



Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk

WBI 2017

Datum	2 januari 2017
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	contact@helpdeskwater.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	2 januari 2017
Status	Definitief
Versienummer	1.0

Inhoud

Schematiseringshandleidingen en WBI 7

1 Inleiding Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk 11

- 1.1 Uitgangspunten 11
- 1.2 Opbouw 11

2 Stappenschema 13

- 2.1 Eenvoudige toets 14
- 2.2 Gedetailleerde toets 14
- 2.3 Nadere uitwerking van het toetsproces 15
- 2.4 Toets op maat 16
 - 2.4.1 Peilbuismetingen 16
 - 2.4.2 Geavanceerde grondwaterstromingsmodellen 16
 - 2.4.3 Bewezen sterkte 17
 - 2.4.4 Probabilistische piping of heave analyse 17

3 Belastinggevallen en hydraulische belasting 19

- 3.1 Maatgevende belasting 19
- 3.2 Hydraulische Belastingen 19
- 3.3 Maatgevende belasting 19
 - 3.3.1 Tijdsafhankelijkheid 19
 - 3.3.2 Waterstandsverloop tijdens maatgevende belasting 20

4 Inventarisatie beschikbare gegevens 23

- 4.1 Geometrie 23
- 4.2 Ondergrond (grondonderzoek) 23
- 4.3 Overige relevante gegevens 24

5 Vakindeling 25

6 Schematisering 27

- 6.1 Identificatie van mogelijk maatgevende kwelwegen 27
 - 6.1.1 Identificatie mogelijk maatgevende kwelwegen 27
 - 6.1.2 Bodemverdediging meenemen in kwelweg? 29
- 6.2 Opbouw van de ondergrond 30
 - 6.2.1 Bodemopbouw naast het kunstwerk: bouwwijze van invloed 30
 - 6.2.2 Bodemopbouw onder het kunstwerk: fundatiewijze van invloed 31
 - 6.2.3 Van grof naar fijn werken 31
 - 6.2.4 Gebruik model Stochastische ondergrondschematisatie (SOS) 32
 - 6.2.5 Omgaan met onzekerheden in bodemopbouw 32
- 6.3 Bepaal maatgevende kwelwegen 33
- 6.4 Evaluatie waarnemingen 34
- 6.5 Nadere analyse 35

7 Overzicht parameters per model 37

- 7.1 Parameters model van Lane 37
 - 7.1.1 Parameter S01: horizontale kwelweglengte 37
 - 7.1.2 Parameter S02: verticale kwelweglengte 39
 - 7.1.3 Parameter S03: Creep-factor behorend bij model van Lane 42
 - 7.1.4 Parameter S04: buitenwaterstand 45
 - 7.1.5 Parameter S05: binnenwaterstand 45

- 7.2 Parameters heave-model 46
 - 7.2.1 Parameter S01: stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherm 46
 - 7.2.2 Parameter S02: freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt 47
 - 7.2.3 Parameter S03: Lengte benedenstrooms kwelscherm 47
 - 7.2.4 Een hulpmiddel om de heave-toets uit te voeren: de fragmentenmethode 48
- 7.3 Parameters model opbarsten 51
 - 7.3.1 Parameter S01: natte volumegewicht cohesieve deklaag 51
 - 7.3.2 Parameter S02: Volumegewicht water 52
 - 7.3.3 Parameter S03: dikte cohesieve deklaag 52
 - 7.3.4 Parameter S04: stationaire stijghoogte in de zandlaag 53
 - 7.3.5 Parameter S05: freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt 53
- 7.4 Parameters model van Bligh 55
 - 7.4.1 Parameter S01: horizontale kwelweglengte 55
 - 7.4.2 Parameter S02: Creep-factor behorend bij model van Bligh 56
 - 7.4.3 Parameter S04: buitenwaterstand 56
 - 7.4.4 Parameter S05: binnenwaterstand 57
- 7.5 Parameters model van Sellmeijer 57
 - 7.5.1 Parameter S01: Kwelweglengte 57
 - 7.5.2 Parameter S02: D_{70} 57
 - 7.5.3 Parameter S03: Doorlatendheid 58

8 Voorbeeld 59

A Literatuur 63

B Begrippen, afkortingen en parameters 65

C Schema werkwijze beoordeling piping kunstwerk 67

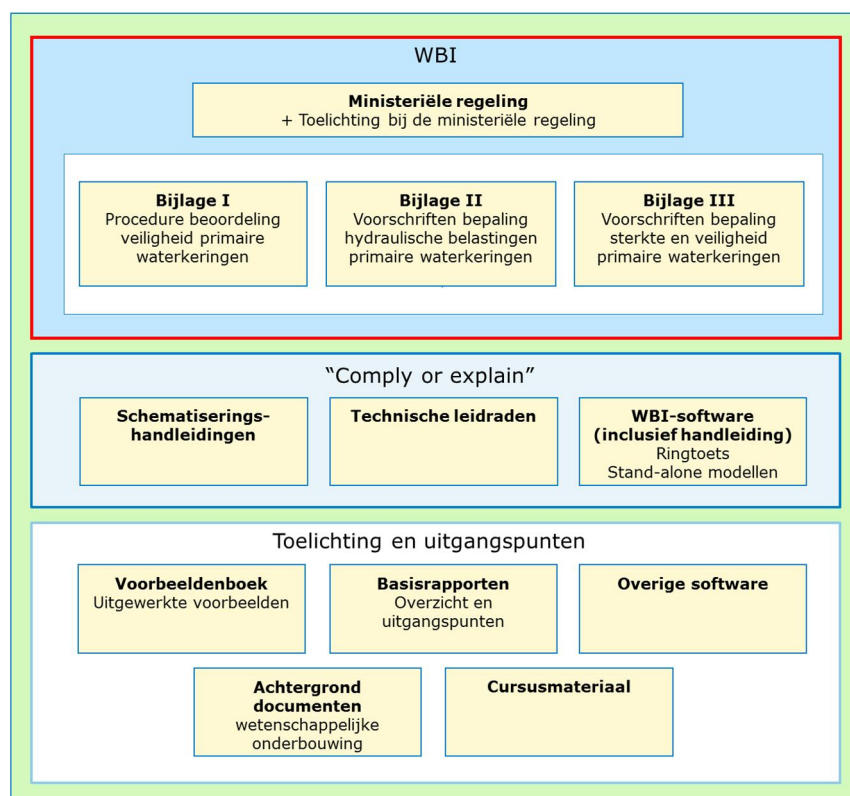
- C.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling 67
- C.2 Schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW) 68
- C.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW) 68

Schematiseringshandleidingen en WBI

Deze schematiseringshandleiding is opgesteld in het kader van het Wettelijk Beoordelings-instrumentarium (hierna: WBI 2017 of WBI). Het WBI voor de beoordelingsronde 2017-2023 bestaat uit de ministeriële regeling en 3 bijlagen. Die drie bijlagen zullen verder worden aangeduid als:

- *WBI 2017 Bijlage I Procedure.*
- *WBI 2017 Bijlage II Hydraulische belastingen.*
- *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid.*

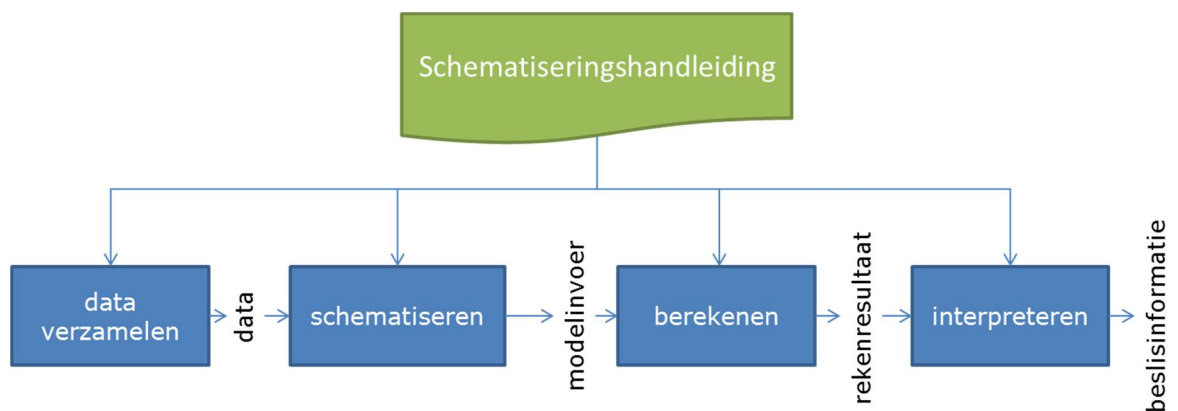
Het WBI bevat de voorschriften voor het uitvoeren van de beoordeling. In deze voorschriften wordt verwezen naar een aantal documenten en applicaties die de beheerder moet gebruiken bij het uitvoeren van de beoordeling, waaronder de schematiseringshandleidingen en de WBI software. Een overzicht van de structuur van het WBI en de daaraan gerelateerde documenten staat in Figuur 1.



Figuur 1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

Doel

Het uitvoeren van een toets (eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of toets op maat) voor het beoordelen van primaire waterkeringen bestaat op hoofdlijnen uit vier activiteiten, zie Figuur 2. In een schematiseringshandleiding wordt, gegeven een rekenmethode of model, de samenhang aangegeven tussen deze vier activiteiten: welke data benodigd is, hoe moet worden geschematiseerd, welke software hiervoor beschikbaar is en in sommige gevallen hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd.



Figuur 2 Activiteiten verbonden met een toets, zie ook bijlage C Schema werkwijze beoordeling piping kunstwerk.

De activiteit schematiseren wordt hier gedefinieerd als het vertalen van de gegevens over de waterkering naar invoer voor de methode (meestal een rekenmodel al dan niet in software) waarmee de toets wordt uitgevoerd. De gegevens kunnen meetgegevens zijn uit het veld of het laboratorium, ontwerp- of revisietekeningen zijn, maar kunnen ook kennis en ervaring betreffen. Bij het schematiseren speelt de beschikbare hoeveelheid gegevens en de kwaliteit ervan een grote rol. Bij weinig gegevens is de schematisering grof of globaal en met een grote onzekerheid. Naarmate er meer en betere gegevens beschikbaar zijn, wordt de schematisering fijner en preciezer.

Het doorlopen van de vier activiteiten is in veel gevallen een iteratief proces. Zeker als ervoor wordt gekozen om te starten met een grove schematisering. In de vierde activiteit wordt bekeken of door het inwinnen van extra gegevens en/of het verfijnen van de schematisering, het resultaat van de derde activiteit kan worden aangescherpt. Het is uiteraard ook mogelijk om meteen te kiezen voor een gedetailleerde schematisering.

De schematiseringshandleiding geeft aanwijzingen voor het type en de benodigde hoeveelheid aan onderzoek om tot een goede schematisering te kunnen komen. Verder ondersteunt de schematiseringshandleiding gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de toets kunnen worden toegepast. De wijze waarop gegevens ingewonnen moeten worden (bijvoorbeeld hoe veldonderzoek of laboratoriumonderzoek uitgevoerd wordt) wordt slechts summier behandeld.

Deze handleiding is specifiek opgesteld voor het beoordelen van primaire waterkeringen en kan daarom niet zomaar worden toegepast voor andere doeleinden (regionale keringen, ontwerp, et cetera). Onderdelen van de schematiseringshandleiding zijn mogelijk wel toepasbaar voor andere doeleinden, maar op punten zal deze handleiding niet van toepassing of onvolledig zijn.

Uitgangspunten

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement WBI [3].
- Deze schematiseringshandleiding ondersteunt gebruikers in het omzetten van (veld)gegevens naar de juiste rekenparameters en goede schematiseringen die in de beoordelingsmethoden kunnen worden toegepast.

- Deze schematiseringshandleiding geeft tevens aanwijzingen voor default waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden als meetgegevens niet aanwezig zijn.

Doelgroep

De schematiseringshandleiding is geschreven voor een deskundig gebruiker die bekend is met de voorschriften en de (deel)faalmechanismes en modellen die van toepassing zijn voor deze schematiseringshandleiding.

1 Inleiding Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk

1.1 Uitgangspunten

Voor deze *Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk* geldt:

- Voor het toetsspoor *piping bij kunstwerk* zijn drie toetsen beschreven in het WBI 2017. Naast de eenvoudige toets en de toets op maat is dit de *gedetailleerde toets* per vak. In de gedetailleerde toets wordt met de rekenregels uit het concept WT12011 gecontroleerd of aan de eisen voor onder- en achterloopsheid wordt voldaan. Een gedetailleerde (semi-) probabilistische toets is voor dit faalmechanisme niet aanwezig.
- Deze schematiseringshandleiding vormt samen met het *Toetsspoorrapport piping bij kunstwerken* [16] één geheel. Daarin wordt bijvoorbeeld ingegaan op de te hanteren rekenmodellen. In dat Toetsspoorrapport staan echter ook de (concepten) van de *eenvoudige* en *gedetailleerde toets* beschreven en een fenomenologische beschrijving van het faalmechanisme. De toetsen zoals beschreven in het *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid* zijn uiteraard leidend en de meest recente versie van de fenomenologische beschrijving van het faalmechanisme is te vinden in *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI* [1].
- Als kennisbasis wordt het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen [10] beschouwd. In deze schematiseringshandleiding wordt dan ook veelvuldig naar dit document verwezen.

