ja, welke dat zijn. Per aandachtspunt zijn tevens mogelijke informatiebronnen gegeven waar relevante informatie kan worden gezocht.

2.2.3 *Stap 2.3 Uitvoeren gevoeligheidsanalyse*

Het resultaat van de voorgaande stap is een overzicht van aanscherpingsmogelijkheden. Ook wanneer er geen aanscherpingsmogelijkheden zijn geïdentificeerd is het doorlopen van deze stap zinvol. In dat geval wordt het effect van het nieuwe rekenmodel, belastingen en schematisatieproces inzichtelijk gemaakt.

De gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd om inzicht te krijgen in de mate waarop de verschillende aanscherpingsmogelijkheden uit de vorige stap van invloed zijn op depipingopgave. Voor het doorlopen van deze analyses wordt verwezen naar de rekenwijzer (Hoofdstuk 3) en het formuleblad (Hoofdstuk 4). Een gedetailleerde beschrijving van de technische analyses is opgenomen in het ORZW en TRGS.

De bandbreedte waarin de parameters worden gevarieerd kan gekozen worden op basis van de beschikbare informatie vanuit de toetsing of andere bronnen (b.v. VNK-database) of worden geschat op basis van onderzoeksresultaten. Houdt er rekening mee dat nieuwe kennis, zoals deze wordt ontwikkeld binnen de POV-piping, richting kan geven bij de parameterbepaling.

Dit type gevoeligheidsanalyses onderscheidt zich van het vaststellen van de schematiseringsfactor, aangezien hierbij zowel positieve als negatieve scenario's worden onderzocht.

Bij het afleiden van de schematiseringsfactor wordt ook gebruik gemaakt van scenario's, echter, dit zijn uitsluitend negatieve scenario's. Op basis van deze scenario's wordt namelijk onderzocht of de gehanteerde schematisering voldoende conservatief is.

2.2.4 *Stap 2.4 Uitvoeren aanvullend onderzoek*

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse kunnen worden gebruikt om een eerste prioritering van de aanscherpingsmogelijkheden te maken: welke aspecten hebben de grootste invloed op de beoordeling. In sommige gevallen kan het nodig blijken om aanvullende data te verzamelen. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn, samen met de benodigde inspanningen en de te verwachten resultaten van het aanvullende onderzoek, richtinggevend in het selecteren van kansrijke aanscherpingsmogelijkheden.

Het nut en noodzaak van eventueel uit te voeren onderzoek kan daarnaast gewogen worden tegen de kosten van een eventuele dijkversterking. Om deze afweging te kunnen maken kan een grove raming van de (impact van) versterkingsmaatregelen worden vergeleken met de geraamde kosten van het benodigde onderzoek en de mogelijkheden op een wijziging van het oordeel.

Wanneer besloten is of en op welk onderdeel aanscherping nodig is, kan gericht onderzoek worden ingezet. Voorbeelden van veelvoorkomende typen onderzoek binnen deze stap zijn:

- (Aanvullende) geotechnische en/of geofysische dataverzameling, bijvoorbeeld deklaagdikte-onderzoek, doorlatendheidsonderzoek zandlaag, zevingen, volumegewichten;
- Monitoring stijghoogten in (tussen)zandlagen;
- Aanvullende analyses op reeds bestaande data, bijvoorbeeld analyse tijdsafhankelijkheid op basis van meetdata.

Aanbevolen wordt een rapportage met daarin de onderzoeksopzet, wijze van uitvoering en de resultaten op te stellen, om te voorkomen dat informatie later in het proces verloren gaat.

2.3 Stap 3: Beslissen

Na inkadering van het pipingvraagstuk is het doel van deze stap om te komen tot een definitieve vaststelling van de aard en omvang van het probleem. Daarbij kan als vervolg een eerste doorkijk worden gemaakt naar eventuele maatregelen.

2.3.1 Stap 3.1 Definitieve schematisering in deelvakken

Op basis van de voorgaande stappen, mogelijk aangevuld met informatie uit nieuw onderzoek, kan het betreffende dijktraject worden onderverdeeld in deelvakken. Binnen deze deelvakken kunnen de fysieke eigenschappen en de belastingen die kunnen leiden tot piping gelijk worden verondersteld. Dit betekent dat het deelvak kan worden gekarakteriseerd door een representatief dwarsprofiel.

2.3.2 Stap 3.2 Definitieve selectie te controleren kwelwegen per deelvak

Per deelvak dienen alle mogelijke kwelwegen te worden onderzocht en de maatgevende kwelwegen te worden geselecteerd. Hierbij dient voor ieder deelvak een driedimensionale beschouwing plaats te vinden waarbij van intrede- tot uittredepunt de verschillende mogelijke kwelwegen worden bekeken. Alle mechanismen (opbarsten, onderloopsheid, achterloopsheid, heave) moeten hierbij worden bekeken. Per deelvak wordt een representatief dwarsprofiel geschematiseerd en de schematiseringsfactor bepaald conform het TRGS.

2.3.3 Stap 3.3 Uitvoeren kwelweganalyse

Voor de diverse deelvakken dient in deze stap een technische beoordeling van de bijbehorende kwelwegen plaats te vinden. Voor het doorlopen van deze beoordeling wordt verwezen naar de rekenwijzer (Hoofdstuk 3) en het formuleblad (Hoofdstuk 4). Een gedetailleerde beschrijving van de technische analyses is opgenomen in het ORZW en TRGS.

2.3.4 Stap 3.4 Vaststellen aard en omvang en voorstel voor maatregelen

Op basis van de analyses kan de definitieve aard van het pipingprobleem worden vastgesteld. De vaststelling van de aard van het probleem gaat niet alleen in op de beoordeling (voldoende / onvoldoende) maar vooral ook op de oorzaak en omvang van het pipingvraagstuk. Door welke kenmerken van het vraagstuk (geometrie, geo(hydro)logie) ontstaat het probleem? Speelt het probleem langs de hele

strekking, of alleen bij bepaalde deelvakken? Hier dient in de omschrijving van de aard en omvang van het probleem op ingegaan te worden. Eventueel kan op basis daarvan een doorkijk worden gegeven naar mogelijk oplossingsrichtingen.