1.2 Opbouw

De opbouw van deze handleiding is als volgt:

Onderwerp	Locatie
Stappenschema	Hoofdstuk 2
Belastinggevallen	Hoofdstuk 3
Inventarisatie gegevens	Hoofdstuk 4
Vakindeling	Hoofdstuk 5
Schematisering	Hoofdstuk 6
Parameters	Hoofdstuk 7

Het *stappenschema* in hoofdstuk 2 vormt de basis van de schematiseringshandleiding. Dit stappenschema geeft een overzicht van de te volgen stappen in het proces van schematiseren. Per stap wordt een verwijzing gegeven naar een paragraaf of hoofdstuk van deze schematiseringshandleiding waarin dit verder wordt uitgewerkt. Dit hoofdstuk 2 kan dus als leeswijzer of leidraad voor het toepassen van dit rapport worden gebruikt.

Voorbeelden zijn niet in een apart hoofdstuk opgenomen, maar worden gegeven bij de behandeling van de verschillende parameters (hoofdstuk 7).

Hoofdstuk 5 is voor waterkerende kunstwerken niet van toepassing; ieder kunstwerk wordt (binnen Ringtoets) als apart vak gedefinieerd.

Voor een omschrijving van begrippen wordt verwezen naar de algemene begrippenlijst die is opgenomen als Appendix B van *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

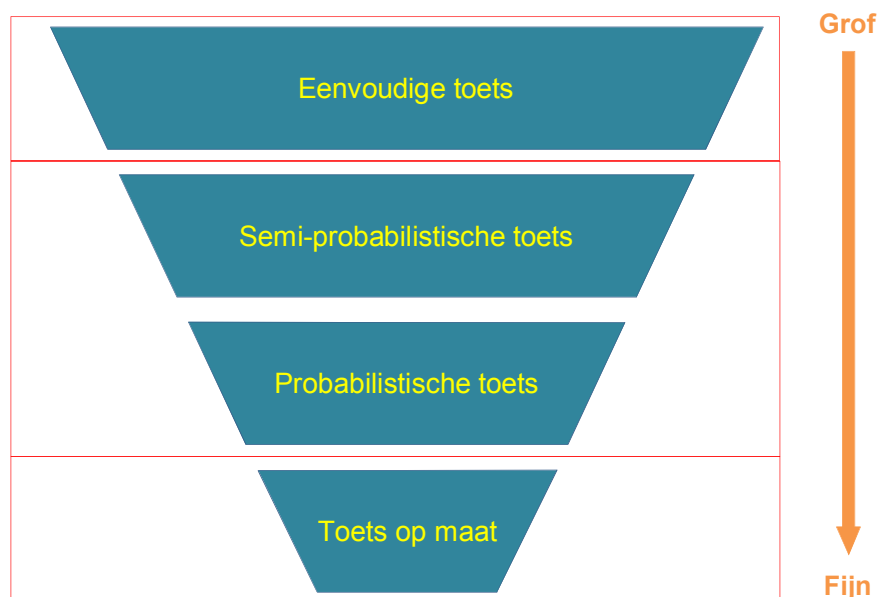
Stappenschema

Dit hoofdstuk geeft een weergave van het stappenplan/proces/stroomschema dat moet worden doorlopen om tot een schematisering te komen. Per stap is een verwijzing opgenomen naar de bijbehorende paragraaf waar uiteen gezet wordt hoe dit geschematiseerd moet worden.

Uitgangspunt voor het toetsproces is dat van grof naar fijn wordt gewerkt. Onzekerheden worden steeds nauwkeuriger meegenomen waardoor een steeds scherper beeld van het overstromingsrisico wordt verkregen (zie figuur 2-1).

De toetsprocedure zoals voorgeschreven in *WBI 2017 Bijlage I Procedure* voorziet bij het verschijnen van het WBI 2017 in drie toetsen:

1. Eenvoudige toets.
2. Gedetailleerde toets (semi-probabilistisch of probabilistisch).
3. Toets op maat.



Figuur 2-1 De diverse toetslagen in de toetsprocedure

Globaal genomen vergt elke volgende toetslaag een grotere inspanning, maar dit is niet altijd het geval. Gegevens voor de ene toetslaag kunnen ook input zijn voor de volgende toetslaag, alleen worden ze dan bijvoorbeeld voor een ander model gebruikt.

Voor de toetsschema's voor de *eenvoudige* en *gedetailleerde toets* wordt verwezen naar hoofdstuk 19 van *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*.

In de volgende paragrafen zijn de eenvoudige toets, de gedetailleerde toets en de toets op maat globaal beschreven.

2.1

Eenvoudige toets

De toetsregels voor de *eenvoudige toets* zijn beschreven in paragraaf 19.1 van *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Voor het gebruik van deze toetsregels is schematiseren niet nodig. In dit hoofdstuk wordt daarom geen aandacht besteed aan schematisering ten behoeve van de eenvoudige toets.

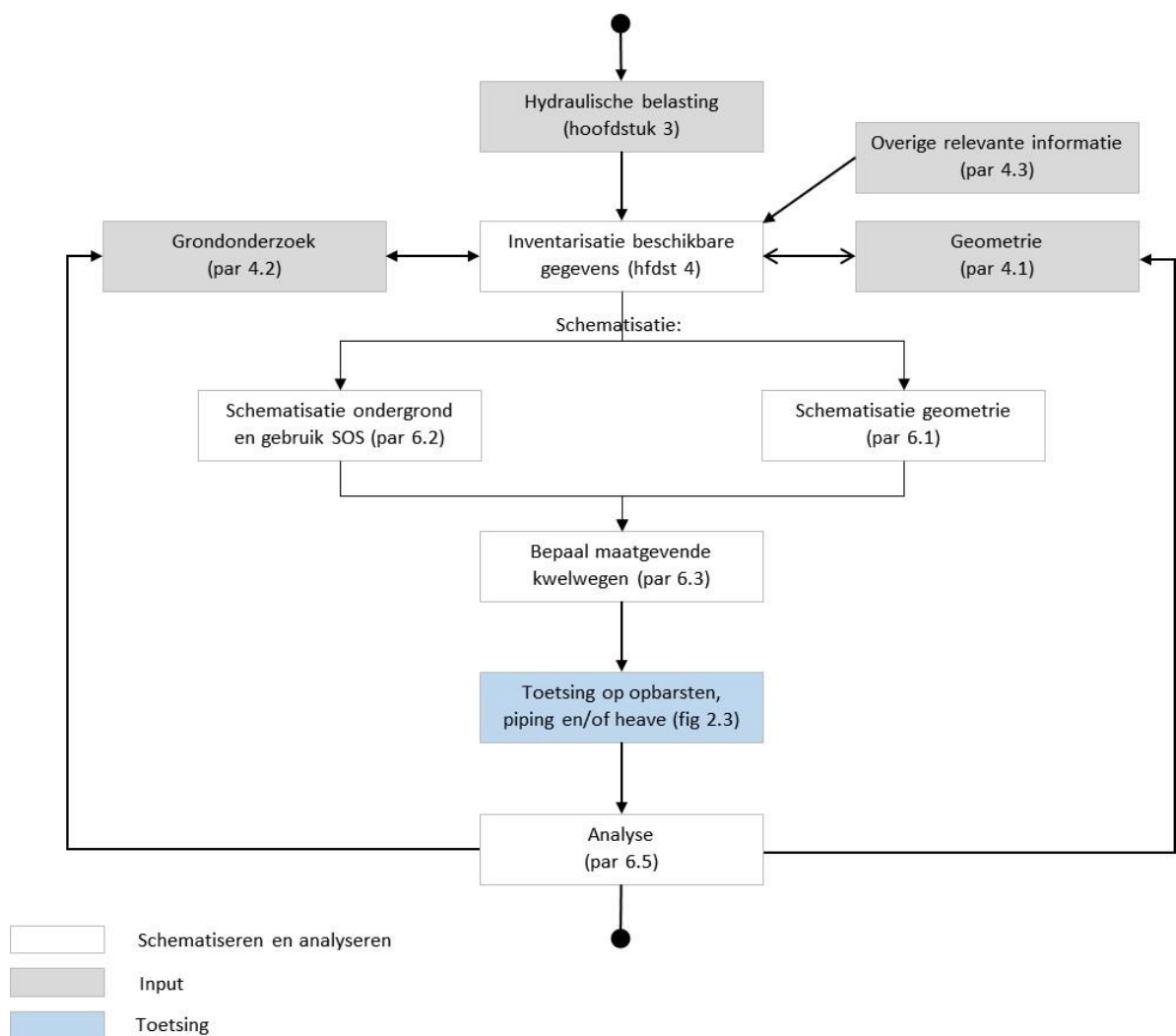
2.2

Gedetailleerde toets

In onderstaand schema zijn de stappen gegeven die in de gedetailleerde toets doorlopen worden bij het schematiseren met betrekking tot het faalmechanisme *onder- en achterloopsheid* bij kunstwerken. Per aspect is een verwijzing opgenomen naar het hoofdstuk in deze handleiding waar verder informatie over dit aspect te vinden is.

De gedetailleerde toets kent een cyclisch verloop:

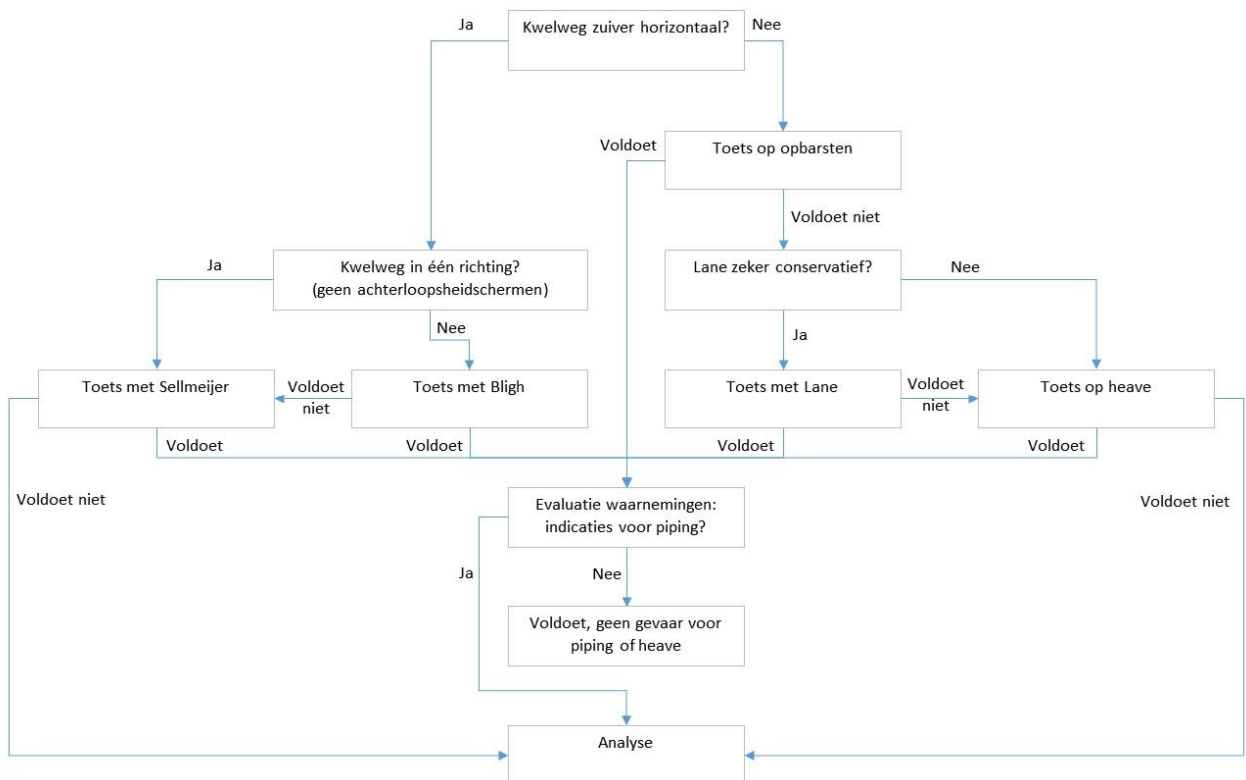
- Er is een wisselwerking tussen de inventarisatie en het uitvoeren van grondonderzoek / verzamelen aanvullende gegevens.
- Na de analyse van de resultaten kan blijken dat het zinvol is om aanvullend grondonderzoek te doen of andere aanvullende gegevens te verzamelen. Daarna kunnen de daaropvolgende stappen opnieuw worden doorlopen.