2.4 **Stap 4: Doen**

Voor het uitvoeren van een versterking met het oog op piping is een groot aantal maatregelen beschikbaar. Grofweg zijn ze onder te verdelen in:

- maatregelen die het ontstaan van een uittredepunt voor een kwelstroom tegengaan,
- maatregelen die het ontstaan van een doorgaande zandmeevoerende kwelweg tegengaan.

Een overzicht, inclusief aandachtspunten voor toepassing en/of aanwijzingen voor het ontwerp is opgenomen in ORZW, hoofdstuk 8 en in het kort in de checklist in bijlage 1. De volgende stappen kunnen helpen bij het maken van een keuze voor en uitwerking/ beheer van een bepaalde maatregel.

2.4.1 *Stap 4.1 Beoordeel restrisico en bijdrage noodmaatregelen*

Uitgangspunt vormt een dijktraject met afgekeurde dijkvakken die bij geactualiseerde toetsrandvoorwaarden niet voldoen aan de nieuwe toetsregels. Voordat ingrijpende versterkingsmaatregelen worden overwogen dient onder meer gekeken te worden of de prioritering van de versterking in verhouding staat tot het risico dat falen van de kering door piping met zich mee brengt. Ook het effect van het nemen van noodmaatregelen kan hierbij worden meegenomen. Uiteraard dient in dat geval de noodmaatregel op robuustheid en betrouwbaarheid te worden beoordeeld.

2.4.2 *Stap 4.2 Keuze en implementatie maatregel*

Indien er een versterkingsopgave ligt zal de afweging van verschillende alternatieve maatregelen een onderdeel zijn van het planvormingsproces. Voor de hand liggende maatregelen komen vaak tijdens het vaststellen van de aard en omvang van de opgave (stap 3.4) reeds naar voren. De maatregelen dienen uiteraard in relatie met andere faalmechanismen, omgeving, Life Cycle kosten, uitvoerbaarheid en tijdsplanning te worden beschouwd.

Een onderbouwing van de keuzes ten aanzien van deze punten heeft een plaats in het ontwerprapport. Voor het beoordelen van maatregelen wordt verwezen naar de rekenwijzer (Hoofdstuk 3) en het formuleblad (Hoofdstuk 4). Een gedetailleerde beschrijving van de technische analyses is opgenomen in het ORZW en TRGS.

2.4.3 *Stap 4.3 Informatie en afwijkingen in uitvoering vastleggen*

Tijdens het voorbereiden en uitvoeren van de maatregel kan nieuwe informatie beschikbaar komen, die relevant kan zijn in het kader van het dagelijkse beheer en de periodieke toetsing van de waterkering. Het verdient de aanbeveling ook deze informatie vast te leggen en beschikbaar te maken voor de (beheer)organisatie.

Een ander belangrijk punt is om afwijkingen tussen ontwerp en realisatie vast te leggen. Er zijn verschillende redenen denkbaar waardoor er tijdens de uitvoering afgeweken kan worden van een bepaald referentieontwerp. Uitvoeringsaspecten en externe ontwikkelingen kunnen er binnen een project voor zorgen dat de dimensionering, detaillering of zelfs oplossingsrichtingen kunnen wijzigen. Door deze wijzigingen en het uiteindelijke resultaat ('as-built') vast te leggen en beschikbaar te maken, wordt een juiste basis gelegd voor het beheer van de waterkering.