2.3

Nadere uitwerking van het toetsproces

Het schematiseren van onder- en achterloopsheid bij kunstwerken draait om het identificeren van mogelijk maatgevende kwelwegen onder en/of langs het kunstwerk. Complicerende factor bij de analyse naar mogelijk maatgevende kwelwegen is dat dit driedimensionaal moet gebeuren. De aard van de mogelijke kwelwegen bepaalt vervolgens met welk model getoetst moet worden. Dit wordt in onderstaande figuur nader uitgewerkt. Dit betreft dus het blauwe blok toetsing uit Figuur 2-2.



Figuur 2-3 Uitwerking blok Beoordeling uit stap schema Figuur 2-2

In de gedetailleerde toets worden de volgende stappen doorlopen:

1. Bepaal de mogelijk maatgevende kwelwegen (kwelwegschematisering).
2. Stel vast met welk model de berekening wordt uitgevoerd (voor beschrijving modellen zie [16]).
3. Bepaal de invoerparameters die bij dit model horen:
 - a. Kwelweglengte.
 - b. Ondergrondparameters.
 - c. Modelparameters.
4. Bij uitkomst 'voldoet niet': pas (indien mogelijk) een alternatief model toe.
5. Bepaal de invoerparameters die bij het alternatieve model horen.
6. Bij score 'voldoet': evalueer praktijkwaarnemingen.
7. Bij score 'voldoet niet': analyseer de mogelijke vervolgstappen.

In paragraaf 6.1 wordt ingegaan op al deze stappen, behalve stap 3 en 5. Deze stappen komen in hoofdstuk 7 aan bod.

In Figuur 2-3 is de stap opgenomen 'Lane zeker conservatief'. Voor de criteria of hieraan voldaan wordt, wordt verwezen naar paragraaf 6.5 van het *Toetsspoorrapport piping bij kunstwerken* [16].

2.4

Toets op maat

In de *toets op maat* kan de faalkans voor *onder- en achterloopsheid* verder worden aangescherpt. Voor eenvoudige aanscherpingen geldt dat deze binnen de gedetailleerde toets vallen.

Een *toets op maat* is slechts een van de mogelijke stappen die genomen kan worden na een score 'voldoet niet' in de *gedetailleerde toets*. Soms kan het bijvoorbeeld minder inspanning vergen om een verbetermaatregel te treffen dan om een *toets op maat* uit te voeren om het onderdeel alsnog positief te beoordelen.

Er zijn (onder andere) onderstaande mogelijkheden voor een toets op maat:

- Peilbuismetingen.
- Geavanceerde grondwaterstromingsmodellen.
- Het principe 'bewezen sterkte'.
- Probabilistische piping- of heave-analyse.

Op deze aspecten wordt in onderstaande paragrafen nader ingegaan. Onderstaande teksten zijn deels ontleend aan paragraaf 7.5.3 van [10].

2.4.1

Peilbuismetingen

Juist bij kunstwerken, waar sprake kan zijn van grote onzekerheden in de schematisering, wordt het uitvoeren van peilbuizenonderzoek sterk aanbevolen. Hiermee kan de respons van de stijghoogte in de watervoerende zandlagen op de buitenwaterstand goed in beeld gebracht worden. Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar (bijvoorbeeld [15], [11], [6]). Binnen het WBI 2017 wordt geen methode voorgeschreven; het is aan de toetser om de geschiktheid van de gebruikte methode aan te tonen. De vertaling van peilbuismeting naar maatgevende omstandigheden vereist specifieke aandacht.

Aanbevolen wordt op 3 plaatsen langs het kunstwerk te meten: aan de buitenzijde, kruin en binnenzijde van het kunstwerk. Indien het vermoeden bestaat dat de grondaanvulling of aansluiting aan beide zijden verschillend is en de maatgevende situatie kan niet op voorhand geduid worden dan wordt aanbevolen aan beide zijden van het kunstwerk peilbuizen te plaatsen. Bij veruit het grootste deel van de kunstwerken is sprake van verticale uitstroming. Uit de peilbuismetingen kan dan de stijghoogte ter plaatse van (en hiermee het verhang over) het benedenstroomse kwelscherm onder maatgevende omstandigheden worden afgeleid. Dit verhang kan eenvoudig worden vergeleken met het heave-criterium van 0,5.

Indien sprake is van horizontale uitstroming dan ontbreekt een dergelijk uitstroomcriterium. Aanbevolen wordt in dat geval de hulp van experts in te schakelen.

2.4.2

Geavanceerde grondwaterstromingsmodellen

In sommige gevallen is het zinvol om voor de analyse van piping en heave gebruik te maken van geavanceerde grondwaterstromingsmodellen. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Niet-stationaire grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de duur van hoogwater relatief kort is, zoals bijvoorbeeld in een getijdegebied¹ en een stormgedomineerd gebied (zoals de delta's, het IJsselmeergebied en andere kleinere meren).

¹ De benedenrivieren zijn ook een getijde gebied.

- Driedimensionale of quasi-driedimensionale grondwaterstromingsmodellen voor situaties waarbij de geometrie of laagopbouw niet uniform is in de richting van de waterkering of loodrecht op de waterkering.

Deze modellen kunnen worden gebruikt om een betere inschatting te kunnen maken van de stijghoogte onder maatgevende omstandigheden of om het uittredeverhang te kunnen bepalen. Opgemerkt wordt dat bij een zeer gelaagde bodemopbouw of slechts beperkte gegevens van de bodem deze geavanceerde modellen niet worden aanbevolen.

Voor een beschrijving van de verschillende methodes wordt verwezen naar de achtergronddocumenten en technische rapporten. In de vigerende technische rapporten zijn geen algemene criteria opgenomen met betrekking tot het kritieke horizontale uittredeverhang. Voor de beoordeling van het berekende uittredeverhang is daarom specialistische kennis omtrent het faalmechanisme piping vereist.

2.4.3

Bewezen sterkte

Er zijn kunstwerken waarbij het maatgevende verval bij waterstand bij de norm al eens in het verleden is opgetreden of zelfs is overschreden. Dit kan onder hoogwateromstandigheden zijn geweest (bijvoorbeeld bij kunstwerken langs de oude Zuiderzee) of tijdens onderhouds- of inspectiewerkzaamheden. In dit geval kan een beoordeling op basis van 'bewezen sterkte' zinvol zijn. Voor deze aanpak is het van belang dat omstandigheden in het verleden vergelijkbaar zijn met de huidige maatgevende omstandigheden. In het Technische Rapport Actuele Sterkte van Dijken [12] staat een uitgewerkte methode voor het spoor Macrostabieliteit binnenwaarts voor grondlichamen. Met behulp van specialistische kennis is het soms mogelijk om deze methode toe te passen voor piping bij kunstwerken.

2.4.4

Probabilistische piping of heave analyse

Voor het uitvoeren van een probabilistische analyse worden in de vigerende leidraden en technische rapporten geen aanwijzingen gegeven. Met PC-Ring en Ringtoets² zijn echter wel hulpmiddelen beschikbaar gekomen om een probabilistische toets uit te voeren.

Indien het toetsoordeel gebaseerd is op het model van Bligh of Lane dan kan PC-Ring³ gebruikt worden om een probabilistische beoordeling uit te voeren. Hierbij moet bedacht worden dat de hydraulische belastingen in PC-Ring gebaseerd zijn op de TMR2006. Deze zullen afwijken van de hydraulische belastingen die zijn opgenomen in Ringtoets. De faalkans kan als volgt ingeschat worden:

- Genereer de overschrijdingsfrequentielijn uit Ringtoets ter plaatse van het beschouwde kunstwerk.
- Genereer de overschrijdingsfrequentielijn uit PC-Ring ter plaatse van het beschouwde kunstwerk.
- Bepaal het verschil tussen beide overschrijdingsfrequentielijnen.
- Corrigeer de waterstand in PC-Ring met dit verschil en voer de probabilistische berekening binnen PC-Ring uit.

Indien het toetsoordeel is gebaseerd op het model van Sellmeijer of het heave-model dan kan gebruik worden gemaakt van Ringtoets⁴. In Ringtoets zijn beide modellen namelijk probabilistisch opgenomen in het dijkenpoor. Er moet dan een dijkenom handmatig worden

² Deze is nog niet beschikbaar op 1/1/2017 in de gedetailleerde toets. Mogelijk wel op termijn in een toets op maat.

³ Noot: Beheer en Onderhoud van PC-Ring wordt niet meer ondersteund.

⁴ Dit is pas vanaf 1/1/2019 mogelijk in een probabilistische setting.

aangepast en worden omgeschreven naar een kunstwerkensom. Bij gebruik van het model van Sellmeijer kan eenvoudigweg de invoer uit het kunstwerkenspoor worden overgenomen.

Bij het model van heave is het iets ingewikkelder. Hier moet het verhang over het benedenstroomse kwelscherm worden omgeschreven naar een verhang over de deklaag. Dit kan als volgt gebeuren:

- Neem de dikte van de deklaag gelijk aan de lengte van het benedenstroomse kwelscherm.
- Bepaal middels de fragmentenmethode het verval over het benedenstroomse kwelscherm. Hierbij wordt het verhang berekend over het benedenstroomse kwelscherm. Dit kan aan de hand van de lengte van het benedenstroomse kwelscherm worden teruggerekend naar het verval over het benedenstroomse scherm.
- De 'dempingsfactor' die in Ringtoets moet worden ingevuld kan nu bepaald worden door het berekende verval over het benedenstroomse kwelscherm te delen door het verval over het kunstwerk dat hoort bij de maatgevende buitenwaterstand.

De berekende faalkans kan worden vergeleken met de faalkanseis voor piping voor het betreffende kunstwerk.

3 Belastinggevallen en hydraulische belasting

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de hydraulische belastingen en de belastinggevallen die bij het faalmechanisme *onder- en achterloopsheid* van belang zijn. Naast hydraulische belastingen spelen andere belastingen geen rol bij dit faalmechanisme.

3.1 Maatgevende belasting

Piping kan optreden bij hoge buitenwaterstanden, waarbij het verval over de waterkering langdurig (meer dan 12 uur) groot is. Golven en stroming spelen geen rol in de modellen die worden gebruikt bij de beoordeling op piping.

Het verval wordt bepaald door de maatgevende combinatie van buitenwaterstand en binnenwaterstand. In hoofdstuk 7 worden aanwijzingen gegeven hoe deze maatgevende combinatie te bepalen. Opgemerkt wordt dat alleen een maatgevende belastingcombinatie wordt beschouwd die gerelateerd is aan hoogwateromstandigheden. Mogelijk maatgevende belastingssituaties die samenhangen met beheer en onderhoud van het object vallen buiten het kader van de wettelijke veiligheidsbeoordeling.

3.2 Hydraulische Belastingen

De Hydraulische belastingen (HB) zijn gerelateerd aan de wettelijke veiligheidsnorm met betrekking tot overstroming, zoals die is vastgelegd in de Waterwet. De hydraulische belasting wordt met het toetsinstrumentarium Ringtoets berekend. Een schematisering is niet aan de orde omdat het object de belasting niet beïnvloedt.

Een nadere beschrijving van hoe de hydraulische belastingen te bepalen zijn met Ringtoets is te vinden in *WBI 2017 Bijlage II Hydraulische belastingen*.

3.3 Maatgevende belasting

Piping is een verschijnsel dat kan optreden bij hoge waterstanden van het buitenwater (rivier, meer of zee), waarbij het verval (het verschil tussen buitenwaterstand en binnenwaterstand) zo groot is dat zandtransport als gevolg van terugschrijdende erosie onder of naast het kunstwerk plaats gaat vinden en een open kanaal ontstaat. Als gevolg van terugschrijdende erosie treden zandmeevoerende wellen op.

De hydraulische belastingen zijn:

- Buitenwaterstand. Dit is een lokale waterstand waarbij de overschrijdingskans getalsmatig gelijk is aan de desbetreffende norm. Deze wordt met Ringtoets bepaald
- Waterstandsverlooptijd voor het in rekening brengen van niet-stationaire belasting en daarmee een niet stationaire afgeleide grondwaterstroming (zie bijlage II en de waterstandsverloop tool (zie ook paragraaf 3.3.2)).

De belasting bij controle op opbarsten en heave wordt gevormd door de stijghoogte in het watervoerend zandpakket bij maatgevende buitenwaterstand. Met behulp van geohydrologische rekenmodellen kan deze stijghoogte bepaald worden. Hierbij spelen onzekerheden een belangrijke rol, omdat parameters voor die rekenmodellen moeilijk zijn te schatten. Die onzekerheden kunnen verminderd worden door het afregelen van deze parameters met behulp van waterspanningsmetingen.

3.3.1 Tijdsafhankelijkheid

De duur van de belasting is van invloed op de ontwikkeling van de waterspanningen in de watervoerende en pipinggevoelige lagen onder en achter de dijk of kunstwerk.

- Bij waterstanden van 'lange' duur⁵ is sprake van quasi-stationaire grondwaterstroming.
- Bij waterstanden van 'beperkte' duur, veroorzaakt door snelle stochasten zoals wind (stormopzet), is sprake van niet-stationaire ofwel tijdsafhankelijke grondwaterstroming.

Het is essentieel te realiseren dat de trage stochasten bij de meren, delta's, benedenrivieren en kust veel lagere maximale waterstanden veroorzaken dan de snelle stochasten. Het verschil kan lokaal (bijvoorbeeld het Ketelmeer) oplopen tot meer dan een meter.

Bij niet-stationaire grondwaterstroming zal de waterspanning in de watervoerende bodemlagen onder en achter de dijk bij een gelijke top(buiten)waterstand minder hoog zijn dan bij stationaire grondwaterstroming. Dit is afhankelijk van het bergend vermogen van de bodemlagen (freatische berging in de onverzadigde grondlagen en elastische berging binnen het korrelskelet), de doorlatendheid en dikte van de bodemlagen en de duur van de belasting. Dit betekent dat de kracht op de korrels kleiner is dan bij stationaire grondwaterstroming. In het benedenrivierengebied, de meren, de estuaria en langs de kust treedt onder de maatgevende omstandigheden vrijwel altijd niet-stationaire grondwaterstroming op.

3.3.2

Waterstandsverloop tijdens maatgevende belasting

Bij het beoordelen van waterkeringen die alleen een beperkte tijd worden belast moet gebruik worden gemaakt van de waterstandsverlopen, zoals die worden gepresenteerd in de zogenaamde waterstandsverlooptlijnen. Een waterstandsverloop geeft voor een locatie de tijdsafhankelijke waterstand aan tijdens het passeren van een storm of hoogwatergolf behorende bij de waterstand bij de norm, of soms ook bij een lagere waterstand. De waterstandsverlooptlijnen kunnen met de tool Waterstandsverloop worden bepaald. Hiervoor is een eigen gebruikershandleiding beschikbaar ([2]).

Met deze tool kunnen eenvoudig waterstandsverlopen op een bepaalde locatie in Nederland worden opgevraagd en geëxporteerd.

Het niet stationaire karakter van het hoogwater leidt bij een kortdurend hoogwater tot lagere stijghoogten in het watervoerende pakket dan bij aanname van een stationaire toestand. Het niet stationaire karakter van het hoogwater kan in rekening worden gebracht bij het bepalen van de stijghoogte op een bepaalde plek (uittredepunt) bij hoogwater. Hiervoor zijn in het *TR Waterspanningen bij Dijken* ([13]) aanwijzingen gegeven.

Paragraaf 5.7 van [10] gaat in op de invloed van tijdsafhankelijkheid op piping bij dijken en kunstwerken.

De respons van de buitenwaterstand bij maatgevende omstandigheden kan ook worden benaderd met behulp van peilbuismetingen in doorlatende lagen onder en landwaarts van de dijk. Omdat deze peilbuismetingen bij lagere dan maatgevende buitenwaterstanden gemeten worden moeten de meetresultaten altijd worden geëxtrapoleerd. Voor de analyse van deze metingen en een voorspelling van de respons zijn meerdere methoden voor de gedetailleerde toets beschikbaar. Zie hiervoor *Lambert* ([18]) en het *TR Waterspanningen bij Dijken* ([15]).

In onderstaande tekstbox wordt per belastingsysteem aangegeven of tijdsafhankelijkheid een rol speelt.

⁵ veroorzaakt door trage stochasten afvoeren en meerpeilen zie bijlage II

Bovenrivierengebied

Bij dijken in het bovenrivierengebied is piping een belangrijk aspect, vooral doordat de hoge waterstanden relatief lang aanhouden. In het algemeen treedt één langdurig hoogwater op. Het waterpeil stijgt langzaam tot aan de piekwaarde en bouwt zich dan langzaam weer af. De hele hoogwatergolf kan ongeveer twee tot drie weken duren. Hier speelt tijdsafhankelijkheid voor maatgevende omstandigheden dus nauwelijks een rol, en kan stationair worden gerekend.

Benedenrivierengebied

In het benedenrivierengebied ten westen van Schoonhoven, Gorinchem en Waalwijk zal tijdsafhankelijkheid een belangrijke rol spelen.

Hier wordt de waterstand deels bepaald door de rivierafvoer en deels bepaald door de waterstand op zee, waardoor de invloed van het getij enigszins merkbaar is en bovendien een kort durende waterstandsverhoging door een storm boven zee kan optreden. Dit is het begin van het bergingsgebied van de benedenrivieren waar lagere afvoeren in combinatie met storm aan zee de meest bedreigende situatie opleveren.

IJsselmeergebied, de Zeeuwse wateren

In de meren wordt de waterstand voornamelijk door windopzet bij storm bepaald. Er is dus sprake van een korte belastingduur en dus van tijdsafhankelijkheid. Hiervoor zijn waterstanden bij de norm afgeleid en zijn waterstandsverlooptlijnen beschikbaar. In de westelijke delen van de meren, waar opwaaiing vooral optreedt bij oostelijke windrichtingen, kan het echter ook gebeuren dat de normwaterstanden primair bepaald worden door het meerpeilverloop.

Zee

Aan zee speelt tijdsafhankelijkheid een grote rol. Bij zeedijken wordt tijdens stormcondities de waterstand in het algemeen bepaald door de getijbeweging en de stormopzet. De getijamplitude varieert van springtij tot doodtij. Bovenop het getij moet nog de invloed van de storm opgeteld worden: de stormopzet. Het verloop in de tijd van de stormopzet kan van storm tot storm sterk verschillen. Een korte storm met een opzet gedurende enkele uren zal slechts één hoogwater beïnvloeden en dus één extreme piek in de waterstand tot gevolg hebben. Een storm van enkele dagen zal meerdere pieken veroorzaken, die echter niet allemaal even hoog hoeven te zijn. Er is geen relatie tussen de duur van de opzet en de hoogte van de opzet.

Voor een goede inschatting invloed van de duur wordt aanbevolen peilbuizen te plaatsen.

4 Inventarisatie beschikbare gegevens

De inventarisatie van beschikbare gegevens bestaat in hoofdzaak uit het verzamelen van gegevens omtrent hydraulische belastingen (zie vorige paragraaf), geometrie, ondergrond en overige relevante gegevens. Hierop wordt in onderstaande paragrafen nader ingegaan.

4.1

Geometrie

Zowel voor de bepaling van de maatgevende kwelweg als voor de bepaling van het optredende uittredeverhang (indien een heave-controle wordt gedaan) is informatie nodig over:

- De afmetingen van de constructie.
- De kwelschermen:
 - Aanwezigheid.
 - Locatie.
 - Dimensies.
 - Conditie/toestand.
- De wijze waarop de constructie is gefundeerd (bijvoorbeeld de aanwezigheid van funderingspalen).

De meest aangewezen bron is de constructietekening. Dit kan een ontwerptekening, bestekstekening of (bij voorkeur) revisietekening zijn. Ook in bestekken en ontwerprapporten kan relevante informatie omtrent het kunstwerk worden teruggevonden.

Omgang met gebrek aan gegevens

Als geen tekeningen of ontwerpdocumenten beschikbaar zijn, dan kunnen de afmetingen van de constructie meestal worden opgemeten. Informatie over fundering of kwelschermen, en de aansluiting daarvan op de constructie, is minder eenvoudig te verkrijgen, met name bij historische kunstwerken. In paragraaf 6.3.3 van [10] wordt een aantal hulpmiddelen besproken waarmee meer informatie over de kwelschermen kan worden verkregen. Enkele hiervan kunnen ook gebruikt worden om de fundatiewijze vast te stellen.

In paragraaf 6.3.3 van [10] wordt tevens het STOWA-rapport Historische kunstwerken [5] genoemd. Met behulp van dit rapport kan een inschatting gemaakt worden van aantal en lengte van de kwelschermen. Aanbevolen wordt in de beoordeling enigszins terughoudend om te gaan met dit rapport en de in dit rapport genoemde aantallen en afmetingen van kwelschermen niet klakkeloos over te nemen. Wel kunnen deze gegevens worden gebruikt om tot een hypothese te komen aangaande het aantal kwelschermen en de afmetingen hiervan. Deze hypothese moet dan geverifieerd worden middels aanvullend veldonderzoek om voldoende zekerheid te verkrijgen. Het kan dus niet zo zijn dat het eindoordeel enkel en alleen gebaseerd is op de verwachtingen aangaande aantal en afmetingen van kwelschermen op basis van [5].

4.2

Ondergrond (grondonderzoek)

Doorgaans zijn gegevens omtrent de ondergrond opgenomen in grondonderzoeksrapporten, al dan niet als bijlage bij ontwerprapporten of bestekken. Ook komt het voor dat dit grondonderzoek 'verscholen' zit in grondonderzoek dat voor een heel dijktraject is uitgevoerd. Opgepast moet worden met gebruik van grondgegevens 'uit de nabijheid' van een kunstwerk; bij de beoordeling van kunstwerken zijn doorgaans alleen grondgegevens bruikbaar die echt lokaal zijn ingewonnen (zie ook paragraaf 6.2). Uitzondering hierop is de dikte en doorlatendheid van het watervoerende pakket, hiervoor kan veelal worden teruggevallen op gegevens van de omgeving.

Overige relevante gegevens

Overige relevante gegevens betreffen gegevens over de bodembescherming die is toegepast aan de binnen- en buitenzijde van het kunstwerk. Daarnaast is het van belang te weten of aan de binnenzijde van het kunstwerk filterconstructies zijn toegepast. Ook deze gegevens zijn doorgaans te vinden op tekeningen en ontwerpdocumenten. Indien gegevens omtrent de bodembescherming ontbreken, kan met behulp van onderwaterinspecties vaak een goede indicatie van aansluiting, opbouw en onderhoudstoestand van de bodembescherming worden verkregen.

Voor filters is het vaak lastiger om middels visueel onderzoek opbouw en werking van de filterconstructie aan te tonen. In [10] paragraaf 6.2.7 wordt hierover het volgende gesteld: *Bij filters dient zowel de zanddichtheid als de waterdoorlatendheid te worden gecontroleerd. Als de filterconstructie noodzakelijk is in verband met de veiligheid tegen piping, dan is ten minste iedere vijf jaar inspectie nodig. Inspectie van filters is niet eenvoudig en er is weinig ervaring mee. Om deze reden worden filters dan ook zelden in een ontwerp toegepast. Als in een bestaande situatie filters voorkomen die van belang zijn voor de beoordeling van piping, wordt aangeraden de situatie door een specialist te laten beoordelen.* Concrete handvatten ontbreken dus hoe de filterwerking aan te tonen.

5 Vakindeling

Voor kunstwerken is er, in tegenstelling tot alle toetssporen betreffende dijken en duinen, geen vakindeling. Die is niet van toepassing bij het schematiseren van kunstwerken; ieder kunstwerk wordt (binnen Ringtoets) als apart vak gedefinieerd. Samengestelde kunstwerkcomplexen (bijvoorbeeld sluizencomplexen) worden hierbij ontleed, waarbij ieder kunstwerk waar mogelijk apart getoetst wordt. De samenhang tussen de onderdelen (bijvoorbeeld een gedeeld kwelscherm) dient hierbij niet uit het oog te worden verloren.

Grote samengestelde kunstwerkcomplexen vallen onder een toets op maat.

1. De aanname onafhankelijk falen van vakken/deelkunstwerken kan veel te optimistisch zijn, aanname afhankelijk falen veel te pessimistisch. Een goede onderbouwing en verdiscontering van de mate van afhankelijk falen is daarom nodig.
2. Bij kombergingsfalen kunnen afzonderlijke vakken/deelkunstwerken weliswaar afzonderlijk voldoen aan het kombergingscriterium, maar bij voldoende afhankelijk falen het gecombineerd falen niet omdat dan de shadedrempel wél wordt overschreden.

6 Schematisering

In dit hoofdstuk wordt het proces van schematisering nader beschreven. De benodigde gegevens zijn inmiddels verzameld (zie hoofdstuk 4).

Bij het schematiseren van het faalmechanisme *onder- of achterloopsheid* in het toetsspoor *piping* moeten de volgende stappen worden doorlopen om te komen tot schematiseringen van een of meer mogelijk maatgevende kwelwegen rondom het beschouwde kunstwerk. Deze stappen zijn:

1. identificatie van mogelijk maatgevende kwelwegen.
2. geotechnische en geohydrologische schematisering van de ondergrondopbouw onder en naast het kunstwerk.
3. bepaling van maatgevende kwelwegen.
4. analyse van de uitkomsten.

Een uitgebreide handleiding met betrekking tot schematisering van de parameters die horen bij de modellen die in de beoordeling worden gebruikt is in het hierna volgende hoofdstuk opgenomen.