2.4.4

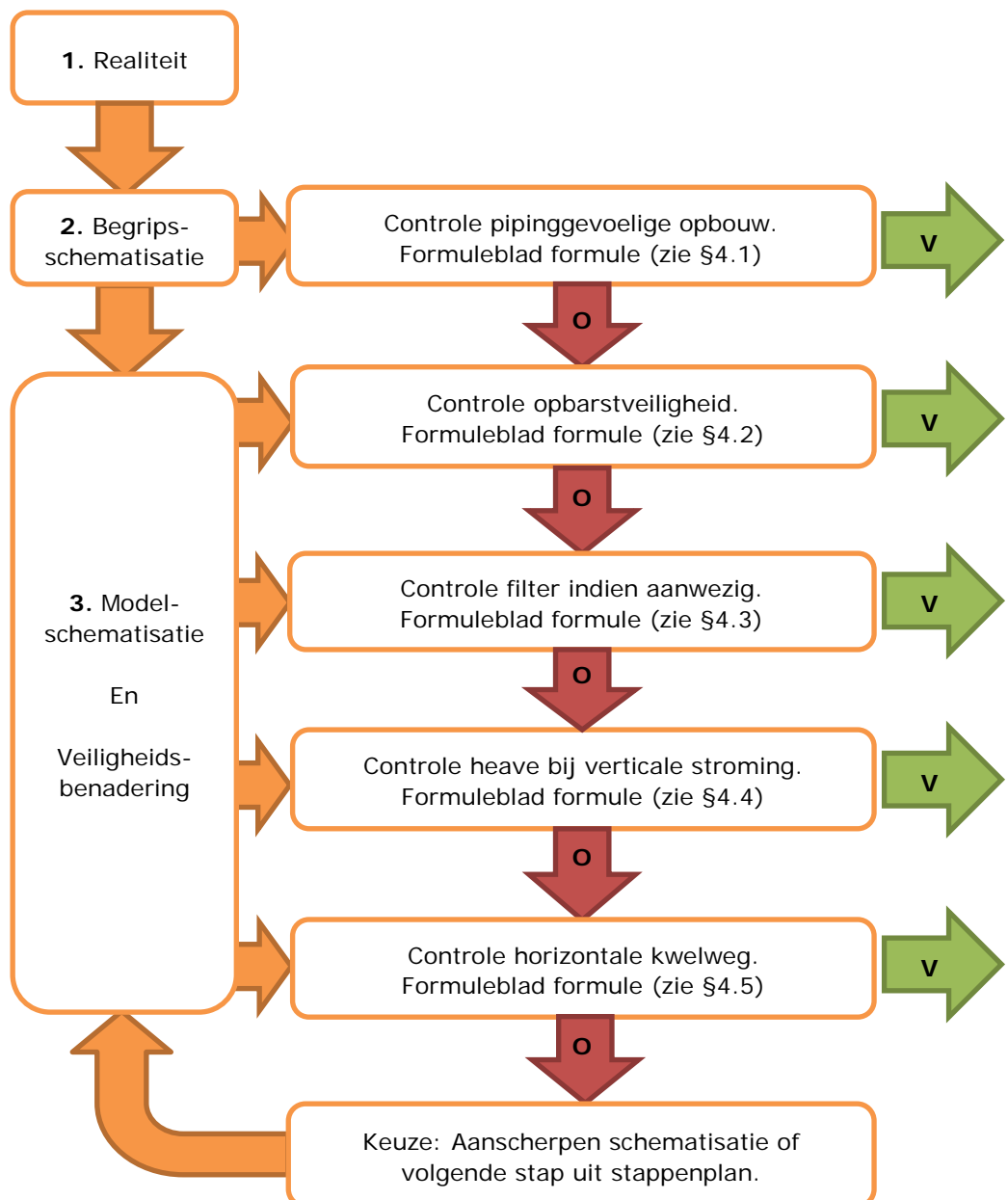
Stap 4.4 Beheer

Nadat de maatregel(en) zijn uitgevoerd voldoet de waterkering weer aan de norm en begint er in feite een nieuwe beheercyclus, waarvan de periodieke veiligheidstoetsing een onderdeel is. De waterkeringbeheerder dient de staat en stabiliteit van de waterkering te blijven monitoren en zal zo nodig ingrijpen. Zoals in de voorgaande stappen duidelijk is geworden, gaat het vooral om de juiste informatie op een correcte wijze toe te passen binnen het beoordelen van een waterkering, het selecteren en implementeren van eventuele (nood)maatregelen en inspectie en monitoring.

De juiste informatie inwinnen, het op orde houden van deze informatie en vervolgens het ontsluiten is cruciaal.

3 Rekenwijzer kwelweganalyse

De rekenwijzer in onderstaand figuur biedt een kapstok voor het uitvoeren van kwelweganalyses. De beoordeling van mogelijke kwelwegen is opgebouwd uit verschillende stappen die van grof naar fijn toenemen in complexiteit. De analyses zijn opgehangen aan een drietal niveaus waarin uiteindelijk wordt gekomen tot een modelschematisatie. De drie (schematisatie)niveaus zijn in onderstaande tekst toegelicht. De pijlen in onderstaand figuur geven het verloop van de verschillende stappen aan, waarbij een groene pijl een 'voldoende' (V) beoordeling aangeeft en de rode pijl een 'onvoldoende' (O) beoordeling. Uiteraard dient hierbij voor de eindsituatie de interactie met andere faalmechanismen te worden beschouwd.



Figuur 2: Rekenwijzer Werkwijzer Piping bij Dijken

3.1 Niveau 1: De realiteit

In de realiteit hebben we van doen met veel ruimtelijk variatie in 3 dimensies. Heterogeniteit, in bijvoorbeeld de dikte en samenstelling van deklagen, ligging en samenstelling van zandpakketten, speelt een rol in zowel langs- en dwarsrichting als ook over de diepte.

3.2 Niveau 2: Begripsschematisatie

Aangezien het menselijkerwijs niet mogelijk is om de complexe realiteit volledig te bevatten, laat staan te analyseren, wordt de realiteit tot een grove weergave teruggebracht, vaak in dwarsdoorsneden of in bovenaanzichten. Dit kan een weergave van de deklaag en de zandlaag in het voor en achterland zijn, met variabele laagopbouw, dikte en samenstelling. Zo kan bijvoorbeeld een zandlaag worden opgedeeld in 4 of 5 zandlagen op elkaar, elk met separate eigenschappen. De begripsschematisatie is de schematisatie waarbinnen bekeken wordt welke kwelwegen (modelmatig) beoordeeld dienen te worden.

3.3 Niveau 3: Modelschematisatie

Modellen vereisen dat de nog altijd gecompliceerde begripsschematisatie wordt teruggebracht tot het formaat waarvoor het model geschikt is. De 4 of 5 zandlagen worden bijvoorbeeld samengenomen en de deklaag in het voorland wordt tot een (deels) homogene laag terug geschematiseerd. Vaak moet de drie-dimensionele werkelijkheid worden gereduceerd naar een eenvoudiger twee-dimensionale schematisatie. Er worden, aan het model aangepaste, parameters bepaald waarin informatie wordt samengenomen. Deze stap vereist:

- fysisch inzicht in het faalmechanisme, om verantwoord te vereenvoudigen;
- inzicht in het op verantwoorde wijze verdisconteren van veiligheidsmarges (niet te veel en niet te weinig).

Bij het schematiseren en afleiden van de schematiseringsfactor dient rekening gehouden te worden met:

- fysische onzekerheid (bv laagdikte);
- tijdsafhankelijke onzekerheid (bv wijziging intreeweerstand);
- uitvoeringsafwijkingen (bv kleikist wordt dunner uitgevoerd).

3.4 Veiligheidsbenadering: schematiseringsfactor

Om aan te tonen en te verifiëren of bij de overgang van de begripsschematisatie naar de modelschematisatie de veiligheidsmarges op verantwoorde wijze (niet te veel, niet te weinig) zijn verdisconteert, moet de schematiseringsfactor worden toegepast. Deze heeft een signalerende rol of mogelijke schematiseringskansen zijn blijven liggen, of dat de schematisering onveiligheid heeft geïntroduceerd. Bij het bepalen van de schematiseringsfactor is het van belang inzicht te hebben in de mogelijke onzekerheden binnen de schematisatie. Op basis van deze onzekerheden worden verschillende plausibele scenario's opgesteld met daaraan gekoppeld een bepaalde kans van voorkomen. Zodoende kan aantoonbaar gekomen worden tot een verantwoorde schematisatie.

De afleiding van de schematiseringsfactor op basis van scenario's is niet hetzelfde als het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse. Bij het afleiden van de schematiseringsfactor dienen enkel ongunstige scenario's te worden beoordeeld waarin de schematisatie dus bijdraagt aan een vergroting van de faalkans. Dit in tegenstelling tot een gevoeligheidsanalyse waarin de schematisatie en de parameters zowel meer 'positief' als 'negatief' kunnen worden gekozen. Het op een correcte en inzichtelijke wijze uitwerken van deze stap vereist kennis van het fysische proces en inzicht in de gevoeligheden binnen de analyse.

4 Basisformules piping

Onderstaande formules kunnen worden gebruikt in de kwelweganalyse. Een toelichting op de van toepassing zijnde symbolen en parameterbeschrijving (eenheid, verwachtingswaarde of karakteristieke waarde) is opgenomen aan het einde van het hoofdstuk.

Opgemerkt wordt dat dit alleen formules betreft om de kwelweg op stabiliteit (opbarsten, filters, heave, piping) te controleren dan wel te ontwerpen. De formules betreffen de basisformules.

In enkele gevallen zijn voor specifieke situaties afwijkende formules van toepassing of is de toe te passen veiligheidsbenadering nog onvoldoende duidelijk. Dit betreft met name de filterregels en de veiligheidsbenadering ten aanzien van heave.

Formuleringen ter ondersteuning van de schematisering, denk aan bijvoorbeeld analytische oplossingen voor de bepaling van stijghoogten, formuleringen ter bepaling van de gronddruk of statistische benaderingen, zijn uit oogpunt van leesbaarheid niet opgenomen, maar kunnen worden gevonden in de literatuur. Met betrekking tot deze aspecten zijn er veelal ook verschillende benaderingen mogelijk.

4.1 Controle pipinggevoeligheid

Om te controleren of de bodemconfiguratie pipinggevoelig is, kan gebruik worden gemaakt van hoofdstuk 4 van het ORZW. Voor een pipinggevoelige situatie (inclusief heave) is in ieder geval een zandpakket nodig dat aan de bovenkant wordt begrensd door een cohesieve deklaag of harde constructie-elementen. Een dijklichaam en bodem volledig opgebouwd uit zand (zand-op-zanddijk) is in de regel niet pipinggevoelig.

4.2 Controle kwelwegstabiliteit: opbarstveiligheid

(zie ORZW formule 7.2)

$$\frac{\sigma_g}{\sigma_w} \geq 1,2\gamma_{b,opb} \quad (1a)$$

met:

σ_g [kN/m²] Grondspanning, opgebouwd uit l.r.w. van deklaagdikte en l.r.w. deklaaggewicht

σ_w [kN/m²] Waterspanning onderkant deklaag

$\gamma_{b,opb}$ [-] Schematiseringsfactor opbarsten

De invultabel en factorentabel voor de schematiseringsfactor zijn hieronder toegevoegd.

Invultabel schematiseringsfactor opbarsten

Schematisering	F_{opb}	ΔF_{opb}	P	$Y_{b,opb}$
Basisschematisering				
Scenario 1				
Scenario 2				
Scenario 3				
Scenario 4				
Scenario n				
Benodigde schematiseringsfactor				

Schematiseringsfactoren opbarsten (TRGS tabel 3.5)

Vershil in veiligheidsfactor t.o.v. basisschematisering ΔF_{opb}	Som van de kansen van afwijkende scenario's $\Sigma P(S_i)$	$Y_{b,opb}$
-0,40 tot -0,30	<30%	1,33
	<10%	1,31
	<3%	1,30
	<1%	1,28
	<0,3%	1,27
-0,30 tot -0,20	<30%	1,24
	<10%	1,23
	<3%	1,22
	<1%	1,20
	<0,3%	1,18
-0,20 tot -0,10	<30%	1,16
	<10%	1,14
	<3%	1,13
	<1%	1,12
	<0,3%	1,10
-0,10 tot -0,05	<30%	1,08
	<10%	1,06
	<3%	1,05
	<1%	1,04
	<0,3%	1,02
-0,05 tot 0	<0,3%	1,01

met:

F_{opb}	[-]	Veiligheidsfactor tegen opbarsten
ΔF_{opb}	[-]	Vershil in veiligheidsfactor tussen scenario en basisschematisatie
P	[-]	Kans op voorkomen
$Y_{b,opb}$	[-]	Schematiseringsfactor opbarsten

waarin de veiligheidsfactor tegen opbarsten is gedefinieerd als:

$$F_{opb} = \frac{\sigma_g}{\sigma_w} \quad (1b)$$

4.3 Controle kwelwegstabiliteit: filterregels

(zie ORZW formule 8.1 t/m 8.6)

Er zijn diverse filterregels beschikbaar. Deze worden beschreven in ORZW formule 8.1 t/m 8.6. Deze sectie is nog onvoldoende duidelijk, zowel qua onderbouwing, veiligheidsfilosofie als rangorde binnen de regels. Mogelijk dat hier meer duidelijkheid over komt vanuit de lopende (kennis)projecten zoals de POV-piping.

4.4 Controle kwelwegstabiliteit: heave (verticale kwelweg)

(zie ORZW formule 7.1)

$$i_{c,rep} = \frac{\Delta H_{heave}}{d_{heave}} < 0,5 \quad (2)$$

met:

$i_{c,rep}$	[-]	Verticale verhang
ΔH_{heave}	[m]	Optredend verval over verticaal gerichte waterstroom (h.r.w.)
d_{heave}	[m]	Dikte van de laag waarover verticaal gerichte waterstroom optreedt, veelal gelijk aan de lengte van het opbarstkanaal (l.r.w.)

Voor de controle van deze kwelwegstabiliteit is nog geen uitgewerkte schematiseringsrichtlijn, bijvoorbeeld middels een schematiseringsfactor ontwikkeld. De piping schematiseringsfactor (zie hieronder) kan hier nog niet 1 op 1 voor toegepast worden. Dit kan echter middels een eenvoudige statistische benadering worden verhelderd of middels een gevoeligheidsanalyse worden beschouwd. Mogelijk dat hier meer duidelijkheid over komt vanuit de lopende (kennis)projecten zoals de POV-piping.