Algemeen geldt nog dat bij het schematiseren onderstaand principe van toepassing is:

Bij de schematiseringen wordt over het algemeen aanbevolen om in stappen van grof naar fijn te werken. Daarbij geldt dat als bij een stap voldaan wordt aan de eis die aan het beschouwde faalmechanisme wordt gesteld, een volgende verfijnende stap niet nodig is⁶. In de eerste stappen is er sprake van grote onzekerheden welke leiden tot relatief grote faalkansen. In vervolgstappen worden onzekerheden gereduceerd waardoor een scherper beeld van de overstromingskans wordt verkregen. Deze werkwijze leidt ertoe dat in de meeste gevallen de eerste analyses een pessimistischer (conservatiever) beeld geven dan vervolganalyses.

6.1 Identificatie van mogelijk maatgevende kwelwegen

Een goede identificatie van mogelijk maatgevende kwelwegen onder en naast (of een combinatie van beide) het kunstwerk is de basis voor een goede analyse van de kans op het optreden van piping. De mogelijke kwelwegen worden bepaald door het samenspel van geometrie van het kunstwerk (afmetingen kunstwerk, kwelschermen, fundatiewijze) en de aanwezige bodemopbouw. Op de kwelweganalyse wordt in deze paragraaf nader ingegaan, op de bodemopbouw in paragraaf 6.2.

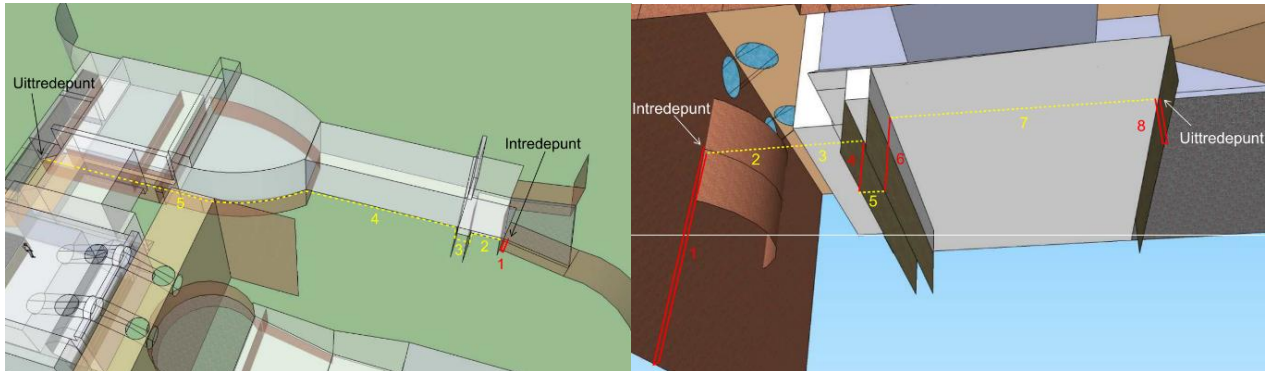
6.1.1 Identificatie mogelijk maatgevende kwelwegen

Paragraaf 6.3.2 van [10] gaat in op de kwelweganalyse bij kunstwerken. Aanvullend hierop worden in deze paragraaf enkele handreikingen gegeven.

De identificatie van mogelijk maatgevende kwelwegen onder en naast (of een combinatie van beide) het kunstwerk begint bij een 3D-visualisatie van het kunstwerk. Bij een eenvoudig kunstwerk kan deze analyse in drie dimensies nog plaatsvinden met 2-dimensionale hulpmiddelen (langs- en dwarsdoorsneden over het kunstwerk). Voor meer complexe kunstwerken (kunstwerken met meerdere kwelschermen en verschillende bodemniveaus) verdient het aanbeveling gebruik te maken van 3D-hulpmiddelen. Dit kan met geavanceerde

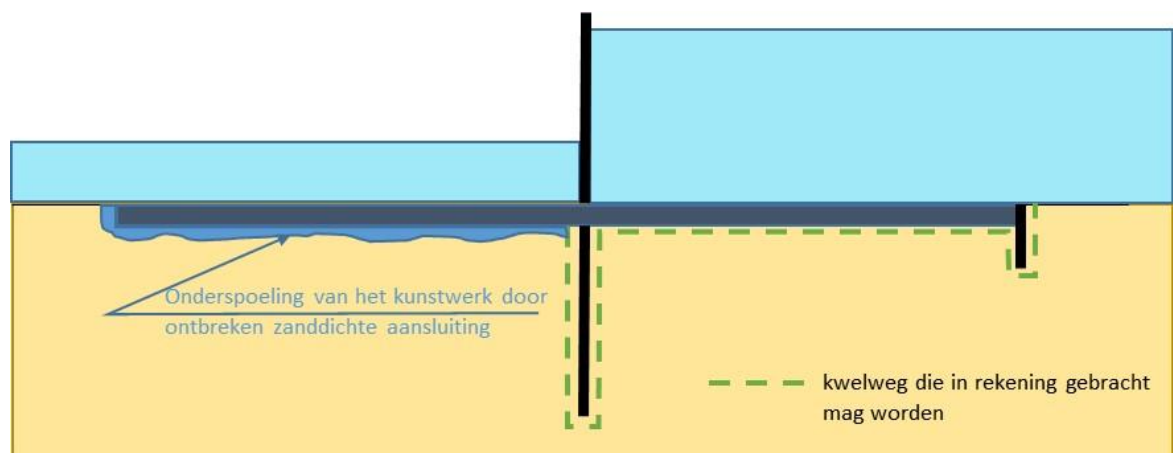
⁶ Er is een uitzondering. Als de waterkering net niet is goedgekeurd kan het zinvol zijn dat de faalkans verdeling wordt herverdeeld in een probabilistische som in een toets op maat.

tekensystemen, maar ook met eenvoudige tekenprogramma's zoals Google SketchUp is het mogelijk om de contouren en kwelschermen van een kunstwerk binnen een afzienbare tijdsbesteding in 3D vast te leggen. Dit kan enorm helpen bij het vinden van de mogelijk maatgevende combinatie van kwelwegen onder en naast het kunstwerk.



Figuur 6-1 Een driedimensionale uitwerking van een complex kunstwerk in Google SketchUp ten behoeve van bepaling maatgevende kwelwegen voor onder- en achterloopsheid (bron: Tauw). De linker figuur laat (gele stippellijn) een mogelijke zuiver horizontale kwelweg zien, de rechter figuur toont een kunstwerk van onderaf met hierin een kwelweg met horizontale (gele stippellijn) en verticale (rode lijn) componenten

Het in rekening brengen van de horizontale kwelweglengte is alleen toegestaan wanneer een goede aansluiting tussen de onderkant van de constructie en de ondergrond gewaarborgd is. Dit komt er in de praktijk op neer dat horizontale kwelwegen onder kunstwerken die op palen staan niet worden meegenomen. Horizontale kwelwegen onder kunstwerken die op staal zijn gefundeerd, worden in principe wel meegenomen, onder voorwaarde dat er aan de benedenstroomse zijde voorzieningen aanwezig zijn om uitspoeling van zand te voorkomen. Dit kan een kwelscherm zijn om onderspoeling tegen te gaan (wordt over het algemeen toegepast voor de opsluiting van starre constructies) of een min of meer flexibele bodembescherming die zand dicht op het kunstwerk is aangesloten (zoals de meeste matconstructies en breuksteen op geotextiel). Indien er alleen bovenstrooms een onderloopsheidscherm aanwezig is, mag de horizontale lengte onder de constructie van het scherm tot aan het uittredepunt niet worden meegenomen als een zanddicht aangesloten bodembescherming ontbreekt.



Figuur 6-2 Voorbeeld van kunstwerk zonder zanddichte aansluiting benedenstrooms

Bij het onderkennen van mogelijk maatgevende kwelwegen moet onderscheid worden gemaakt in zuiver horizontale kwelwegen en kwelwegen met een verticale component. Van beide wordt in principe de maatgevende kwelweg gezocht. Daarbij wordt voor de zuiver horizontale kwelweg het rekenmodel van Sellmeijer of Bligh toegepast en voor de andere kwelwegen de

rekenregel van Lane of heave. Aanbevolen wordt altijd van zowel de zuiver horizontale als de (deels) verticale kwelwegen de maatgevende kwelweg te berekenen.

Tot slot moet men bij het bepalen van de maatgevende kwelweg erop bedacht zijn dat de maatgevende kwelweg soms slechts een deel van een constructie omvat, zoals bijvoorbeeld een sluishoofd (zie Lit.[10] paragraaf 6.3.2).

6.1.2

Bodemverdediging meenemen in kwelweg?

Aan zowel de in- als uitstroomzijde van kunstwerken is nagenoeg altijd een bodemverdediging aanwezig. In de praktijk wordt hier zeer verschillend mee omgegaan bij het schematiseren van kwelwegen. Daarom worden in deze paragraaf enkele richtlijnen gegeven.

Onderscheid kan worden gemaakt in waterdichte of waterdoorlatende bodembescherming en de bodembescherming aan de binnen- of buitenzijde van het kunstwerk. Stampbeton, colloïdaal beton of asfaltmastiek zijn de meest voorkomende waterdichte bodembeschermingen. Bodembeschermingsconstructies die als waterdoorlatend beschouwd worden zijn blokkenmatten, steenasfaltmatten, zetsteen en granulaire filters⁷.

Indien aan de buitenzijde een waterdichte bodembescherming aanwezig is dan kan de lengte van de bodembescherming worden meegenomen als horizontale kwelweg mits de aansluiting met het kunstwerk (vloer, vleugelwanden, ondoorlatend talud) goed is. Hier kan vanuit worden gegaan, tenzij er concrete aanwijzingen zijn die duiden op het tegendeel. Een vloer van stampbeton zal vrijwel altijd zijn opgesloten met een kort kwelscherm om onderspoeling tegen te gaan, zodat doorgaans ook een stukje verticale kwelweglengte kan worden toegevoegd. Een waterdoorlatende bodembescherming aan de buitenzijde wordt uiteraard niet meegenomen in de kwelweglengte.

Een waterdichte bodembescherming aan de binnenzijde van een kunstwerk kan alleen worden meegenomen in de kwelweglengte als opbarsten van deze bodembescherming kan worden uitgesloten. Hiertoe moet de optredende waterdruk onder de bodembescherming berekend worden, waarna moet worden gecontroleerd of opbarsten plaatsvindt. Als er geen opbarsten plaatsvindt dan mag de lengte van de bodembescherming bij de kwelweglengte worden opgeteld. Ook hier moet de aansluiting met het kunstwerk (vloer, vleugelwanden, ondoorlatend talud) uiteraard goed zijn.

De meeste discussie vindt in de praktijk plaats rondom waterdoorlatende bodembeschermingen aan de binnenzijde die tevens zanddicht worden verondersteld. Deze bodembescherming wordt dan verondersteld als filter te fungeren, waardoor piping niet op kan treden. In de praktijk is dit echter discutabel. Het betekent dat er eisen moeten worden gesteld aan zanddichtheid en waterdoorlatendheid van de constructie. Daarnaast dient de filterwerking over ten minste de toetsperiode aantoonbaar te worden gemaakt. Oftewel: kan aannemelijk worden gemaakt dat het filter niet dichtslibt en waterdoorlatend blijft en hierdoor ook daadwerkelijk als filter blijft functioneren? Voor bodembeschermingsconstructies op een geotextiel is dit lastig. Daarom wordt aanbevolen deze bodembeschermingen te beschouwen als dichtgeslibd en hierdoor waterdicht en mee te nemen als horizontale kwelweg. Daarbij moet dan wel geverifieerd zijn dat opbarsten niet optreedt. Hierbij moet wel voldoende aannemelijk zijn dat deze bodembescherming nog geheel intact is en geen gaten bevat en de aansluiting op het kunstwerk goed is. Alleen voor filterconstructies die volledig granulair zijn opgebouwd is het aannemelijk dat de filterwerking gewaarborgd is.

⁷ Noot: Granulaire filters kunnen ook piping tegengaan afhankelijk van hun korreldiameter.

Waterdoorlatende bodembeschermingen die niet zanddicht zijn worden nooit meegenomen bij de bepaling van de kwelweglengte.