4.5 Controle kwelwegstabiliteit: piping (horizontale kwelweg)

(zie ORZW formule 7.3 t/m 7.7)

Algemeen beoordelingscriterium

$$\frac{\Delta H_c}{\gamma_n \gamma_{b,pip}} > (\Delta H - 0,3d) \quad (3a)$$

met:

d	[m]	Lengte van de verticale kwelwegt.p.v. het uittredepunt (veelal gelijk aan de deklaagdikte (l.r.w.))
ΔH	[m]	Optredend verval over de waterkering (h.r.w.)
ΔH_c	[m]	Kritiek verval over de waterkering voor het ontstaan van een pipe
$\gamma_{b,pip}$	[-]	Schematiseringsfactor piping
γ_n	[-]	Betrouwbaarheidsindex afhankelijke veiligheidsfactor

met:

$$\Delta H_c = L F_r F_s F_g \quad (3b)$$

met:

ΔH_c [m] Kritiek verval over de waterkering voor het ontstaan van een pipe
 L [m] Horizontale kwelweglengte waarover het kritiek verval optreedt (l.r.w.)

$$F_r = \frac{\gamma'_p}{\gamma_w} \{ \eta \tan(\theta) \} \quad (3c)$$

$$F_s = \frac{d_{70m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70m}} \right)^{0,4} \quad (3d)$$

$$F_g = 0,91 \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0,28}{2,8} - 1} + 0,04 \quad (3e)$$

met:

D [m] Dikte van de laag die de erosiestroom in de pipe voedt (h.r.w.)
 d_{70} [m] Korreldiameter van de laag waarin zich een pipe kan ontwikkelen, waarbij 70 gewichtsprocent van het materiaal kleiner is dan deze diameter (l.r.w.)
 d_{70m} [m] Gemiddelde d_{70} -waarde kleine schaalproeven (nom.)
 L [m] Horizontale kwelweglengte waarover het kritiek verval optreedt (l.r.w.)
 γ'_p [kN/m³] Schijnbaar volumegewicht zandkorrels onder water = $\gamma_n - \gamma_w$
 γ_n [kN/m³] Volumegewicht zandkorrels
 γ_w [kN/m³] Volumegewicht water (nom.)
 η [-] Sleepfactor (coëfficiënt van White) (nom.)
 θ [°] Rolweerstandhoek (nom.)
 κ [m²] Intrinsieke doorlatendheid van het grondvolume dat de erosiestroom in de pipe voedt (h.r.w.)

De invultabel en factorentabel voor de schematiseringsfactor zijn hieronder toegevoegd.

Invultabel schematiseringsfactor horizontale kwelweg

Schematisering	F_{pip}	ΔF_{pip}	P	$Y_{b,pip}$
Basisschematisering				
Scenario 1				
Scenario 2				
Scenario 3				
Scenario 4				
Scenario n				
Benodigde schematiseringsfactor				

Schematiseringsfactoren piping (TRGS tabel 3.6)

Verskil in veiligheidsfactor t.o.v. basisschematisering ΔF_{pip}	Som van de kansen van afwijkende scenario's $\Sigma P(S_i)$	$Y_{b,pip}$
-0,40 tot -0,30	<30%	1,38

	<10%	1,36
	<3%	1,33
	<1%	1,31
	<0,3%	1,28
-0,30 tot -0,20	<30%	1,28
	<10%	1,26
	<3%	1,23
	<1%	1,21
	<0,3%	1,18
-0,20 tot -0,10	<30%	1,18
	<10%	1,16
	<3%	1,13
	<1%	1,11
	<0,3%	1,08
-0,10 tot 0	<0,3%	1,01

met:

F_{pip}	[-]	Veiligheidsfactor tegen piping
ΔF_{pip}	[-]	Vershil in veiligheidsfactor tussen scenario en basisschematisatie
P	[-]	Kans op voorkomen
$Y_{b,pip}$	[-]	Schematiseringsfactor

met:

$$F_{pip} = \frac{\frac{\Delta H_c}{\gamma_n}}{\Delta H - 0,3d} \quad (3f)$$

met:

F_{pip}	[-]	Veiligheidsfactor tegen piping
ΔH_c	[m]	Kritiek verval over de waterkering voor het ontstaan van een pipe
γ_n	[-]	Betrouwbaarheidsindex afhankelijke veiligheidsfactor
ΔH	[m]	Optredend verval over de waterkering (h.r.w.)
d	[m]	Lengte opbarstkanaal (l.r.w.)

4.6 Symbolen- en parameterbeschrijving

Symbol	Beschrijving	Waarde
d	Lengte van de verticale kwelwegt.p.v. het uittredepunt (veelal gelijk aan de deklaagdikte)	[m]
d_{heave}	Dikte van de laag waarover verticaal gerichte waterstroom optreedt, veelal gelijk aan de lengte van het opbarstkanaal.	[m]
D	Dikte van de (zand)laag die de erosiestroom in de pipe voedt	[m]
d_{70}	Korrel diameter van de (zand)laag waarin zich een pipe kan ontwikkelen, waarbij 70 gewichtsprocent van het materiaal kleiner is dan deze diameter	[m]
d_{70m}	Gemiddelde d_{70} waarde kleine schaalproeven	$2,08 \cdot 10^{-4}$ [m]

Symbol	Beschrijving	Waarde
ΔH_{heave}	Optredend verval over verticaal gerichte waterstroom	[m]
ΔH	Optredend verval over de waterkering	[m]
ΔH_c	Kritiek verval over de waterkering voor het ontstaan van een pipe	[m]
h_{optr}	Optredende stijghoogte voorafgaand aan opbarsten bij toets- of ontwerppeil	[m]
h_{crit}	kritieke stijghoogte in watervoerende laag om deklaag te laten opbarsten	[m]
G	Zwaartekrachtsversnelling	9,81 [m/s ²]
K	Specifieke doorlatendheid zandlaag	[m/s]
L	Horizontale kwelweglengte waarover het kritiek verval optreedt	[m]
ν	Kinematische viscositeit bij water van 10 °C	1,33 * 10 ⁻⁶ [m ² / s]
$\gamma_{b,obb}$	Schematiseringsfactor opbarsten	-
$\gamma_{b,pip}$	Schematiseringsfactor piping	-
γ_n	Betrouwbaarheidsindex afhankelijke veiligheidsfactor *)	-
γ_D	Volumegewicht zandkorrels	26 [kN/m ³]
γ'_p	Schijnbaar volumegewicht zandkorrels onder water	[kN/m ³]
γ_w	Volumegewicht water	9,81 [kN/m ³]
η	Sleepfactor (coëfficiënt van White)	0,25 [-]
θ	Rolweerstandhoek	37[°]
κ	Intrinsieke doorlatendheid zandlaag	[m ²]
σ_a	Grondspanning	[kN/m ²]
σ_w	Waterspanning	[kN/m ²]
$i_{c,rep}$	Representatieve waarde van het kritieke verticale uitreeverhang	[-]
P	Kans op voorkomen	[-]
F_{opb}	Veiligheidsfactor tegen opbarsten	[-]
ΔF_{opb}	Vershil in veiligheidsfactor opbarsten tussen scenario en basisschematisatie	[-]
F_{pip}	Veiligheidsfactor tegen piping	[-]
ΔF_{pip}	Vershil in veiligheidsfactor piping tussen scenario en basisschematisatie	[-]