6.2

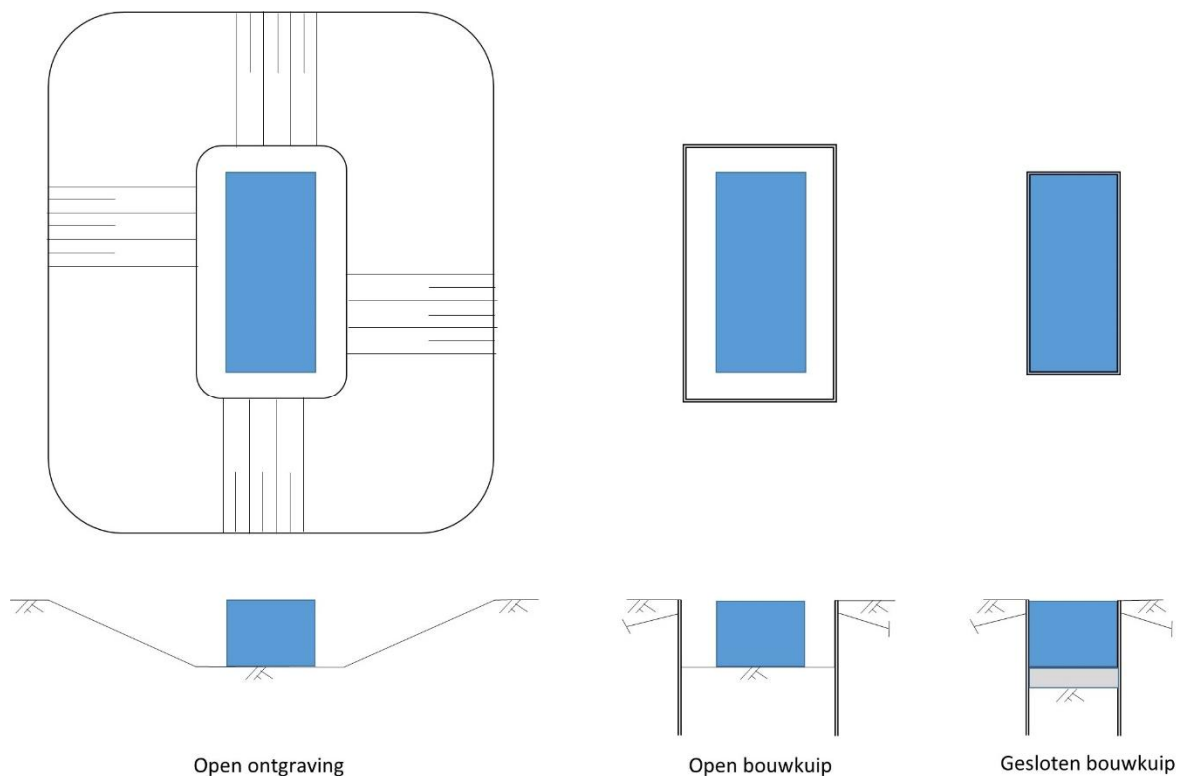
Opbouw van de ondergrond

Het vaststellen van de opbouw van de ondergrond onder en naast het kunstwerk is vaak lastig. Dit komt doordat de bodemopbouw mogelijk sterk kan variëren, afhankelijk van de bouwwijze van het kunstwerk. Alleen met lokaal grondonderzoek direct naast het kunstwerk kan iets zinnigs worden gezegd over de samenstelling van de bodem onder en naast het kunstwerk.

6.2.1

Bodemopbouw naast het kunstwerk: bouwwijze van invloed

De bouwwijze is van invloed op de bodemopbouw onder en naast het kunstwerk. Daarom is de bouwwijze belangrijk om, zeker bij gebrek aan grondgegevens in de directe nabijheid van het kunstwerk, toch een inschatting (best guess) te kunnen doen van de bodemopbouw. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar een bouwwijze waarbij het kunstwerk is gerealiseerd in een open ontgraving, een open bouwkuip of een gesloten bouwkuip. Daarnaast speelt ook de fundatiewijze een rol. Dit wordt onderstaand nader uitgewerkt.



Figuur 6-3 Verschillende aanlegwijzen bij kunstwerken

Een kunstwerk dat is gebouwd in een open ontgraving is tot ruim buiten het kunstwerk aangevuld met geroerde grond. Doorgaans wordt direct naast het kunstwerk een strook van enkele meters vrijgehouden als loop- annex werkruimte, waarna de taluds beginnen richting omringend maaiveld en dijklichaam. Na realisatie van het kunstwerk is deze ruimte weer aangevuld, veelal met grond die is vrijgekomen bij de ontgraving van de bouwkuip. Direct naast het kunstwerk is dus altijd sprake van geroerde grond. Sonderingen langs het kunstwerk laten daarom doorgaans tot de diepte van de open ontgraving ook een sterk wisselend beeld zien, waaruit zelden een eenduidige conclusie te trekken is ten aanzien van doorgaande zand- en kleilagen.

Indien een kunstwerk is gerealiseerd in een open bouwkuip, is de aanvulling met geroerde grond veel beperkter. In de regel wordt een strook van één à twee meter naast het kunstwerk vrijgehouden als loop- annex werkruimte. Het is wel belangrijk dat sonderingen en boringen direct naast het kunstwerk zijn genomen. Anders kan het lijken alsof rondom het kunstwerk een homogeen beeld bestaat van doorgaande zand- en kleilagen, terwijl direct naast het kunstwerk (op de plaats waar vaak een belangrijk deel van de kwelweg doorheen loopt) de grondopbouw over de hoogte van het kunstwerk totaal anders kan zijn.

Bij een gesloten bouwkuip wordt vaak gewerkt zonder loop- annex werkruimte naast het kunstwerk om de kosten van de onderwaterbetonvloer te beperken. De damwand van de bouwkuip fungeert dan als verloren bekisting. Alleen in deze situatie mag verwacht worden dat de bodemopbouw onder de dijk doorloopt tot tegen het kunstwerk aan.

6.2.2

Bodemopbouw onder het kunstwerk: fundatiewijze van invloed

De bodemopbouw direct onder het kunstwerk is van grote invloed op de pipingberekening. Door deze laag loopt immers vaak het grootste deel van de kwelweg. Probleem is dat zelden bekend is wat de exacte samenstelling van de laag direct onder het kunstwerk is. Dit kan zand zijn als het kunstwerk direct op een goed draagkrachtige laag staat. Er kan ook sprake zijn van een beperkte grondverbetering, waarbij direct onder het kunstwerk een slecht draagkrachtige laag is afgegraven en is aangevuld met beter materiaal (zand, grind, puin). Indien een onderwaterbetonvloer is toegepast, is vaak hieronder eerst een grindlaag aangebracht. Alleen bij kunstwerken op palen doet het er niet toe wat de precieze grondslag is onder het kunstwerk, omdat de horizontale kwelweglengte sowieso niet wordt meegenomen. Om de exacte samenstelling van de laag direct onder het kunstwerk te weten te komen is doorgaans bewerkelijk en kostbaar onderzoek noodzakelijk, waardoor dit onderzoek in de praktijk vaak achterwege wordt gelaten. In de eerste analyse kan worden uitgegaan van fijn zand direct onder het kunstwerk. Wanneer uit analyse blijkt dat dit een bepalende parameter is voor het eindoordeel, kan in een vervolgstap nadere informatie worden ingewonnen.

6.2.3

Van grof naar fijn werken

Onzekerheden in bodemopbouw kunnen groot zijn. Omdat het bovendien lastig is de bodemopbouw onder en langs het kunstwerk gedetailleerd in beeld te brengen, wordt in de eerste analyse uitgegaan van zand direct onder het kunstwerk en een kleidijk aansluitend aan het kunstwerk waarvan de onderzijde dezelfde diepte heeft als de onderzijde van het kunstwerk. Dit is de meest ongunstige schematisering als het gaat om het onderkennen van de mogelijk maatgevende kwelwegen voor onder- en achterloopsheid. Een ondergrens voor de grofheid is om uit te gaan van fijn zand, voor de dikte en doorlatendheid van het zandpakket kan worden aangesloten bij de waarden die in het dijkenstroomprofiel worden gehanteerd voor het betreffende dijkvak. Bij een score 'voldoet' is de beoordeling hiermee klaar, in andere gevallen moeten grondgegevens verzameld worden.

Indien grondgegevens direct naast het kunstwerk beschikbaar zijn, kan worden geprobeerd hiermee een dekkend beeld te verkrijgen van de grondopbouw naast het kunstwerk. In de meeste gevallen ontbreken gegevens van de grondopbouw onder het kunstwerk, conservatief kan worden uitgegaan van fijn zand direct onder het kunstwerk. Vanaf circa 1 meter onder het kunstwerk kan doorgaans worden aangesloten bij de bodemopbouw die is aangetroffen in naastgelegen sonderingen. Aan de hand van de geschematiseerde bodemopbouw zal opnieuw de analyse gedaan moeten worden van mogelijk maatgevende kwelwegen.

Als er geen grondgegevens direct naast het kunstwerk beschikbaar zijn dan moeten deze worden ingewonnen middels nader grondonderzoek. Omdat de strekkingslengte bij

kunstwerken relatief kort is, speelt ruimtelijke variabiliteit in de lengterichting van de waterkering niet of nauwelijks. Het zoeken naar mogelijke 'ongunstigste' dwarsdoorsneden ten aanzien van de ondergrondopbouw speelt bij kunstwerken dus geen rol, in tegenstelling tot de ondergrondschematisatie bij dijken. Inwinnen van gedetailleerde informatie over de opbouw van de ondergrond bij kunstwerken heeft dus veel meer het karakter van lokaal grondonderzoek.

Inwinnen nadere grondgegevens

Als eerste benadering kan worden uitgegaan van ten minste drie sonderingen aan beide zijden van het kunstwerk: ter plaatse van kruin, buiten- en binnenteen. Voor de tussenafstand tussen de sonderingen wordt aanbevolen deze niet groter dan 25 à 50 meter te laten zijn. Voor de diepte van de sonderingen wordt aanbevolen enkele meters dieper dan het diepste kwelscherm aan te houden en ten minste 3 meter in de watervoerende zandlaag.

Op basis van de sonderingen kunnen de verschillende zandlagen worden onderscheiden. Voor de diepe zandlagen kunnen de parameters worden overgenomen uit de Stochastische Ondergrond Schematisatie (de SOS, zie volgende paragraaf). Daar waar de SOS geen uitsluitsel geeft, wordt geadviseerd van iedere zandlaag die van belang is tenminste drie zevingen te doen om de grofheid van het zand vast te stellen. De monsters dienen aan de bovenzijde van de betreffende zandlaag genomen te worden. Geadviseerd wordt de hiervoor benodigde boringen direct te gebruiken om peilbuizen te plaatsen. Eventueel kunnen de boringen in mindering worden gebracht op het aantal sonderingen.

6.2.4

Gebruik model Stochastische ondergrondschematisatie (SOS)

Voor heel Nederland is een globale Stochastische Ondergrondschematisatie (SOS) opgesteld met daarbij scenariokansen. Met deze globale Stochastische Ondergrondschematisatie wordt de onzekerheid over de opbouw van de ondergrond in rekening gebracht. In het dijkenstroom wordt dit SOS gebruikt bij het toetsspoor *piping bij kunstwerk*. In [4] wordt in detail beschreven hoe de SOS is opgezet en waaruit de SOS bestaat.

Voor het toetsspoor *piping bij kunstwerken* wordt de SOS gebruikt waar mogelijk. Voor diepere grondlagen (beneden niveau fundatie kunstwerk) kan de SOS gebruikt worden om de karakteristieke (5% of 95%) waarde van de dikte, doorlatendheid en d_{70} van het watervoerende pakket in te schatten. Voor gebruik van deze waarden in het model van Sellmeijer wordt verwezen naar de *Schematiseringshandleiding piping*. Ten behoeve van de berekening met de modellen van Bligh en Lane kan de d_{70} worden ongerekend naar de d_{50} met de volgende formule: $d_{50} = d_{70}/1,35$ (Lit. [10] paragraaf 9.5.2.1). Tevens kan de SOS gebruikt worden om scenario's omtrent de ligging van cohesieve lagen tot aan het maaiveld te bepalen, althans voor zover de grond rondom het kunstwerk niet geroerd is.

Voor de grondlagen boven het fundatieniveau van het kunstwerk is de SOS naar verwachting niet goed toepasbaar. Bij kunstwerken is juist de zeer lokaal aanwezige bodemopbouw van belang omdat vaak sprake is van geroerde grond onder en naast het kunstwerk. Dit matcht niet met de opzet en doel van de SOS. Het toetsspoor *piping bij kunstwerk* kan daarom niet anders dan met lokale ondergrondinformatie uitgevoerd worden.

6.2.5

Omgaan met onzekerheden in bodemopbouw

Indien de beoordeling met een eerste ondergrondschematisatie (zie paragraaf 6.2.3) geen score 'voldoet' oplevert dan moet informatie omtrent de ondergrond geïnterpreteerd en toegepast worden. De informatie kan afkomstig zijn uit lokale grondonderzoeken en uit de SOS (zie vorige paragraaf). Deze informatie leidt zelden tot een eenduidig beeld van de

bodemopbouw rondom het kunstwerk. Dit betekent dat meerdere scenario's aangaande de bodemopbouw rondom het kunstwerk mogelijk zijn.

Ieder scenario aangaande de bodemopbouw heeft zijn eigen kans van voorkomen en brengt zijn eigen veiligheid tegen piping met zich mee. De kans op een scenario dient door de toetsers ingeschat te worden op basis van de beschikbare informatie. De onzekerheid omtrent welk scenario in werkelijkheid aanwezig is kan worden afgedekt door de toepassing van een schematiseringsfactor indien het model van Sellmeijer wordt toegepast. Voor de afleiding van deze schematiseringsfactor wordt verwezen naar paragraaf 3.4 van [13].