Symbool	Beschrijving	Waarde														
l.r.w.	= laag representatieve waarde															
h.r.w.	= hoog representatieve waarde															
nom.	= nominale waarde															
*)	Veiligheidsfactoren naar normfrequentie van een dijkring:															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="418 589 528 618">Normfrequentie</th> <th data-bbox="528 589 617 618">γ_n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="293 618 368 647">1:250</td> <td data-bbox="539 618 596 647">1,20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="293 647 368 676">1:500</td> <td data-bbox="539 647 596 676">1,20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="293 676 395 705">1:1.250</td> <td data-bbox="539 676 596 705">1,40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="293 705 395 734">1:2.000</td> <td data-bbox="539 705 596 734">1,40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="293 734 395 763">1:4.000</td> <td data-bbox="539 734 596 763">1,40</td> </tr> <tr> <td data-bbox="293 763 408 792">1:10.000</td> <td data-bbox="539 763 596 792">1,50</td> </tr> </tbody> </table>	Normfrequentie	γ_n	1:250	1,20	1:500	1,20	1:1.250	1,40	1:2.000	1,40	1:4.000	1,40	1:10.000	1,50	
Normfrequentie	γ_n															
1:250	1,20															
1:500	1,20															
1:1.250	1,40															
1:2.000	1,40															
1:4.000	1,40															
1:10.000	1,50															
	bron: ORZW, voor locatiespecifieke uitwerking, zie ORZW 10.3.5															

5 Literatuur

Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) 2013. Advies inzake concept-TR Zandmeevoerende wellen. Kenmerk: ENW-13-01.

[ORZW] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, Kenmerk 120213-003-GEO-0002, Maart 2012

[TRGS] Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, Deltares, Kenmerk 1001411-010-GEO-0008, Oktober 2012

[TRZW] Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), maart 1999

[VTV] Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV), Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007

Bijlagen

Bijlage 1 Checklist behorend bij stappenplan

Onderstaande punten vormen een checklist die gebruikt kan worden bij het doorlopen van het stappenplan uit hoofdstuk 2.

STAP 1: Ordenen

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
1.1/1.2 Inventariseren informatie en gegevens		
a. Toetsing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Zandbanenkaarten (zanddiepte en ouderdom)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. (Historische) kaarten / satellietbeelden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Hoogtekaarten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Geologische kaarten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Bodemkaarten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Grondwaterkaarten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. DINO-archief	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i. Geodatabank	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j. Peilenkaarten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k. Meetgegevens waterstanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
l. Waarnemingen beheerder (niet alleen rapportage, ook interview)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
m. Archiefdata waterbeheerder (voor zover niet in toetsing)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
n. Overige, namelijk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STAP 2: Begrijpen

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
2.1 Wijzigingen (toets)kader		
a. Hydraulische belasting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Rekenregel ORZW	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.2 Identificeer aanscherpingsmogelijkheden		
a. Belastingen in toetsing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Hydraulische randvoorwaarden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Invloed tijdsafhankelijkheid	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Schematisatie in toetsing		
1. Geometrie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Bodem- en geohydrologische schematisatie		
- Ligging eventuele zandbanen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Laagopbouw	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Volumegewicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Korrelverdeling pipinggevoelige laag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Doorlatendheden deklaag en zandlagen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Constructieve elementen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Analyse in toetsing		
1. Locatie intredepunt(en) / zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Locatie uittredepunt(en)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Kwelweg		
- Meerdere kwelwegen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Weerstand opbarstkanaal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Meewerkende dikte zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Kwelwegvorm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Constructieve elementen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.3 Gevoeligheidsanalyse		
a. Uittredepunt		
1. Stijghoogte-ontwikkeling voor opbarsten / uittredepunt		
- Intreeweerstand buitenwater / voorland	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Doorlatendheid en dikte watervoerende laag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
- Invloed peilbeheer achterland (spreidingslengte)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Analyse gevoeligheid opbarsten / ontstaan uittredepunt		
- Dikte deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Volumegewicht deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Grondwaterstand / polderpeil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Taludwerking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Kwelweg		
1. Type kwelweg en modelkeuze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Doorlatendheden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Intredepunt > intreeweerstand en spreidingslengten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Meewerkende dikte watervoerend pakket	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Dikte deklaag (opbarstkanaal)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Functioneren constructies (filters, schermen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Binnenwaterstand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Korrelverdeling pipinggevoelige zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4a Vaststelling nut en noodzaak aanvullend onderzoek		
a. Grove raming inspanning aanvullend onderzoek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Grove raming versterkingsmaatregelen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Beslismoment aanvullende dataverzameling	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.4b Uitvoeren aanvullend onderzoek/dataverzameling		
a Opstellen Programma van Eisen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b Contractvorm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c Uitvoering aanvullend onderzoek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d Uitvoering monitoring	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e Archiveren data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STAP 3: Beslissen