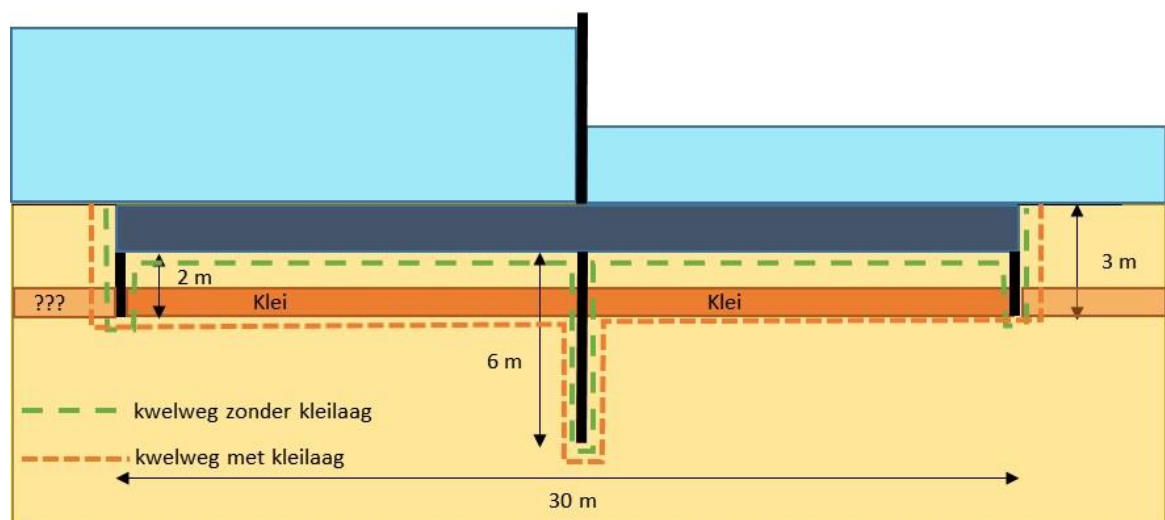
Een dergelijke schematiseringsanalyse is nog niet uitgewerkt voor de modellen van Bligh en Lane. Het is aan de toetsers om aan te tonen dat ongunstige schematiseringen, die leiden tot een toetsoordeel 'voldoet niet', een zodanig kleine kans van voorkomen hebben dat deze slechts weinig bijdragen aan de faalkans. De schematiseringstheorie uit [13] kan als voorbeeld dienen bij het beredeneren van de keuze van de schematisering voor een analyse met de modellen van Bligh en Lane. Voor een uitgewerkt voorbeeld van de toepassing ervan wordt verwezen naar paragraaf 12.3.7 van [10].

6.3

Bepaal maatgevende kwelwegen

De mogelijke kwelwegen worden bepaald door het samenspel van geometrie van het kunstwerk (afmetingen kunstwerk, kwelschermen, fundatiewijze) en de aanwezige bodemopbouw. Op basis van geometrie zijn de mogelijke kwelwegen geïnventariseerd (paragraaf 6.1). Aan deze analyse moet de informatie omtrent de ondergrond worden toegevoegd. Indien bijvoorbeeld de aansluitende dijk bestaat uit klei tot tenminste het fundatieniveau van het kunstwerk, dan kunnen kwelwegen die door dit dijklichaam lopen worden uitgesloten. Daarnaast kan het zo zijn dat een afsluitende kleilaag aan de binnenzijde van een kunstwerk voorkomt; in dat geval kan mogelijk opbarsten van deze laag worden uitgesloten en hiermee het optreden van piping langs deze kwelweg.

Ook kan het voorkomen dat door de aanwezigheid van ondoorlatende lagen onder het kunstwerk kwelwegen mogelijk worden kortgesloten. Figuur 6-4 geeft hier een voorbeeld van.



Figuur 6-4 Voorbeeld hoe grondopbouw van invloed is op lengte kwelweg

In dit voorbeeld is sprake van een kleilaag op beperkte diepte onder het kunstwerk. Zowel aan intreezijde als aan uittreezijde is niet bekend of deze kleilaag ook daar aanwezig is. Zo ja, dan zal het kunstwerk niet gevoelig zijn voor piping, immers de kwelschermen lopen door tot in deze laag en er is dus geen intreepunt. Echter, zolang dit niet kan worden uitgesloten, wordt aanbevolen uit te gaan van een pipinggevoelige situatie. De gewogen kwelweglengte in dit voorbeeld bedraagt dan $3+30/3+2 \times 4+3 = 24$ m (oranje stippellijn), tegenover een gewogen kwelweg van $3+2+30/10+2 \times 6+2+3=32$ m (groene stippellijn) als de kleilaag er niet zou zitten.

Overigens hoeft een dergelijke kleilaag niet per se ongunstig te werken; indien het kunstwerk op palen zou zijn gefundeerd dan mag de horizontale kwelweg wel worden meegenomen. Dit in tegenstelling tot wanneer de gehele ondergrond uit zand zou bestaan. De gewogen kwelweglengte met kleilaag is dan nog steeds 24 m, terwijl in de situatie zonder kleilaag de gewogen kwelweglengte $3+2+2 \times 6+2+3 = 22$ m bedraagt. In dit geval moet echter wel met zekerheid worden vastgesteld dat de ondoorlatende laag over de hele lengte van het kunstwerk doorloopt. Zolang dit niet het geval is, moet de maatgevende situatie worden berekend. Levert dit een score 'voldoet niet', dan kan middels nader grondonderzoek bepaald worden of deze conservatieve aanname terecht is geweest (zie ook paragraaf 6.5).

6.4

Evaluatie waarnemingen

In paragraaf 6.3.6 van [10] wordt ingegaan op de evaluatie van waarnemingen. Waarnemingen kunnen waardevolle aanvullende informatie geven ten behoeve van het schematiseren. In alle gevallen wordt evaluatie van eventueel beschikbare waarnemingen dan ook aanbevolen. Het verdient de voorkeur waarnemingen al in beschouwing te nemen voordat met eventueel grondonderzoek wordt begonnen omdat geconstateerde wellen kunnen duiden op lokaal extra pipinggevoelige omstandigheden. Bij het grondonderzoek kan hier rekening mee worden gehouden, bijvoorbeeld door extra te investeren in onderzoek naar de grondgesteldheid direct onder het kunstwerk als blijkt dat hier de maatgevende kwelweg doorheen gaat.

Waarnemingen kunnen in twee categorieën worden onderverdeeld:

1. Waarnemingen tijdens bijzondere situaties.
2. Waarnemingen tijdens hoogwater.

Tijdens bijzondere situaties – denk hierbij aan de aanleg, inspectie en groot onderhoud – kunnen voor piping (bijna) maatgevende omstandigheden ontstaan. Denk hierbij aan verlaging van het binnenpeil ten behoeve van aanleg of inspectie van een bodembescherming bijvoorbeeld. Waarnemingen tijdens dit soort omstandigheden kunnen bijzonder waardevol zijn en geven een zeer goede indicatie van de beschikbare weerstand tegen piping. Het verdient dan ook aanbeveling deze waarnemingen goed te documenteren en nadrukkelijk in de beoordeling te betrekken.

Indien uitspoeling van zand wordt geconstateerd hoeft er overigens niet per definitie sprake te zijn van een pipinggevoelige situatie; het kan bijvoorbeeld ook gaan om beperkte uitspoeling onder de vloer van het kunstwerk tot aan een verder bovenstrooms gelegen kwelscherm. Als geen verklaring kan worden gevonden, dan wordt aangeraden om lokaal nader onderzoek uit te laten voeren.

Indien de rekenkundige toets een positief resultaat oplevert en er geen waarnemingen zijn gedaan die duiden op pipinggevoeligheid van het kunstwerk dan kan de score 'voldoet' worden toegekend.

Nadere analyse

Als een eerste gedetailleerde analyse geen toetsresultaat 'voldoet' oplevert dan moet worden geanalyseerd wat hiervan de oorzaak is. Een mogelijke conclusie kan dan zijn dat door het verzamelen van meer informatie omtrent geometrie (meestal kwelschermen) of ondergrond mogelijk een ander oordeel wordt gegeven. Paragrafen 6.3.3 en 6.3.4 van [10] gaan uitgebreid in op methoden om aanvullende informatie aangaande grondopbouw en kwelschermen te verzamelen. Met de nieuw verzamelde informatie kan vervolgens de toets opnieuw doorlopen worden.

Indien peilbuizen worden geplaatst om de werking van de kwelschermen vast te stellen is het verstandig om permanente peilbuizen te plaatsen die periodiek gemeten worden. Zodoende kunnen veranderingen in de tijd opgemerkt worden. Indien in de tijd een verandering wordt geconstateerd in de respons van de peilbuizen moet een vervolgonderzoek gestart worden om na te gaan wat er aan de hand is.

Het kan voorkomen dat waarnemingen in bijzondere situaties (zie bovenstaande paragraaf 6.4) duiden op voldoende weerstand tegen piping, terwijl de rekenkundige toets een score 'voldoet (ruim) niet' oplevert. In dat geval wordt aanbevolen de praktijkwaarnemingen, mits vertaald naar maatgevende condities en mits voldoende betrouwbaar en goed gedocumenteerd, te laten prevaleren boven het technische oordeel.

Uiteindelijk kan ook worden geconcludeerd dat een meer geavanceerde beoordeling in de toets op maat noodzakelijk is. Een meer geavanceerde beoordeling kan bij kunstwerken zinvol zijn indien de geometrie sterk afwijkt van de geïdealiseerde situatie die in de modellen wordt verondersteld. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij sterk driedimensionale situaties. Ook als het spreadsheetprogramma voor heave (zie paragraaf 7.2.4) niet meer voldoende ingangen biedt om het kunstwerk te toetsen kan een meer geavanceerde beoordeling zinvol zijn. Een geavanceerde toets zal dikwijls op een analyse van het uittredeverhang zijn gebaseerd. Dit uittredeverhang kan in een geavanceerde toets middels peilbuismetingen en/of 3-D grondwaterstromingsberekeningen bepaald worden.

7 Overzicht parameters per model

Dit hoofdstuk geeft aanwijzingen voor de waardebepaling van de relevante parameters. Per parameter wordt aangegeven wat de parameter precies inhoudt; hoe de waarde kan worden bepaald, wat aandachtspunten zijn et cetera. Daarnaast wordt een voorbeeld gegeven.

Voor het WBI 2017 is voor de beoordeling van piping bij kunstwerken geen probabilistische toets ontwikkeld. Zaken die in een probabilistisch model een rol spelen zoals wel/geen stochast, verdeling continue/discreet, type verdeling en basiswaarden voor verwachtingswaarde/standaardafwijking of variatiecoëfficiënt en correlatielengte spelen dus geen rol bij de bepaling van de benodigde parameters. Uiteraard dient wel de reguliere onzekerheid in de schematisering van de parameters verdisconteerd te worden.

7.1 Parameters model van Lane

Het model van Lane kent de volgende parameters, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Horizontale kwelweglengte.
- Verticale kwelweglengte.
- Creep-factor behorend bij model van Lane.
- Buitenwaterstand.
- Binnenwaterstand.

7.1.1 *Parameter S01: horizontale kwelweglengte*

Wat is het?

Lengte [m]

De weerstand tegen piping is, naast de eigenschappen van de zandlaag, afhankelijk van de kwelweglengte. Dit is de afstand tussen het intreepunt en het uittreepunt van de kwelstroming door de zandlagen onder en naast het kunstwerk. Deze afstand tussen intreepunt en uittreepunt wordt overbrugd door een samenspel van horizontale en verticale kwelwegdelen, welke volgen uit een 3D-analyse (zie paragraaf 6.1). De horizontale kwelweglengte is de som van alle delen van de kwelweg die onder een hoek van 45° of kleiner met de horizontaal lopen.

Hoe te bepalen

Bij kunstwerken liggen in- en uittreepunt vaak vrij vast ten opzichte van de situatie bij dijken. Zo zal het intreepunt doorgaans gelegen zijn op de bodem of in het talud van de buitendijkse watergang en het uittreepunt op de bodem of in het talud van de binnendijkse watergang. De wijze waarop de afstand tussen in- en uittreepunt wordt overbrugd kan vaak op meerdere manieren gebeuren. Een driedimensionale kwelweganalyse moet dit uitwijzen (zie paragraaf 6.1). Hierin zijn sowieso horizontale kwelwegdelen aanwezig en meestal ook verticale.