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
3.1/3.2/3.3 Kwelweganalyses		
a Uitvoeren analyses	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b Analyses op basis van (aanvullende) dataverzameling > vergelijk Stap 2.3		
1 Uittredepunt		
- Stijghoogte-ontwikkeling voor opbarsten / uittredepunt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Intreeweerstand buitenwater / voorland	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Doorlatendheid en dikte watervoerende laag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Invloed peilbeheer achterland (spreidingslengte)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Analyse gevoeligheid opbarsten / ontstaan uittredepunt		
• Dikte deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Volumegewicht deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Grondwaterstand / polderpeil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Taludwerking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Kwelweg		
- Type kwelweg en modelkeuze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Doorlatendheden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Intredepunt > intreeweerstanden en spreidingslengten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Meewerkende dikte watervoerend pakket	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Dikte deklaag (opbarstkanaal)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Functioneren constructies (filters, schermen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Binnenwaterstand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Korrelverdeling pipinggevoelige zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c Eventueel globale verkenning versterkingsmogelijkheden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.4 Vaststellen aard en omvang versterkingsopgave		
a Rapporteren aard en omvang vraagstuk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Onderdeel

Status

Verwerkt **N.v.t.**

b Benoemen mogelijke oplossingsrichtingen

STAP 4: Doen

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
4.1 Benoemen maatregelen		
a Benoemen en waarderen maatregelen tegen ontstaan uittredepunt		
1 Verlagen stijghoogte door verhogen intreeweerstand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Verlagen stijghoogte door onttrekking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Verlagen stijghoogte door afsluiten watervoerende laag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Verhogen gronddruk door ophoging	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Verhogen gronddruk door vervanging materieel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Alternatieve maatregel.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b Benoemen en waarderen maatregelen tegen ontstaan doorgaande kwelweg		
1 Filterconstructie in uittredepunt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Filterconstructie in zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Scherm in zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Verlenging slecht doorlatende toplaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Verhogen binnendijks peil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Afgraven deklaag, zand op zand dijk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Alternatieve maatregel.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c Beslismoment uit te werken maatregelen		
4.2 Ontwerpen maatregel(en)		
d Analyses> vergl. Stap 3		
1 Uittredepunt		
- Stijghoogte-ontwikkeling voor opbarsten / uittredepunt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Intreeweerstand buitenwater / voorland	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Doorlatendheid en dikte watervoerende laag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Invloed peilbeheer achterland (spreidingslengte)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Onderdeel	Status	
	Verwerkt	N.v.t.
- Analyse gevoeligheid opbarsten / ontstaan uittredepunt		
• Dikte deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Volumegewicht deklaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Grondwaterstand / polderpeil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Taludwerking	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Kwelweg		
- Type kwelweg en modelkeuze	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Doorlatendheden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Intredepunt > intreeweestanden en spreidingslengten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Meewerkende dikte watervoerend pakket	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Dikte deklaag (opbarstkanaal)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Functioneren constructies (filters, schermen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Binnenwaterstand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Korrelverdeling pipinggevoelige zandlaag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Schematiseringsfactor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bijlage 2 Overzicht aanscherpingsmogelijkheden

A. Belastingen

<i>A.1 Hydraulische randvoorwaarden</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Validiteit van de gehanteerde randvoorwaarden	
Actie	Check of de randvoorwaarden overeenkomen met de huidige HR en de beheerstrategie van de waterbeheerder tijdens hoogwater (bv. in het kader van peilbeheer).	
Informatiebron	Actuele hydraulische Randvoorwaarden (HR) als onderdeel van het WTI en waterstaatkundige kaarten van de beheerder.	
<i>A.2 Invloed tijdsafhankelijkheid</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Tijdsafhankelijkheid van met name de buitenwaterstand	ORZW §5.7
Actie	Ga na of tijdsafhankelijkheid een rol speelt in het proces van opbarsten van de deklaag in het achterland en op het optredend verhang over de waterkering.	
Informatiebron	Toetsrapportage, geotechnisch (lab)onderzoek (voor het bepalen van hydrodynamische perioden) en voor verdere uitwerking waterspanningsresponsmetingen.	

B. Schematisatie

<i>B.1 Geometrie</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Representativiteit van de gekozen dwarsdoorsnede(n) – geometrisch	ORZW §4.4 ORZW §9.2 TRGS §2.3
Actie	Inventariseer op basis van geometrische eigenschappen, de mogelijke maatgevende dwarsdoorsnede(n) binnen het dijkvak en leg dit naast de in de toetsing gehanteerde dwarsdoorsnede(n). Mogelijke maatgevende doorsneden zijn te selecteren op basis van fysieke eigenschappen (bv. aanwezigheid voorland, sloten/waterpartijen). Vaak is de bodemdiepte van sloten en waterpartijen een onbekende. De geometrie binnendijks is van belang bij het bepalen van het uittredepunt. De ervaringen en observaties van de beheerder met het dijktraject kunnen hierbij waardevolle informatie bevatten.	
Informatiebron	Hoogtebestand, terreininspectie luchtfoto, beschikbaar geotechnisch onderzoek en uitwerking tot bv. geotechnische lengteprofielen, zandbanenkaarten, beheerdersoordeel.	
<i>B.2 Bodem- en geohydrologische schematisatie</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	<ul style="list-style-type: none"> a) laagopbouw van dijk en ondergrond met name: dikte (tussen)zandlaag en deklaagdikte achterland en eventueel voorland b) Voorkomen en locatie van ondiepe (Holocene) zandbanen c) volumegewicht (droog en nat) met name: volumegewicht van de deklaag in het achterland d) korrelverdeling (tussen)zandlaag met name: wijze van bepaling rekenwaarde en representativiteit voor de toplaag van de (tussen)zandlaag e) doorlatendheden van deklaag en (tussen)zandlaag belangrijk is ook de doorlatendheid van de zandlaag in relatie tot de gelaagdheid van het zandpakket zelf f) configuratie van constructieve elementen in de omgeving van de dijk 	

B. Schematisatie

Actie	<p>a) Ga na op welke wijze de heterogeniteit van de bodem (in laagopbouw en dikte) is vertaald naar een schematisatie. Zijn er delen waar (onvoldoende) inzicht in de opbouw aanwezig is (voorland, waterpartijen e.d.). Inzicht in de bodemopbouw kan worden verkregen op basis van het beschikbare geotechnische onderzoek en geologische kennis van het gebied. Wellicht is de schematisatie (te) conservatief ingestoken of is deze niet representatief voor het gehele dijktraject. Op basis van de heterogeniteit in de bodemopbouw kan het dijktraject in meerdere representatieve dijkvakken, met bijbehorende representatieve dwarsdoorsneden, worden opgedeeld.</p> <p>b) Stel vast welk volumegewicht is gehanteerd voor de deklaag in het achterland en of deze representatief is of mogelijk is onderschat.</p> <p>c) Ga na op welke wijze en op basis van welk onderzoek eventuele korrelverdelingen van de (tussen)zandlaag zijn bepaald. Een erosiepijp zal zich in de toplaag van het zandpakket ontwikkelen. Wellicht is de korrelverdeling niet bekend of is een (te) conservatieve waarde aangenomen.</p> <p>d) Mogelijk zijn conservatieve waarden aangenomen voor de doorlatendheid van de (tussen)zandlaag en de deklaag op het voorland. Vanwege de heterogeniteit in de opbouw van het zandpakket, is het ook mogelijk dat juist onveilige waarden zijn gehanteerd. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn, wanneer men zich bij de bepaling van de doorlatendheid alleen heeft gericht op de, meestal fijner samengestelde, toplaag.</p> <p>e) Constructieve elementen kunnen van invloed zijn op het pipingproces. Denk aan het effect van damwanden, filter- en oeverconstructies op een mogelijke kwelweg.</p>	<p>ORZW §4.4 ORZW §5.3</p> <p>ORZW §5.2</p> <p>ORZW §6.2</p> <p>ORZW §6.2.2.4 ORZW §6.2.4.3</p> <p>ORZW §4.7</p>
Informatiebron	Toetsrapportage, geotechnisch (lab)onderzoek, bodem- en geohydrologische archieven (DINO-databank, geologische kaarten, grondwaterkaarten, etc.).	

C. Analyse

<i>C.1 Bepaling (theoretisch) intredepunt</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Locatie intredepunt / zone	
Actie	<p>Met betrekking tot het intredepunt kan mogelijk aanscherping plaatsvinden op de wijze waarop de locatie van het (theoretisch) intredepunt is bepaald. Het effect van een waterremmende deklaag op een eventueel aanwezig voorland dient te worden onderzocht (relatie met dikte deklaag en doorlatendheid). Hierbij is het ook van belang in hoeverre activiteit op het voorland kunnen worden gereguleerd door middel van een keurzone of anderszins. In de technische beoordeling dient in principe de aanwezige situatie te worden beschouwd. Eventuele beperking van het ontwerp op administratieve grenzen dient in de inventarisatie geen rol te spelen.</p> <p>Ook de mogelijke aanwezigheid van zandbanen en de mogelijke effecten van begroeiing (relatie met NWO-toets) zijn van invloed op de bepaling van het intredepunt.</p>	<p>ORZW §6.2.2.2 ORZW §5.3.2 ORZW §5.6</p> <p>ORZW §8.9</p>
Informatiebron	Toetsrapportage, bodem- en geohydrologische schematisatie, geometrische karakterisering dijkvak.	
<i>C.2 Bepaling uittredepunt</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Locatie uittredepunt (bv. opbarstlocatie)	
Actie	<p>Ga na of het gekozen uittredepunt representatief is. Hier ligt een directe relatie met de deklaagdikte in het achterland, de bepaling van het volumegewicht van de deklaag en de schematisatie van het stijghoogteverloop in de (tussen)zandlaag. Detaillering van het stijghoogteverloop in de (tussen)zandlaag kan plaatsvinden door gebruik van een grondwatermodel (numeriek of analytisch). Het effect van taludwerking bij een eventuele kwelsloot als ook mogelijke ontworteling van bomen (relatie NWO-toets) is eveneens van belang.</p>	<p>ORZW §6.2.1.1 ORZW §5.3.2 ORZW §5.2 ORZW §6.2.3.4 ORZW §8.9</p>
Informatiebron	Toetsrapportage, bodem- en geohydrologische schematisatie, geometrische karakterisering dijkvak.	

C. Analyse

<i>C.3 Beschouwing kwelweg</i>		Kennisbron
Aandachtspunt	Verschillende aandachtspunten: a) (kritieke) kwelweglengte b) weerstand opbarstkanaal c) meewerkende dikte zandlaag d) kwelwegvorm (horizontaal of horizontaal en verticaal) e) grondwaterstromingsgradiënt bij uitstroom	
Actie	a) Beoordeel of de gehanteerde kwelweglengte in de toetsing de enige mogelijk kwel is. b) Ga na of de weerstand in het opbarstkanaal is meegenomen in de analyse. c) Bij relatief dikke zandlagen is het onwaarschijnlijk dat de grondwaterstroming door de gehele laag bijdraagt aan het erosieproces. Als invoerparameter in de rekenregel van Sellmeijer heeft de dikte van de zandlaag effect op de toetsresultaten. Ook geconcentreerde stromingen door bv. grindlagen vormen een aandachtspunt. Een geohydrologische analyse en/of veldmetingen zijn hiertoe wellicht noodzakelijk. d) Of een mogelijke kwelweg zich puur horizontaal instelt of ook verticale componenten kent, bijvoorbeeld door het toepassen van kwelschermen, is van invloed op het te hanteren rekenmodel/rekenregel. Is het juiste piping of heave model toegepast? e) Bij een verticale grondwaterstromingsgradiënt ter plaatse van het uittredepunt in zandige grond kan de veiligheid worden beoordeeld op basis van het heavecriterium.	ORZW §5.3.3 ORZW §5.3 ORZW §4.7 ORZW §5.4.1
Informatiebron	Toetsrapportage, bodem- en geohydrologische schematisatie, geometrische karakterisering dijkvak.	

Bijlage 3 Casussen

Bijlage 3.1 Casus Waaldijk, Hurwenen, rivierengebied, Waterschap Rivierenland

Bijlage 3.2 Casus Zwolsedijk, Hasselt, IJsseldelta, Waterschap Groot-Salland

Bijlage 3.3 Casus Zeedijk, Molenpolder, kustgebied, Waterschap Scheldestromen