Het in rekening brengen van de horizontale kwelweglengte kan alleen wanneer een goede aansluiting tussen de onderkant van de constructie en de ondergrond aanwezig is. Dit zal bij op staal gefundeerde en opgebouwde kunstwerken in het algemeen het geval zijn, alsmede bij kwelwegen onder een cohesieve laag naast het kunstwerk. Bij op palen gefundeerde kunstwerken moet altijd rekening gehouden worden met zettingen van de ondergrond, waardoor ruimte kan ontstaan tussen constructie en grond. Daarom moet in dat geval de horizontale kwelweglengte op nul worden gesteld. Bij constructies op trekpalen kan ook niet op een goede aansluiting gerekend worden; ook daarbij moet de horizontale kwelweg op nul

gesteld worden. Bij op zand afgezonken constructies, bijvoorbeeld tunnelementen die onder de waterkering door gaan mag ook niet gerekend worden op (overal) een goede aansluiting. Ook hierbij wordt in eerste instantie de horizontale kwelweg niet meegerekend ([10] paragraaf 5.3.4).

Een waterdichte vloer bovenstrooms of een zanddichte vloer benedenstrooms van het kunstwerk kan in sommige gevallen een verlenging van de horizontale kwelweg in relatie tot onderloopsheid betekenen. Een goede aansluiting is dan een vereiste. Hier is in paragraaf 6.1 nader op ingegaan.

In het model van Lane wordt de horizontale kwelweglengte met een factor 1/3 vermenigvuldigd bij de bepaling van de totale kwelweglengte. Uiteindelijk worden de maatgevende kwelwegen voor twee situaties bepaald en berekend:

- Θ_{-1} Maatgevende kwelweg die (ook) verticale kwelwegdelen bevat.
- Θ_{-2} Maatgevende kwelweg die alleen horizontale kwelwegdelen bevat.

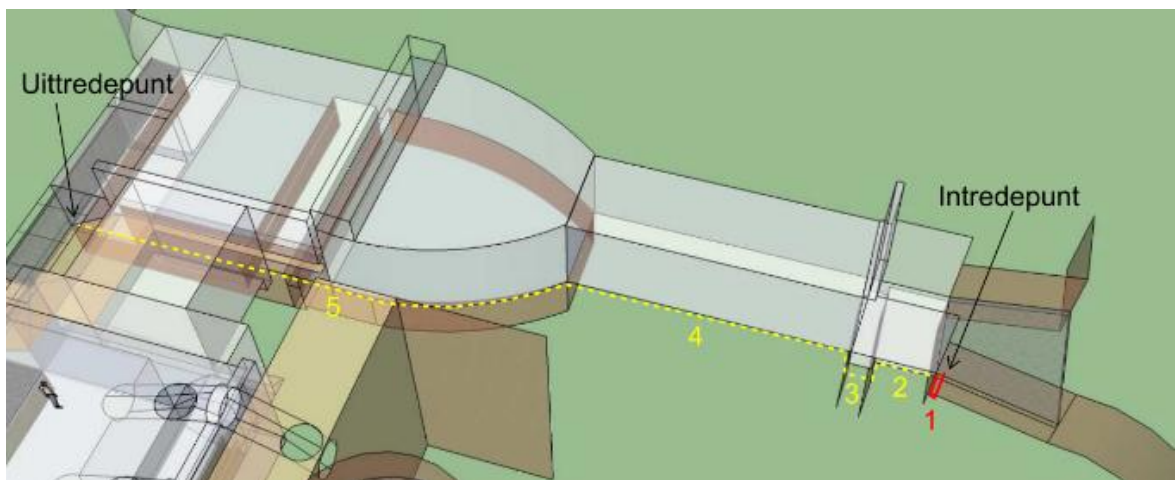
Het kritieke verval behorend bij de maatgevende kwelweg die (ook) verticale kwelwegdelen bevat wordt vervolgens berekend met het model van Lane.

Aandachtspunten

Tussen schermen of constructieonderdelen kan een kortgesloten kwelweg ontstaan, een zogeheten 'short path' (zie de kwelweg aangeduid met 3 in Figuur 7-1). Regels hoe hiermee om te gaan ontbreken echter. Daarom wordt voorgesteld, bij gebrek aan gevalideerde rekenregels, uit gaan van het volgende (geïnspireerd op de werkwijze bij onderloopsheid volgens Lane, zie ook paragraaf 7.1.2). Als de kortste afstand tussen de buitenzijde van twee kwelschermen kleiner is dan de helft van de kwelweglengte tussen beide punten, moet ervan uit worden gegaan dat stroming door de grond maatgevend wordt in plaats van de kwelweg langs de kwelschermen. Voor de bepaling van de gewogen kwelweglengte moet dan de kortste weg tussen beide kwelschermen worden genomen. In tegenstelling tot een 'short path' bij verticale kwelwegen mag de creepfactor $C_{w,creep}$ niet worden gereduceerd.

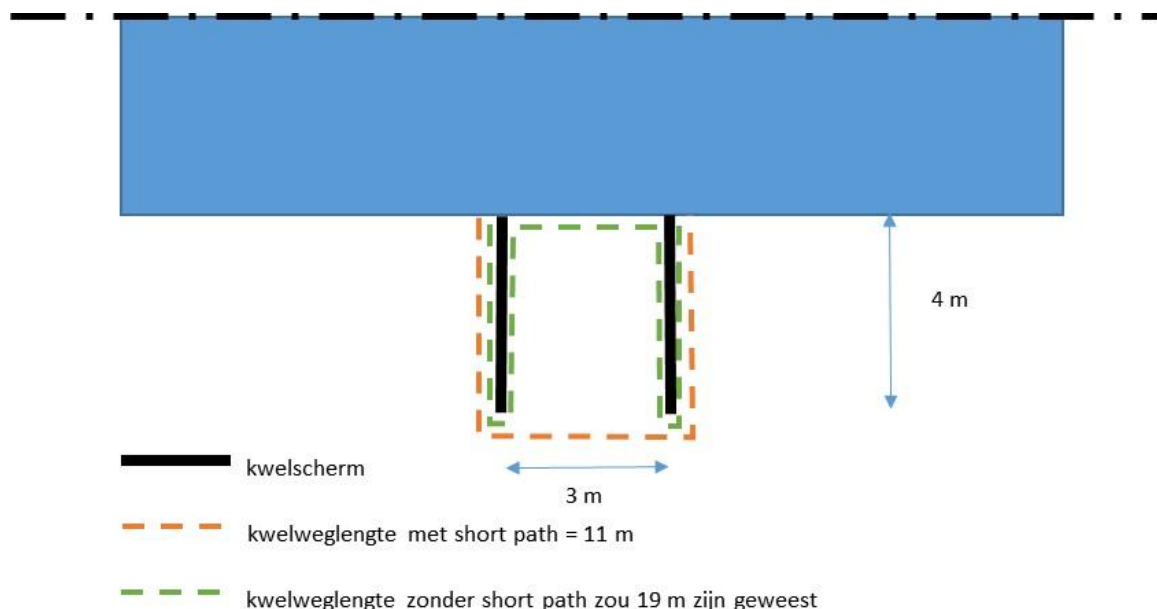
Voorbeeld

In Figuur 7-1 is met de gele stippellijn de horizontale kwelweg weergegeven op het grensvlak zand-klei van een complex kunstwerk. De kleidijk is omwille van de zichtbaarheid van de kwelwegen niet getekend. In het algemeen is bij achterloopsheid vaak sprake van een nagenoeg geheel horizontale kwelweg.



Figuur 7-1 Horizontale kwelweg (geel) langs kunstwerk (verticale kwelweg is rood)

Hoe om te gaan met het short path (kwelweg 3 in Figuur 7-1)? Stel dat de beide kwelschermen 4 meter uitsteken uit de zijkant van het kunstwerk, en de afstand tussen de beide uiteinden van het kwelscherm is 3 meter. De kwelweglengte tussen beide punten is dan $(4 + 3 + 4) = 11$ meter. De afstand tussen de beide uiteinden is met 3 meter kleiner dan de helft van de kwelweglengte ($11 \times \frac{1}{2} = 5,5$ m). Er is dus sprake van een short path. De horizontale kwelweglengte van het short path die in rekening gebracht mag worden is in dit voorbeeld dan 3 m, en de totale kwelweglengte om de beide kwelschermen $4 + 3 + 4 = 11$ m hetgeen leidt tot een gewogen kwelweglengte van $11/3 = 3,67$ m (zie bovenaanzicht in Figuur 7-2).



Figuur 7-2 Bovenaanzicht horizontale kwelweg langs kunstwerk inclusief short path

7.1.2

Parameter S02: verticale kwelweglengte

Wat is het?

Lengte [m]

De weerstand tegen piping is, naast de eigenschappen van de zandlaag, afhankelijk van de kwelweglengte. Dit is de afstand tussen het intreepunt van de kwelstroming door de zandlagen onder en naast het kunstwerk en het uittreepunt. Deze afstand tussen intreepunt en uittreepunt wordt overbrugd door een samenspel van horizontale en verticale kwelwegdelen, welke volgen uit een 3D-analyse (zie paragraaf 6.1). De verticale kwelweglengte is de som van alle delen van de kwelweg die onder een hoek van 45° of groter met de horizontaal lopen.

Hoe te bepalen

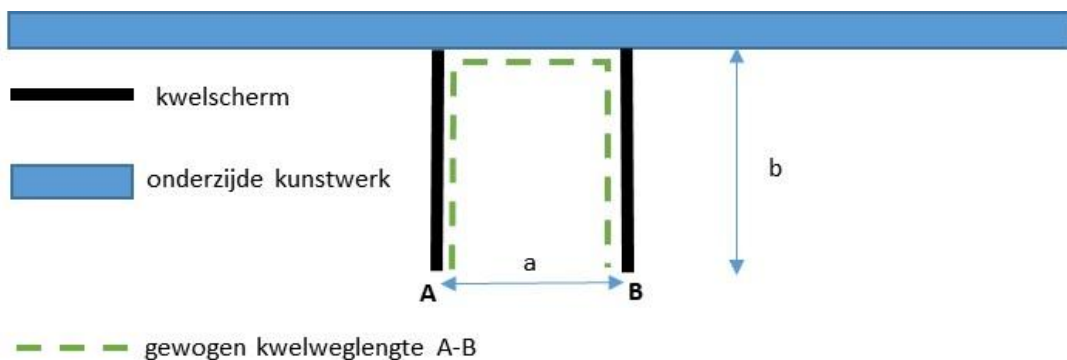
Bij kunstwerken liggen in- en uittreepunt vaak vrij vast. Zo zal het intreepunt doorgaans gelegen zijn op de bodem of in het talud van de buitendijkse watergang en het uittreepunt op de bodem of in het talud van de binnendijkse watergang. De wijze waarop de afstand tussen in- en uittreepunt wordt overbrugd kan vaak op meerdere manieren gebeuren. Een driedimensionale kwelweganalyse moet dit uitwijzen (zie paragraaf 6.1). Hierin zijn sowieso horizontale kwelwegdelen aanwezig en meestal ook verticale.

Het in rekening brengen van de verticale kwelweglengte is alleen toegestaan wanneer een goede aansluiting tussen het kwelscherm en de constructie aanwezig is. Met name bij kunstwerken waarop negatieve kleef werkt en die niet goed op stuit in de draagkrachtige zandondergrond staan, is de aansluiting van kwelschermen een aandachtspunt. Daarnaast kan veroudering van kwelschermen en hun aansluitingsconstructies ervoor zorgen dat het kwelscherm niet goed functioneert. In de praktijk is het functioneren van de kwelschermen echter lastig aan te tonen. In paragraaf 6.3.3.3 van [10] worden voor houten, stalen en betonnen kwelschermen diverse factoren genoemd die de levensduur beïnvloeden, zowel in positieve als negatieve zin. Geconcludeerd kan worden dat het niet mogelijk is op basis van leeftijd en materiaalsoort een uitspraak te doen over de mate waarin de aansluiting nog goed is. Ten behoeve van de beoordeling wordt daarom aanbevolen uit te gaan van een goede aansluiting, tenzij er uit de praktijk aanwijzingen zijn (lekkages, zanduitspoeling) dat dit niet het geval is. Indien wordt getwijfeld aan de aansluiting van een kwelscherm op de constructie kunnen peilbuizen worden geplaatst aan voor- en achterzijde van het kwelscherm om de effectiviteit van het kwelscherm in beeld te brengen.

In tegenstelling tot de horizontale kwelweglengte wordt de verticale kwelweglengte in het model van Lane niet gereduceerd bij de bepaling van de totale kwelweglengte.

Aandachtspunten

Tussen schermen of constructieonderdelen kan een kortgesloten kwelweg ontstaan (zie voorbeeld op volgende pagina). Als de kortste afstand tussen de onderzijde van twee kwelschermen kleiner is dan de helft van de gewogen kwelweglengte tussen beide punten, moet ervan uit worden gegaan dat stroming door de grond onder het kunstwerk maatgevend wordt in plaats van de kwelweg langs de constructie, zie Figuur 7-3.



kunstwerk op staal: als $a < 2 \cdot b + 1/3 \cdot a$ dan is sprake van een short path

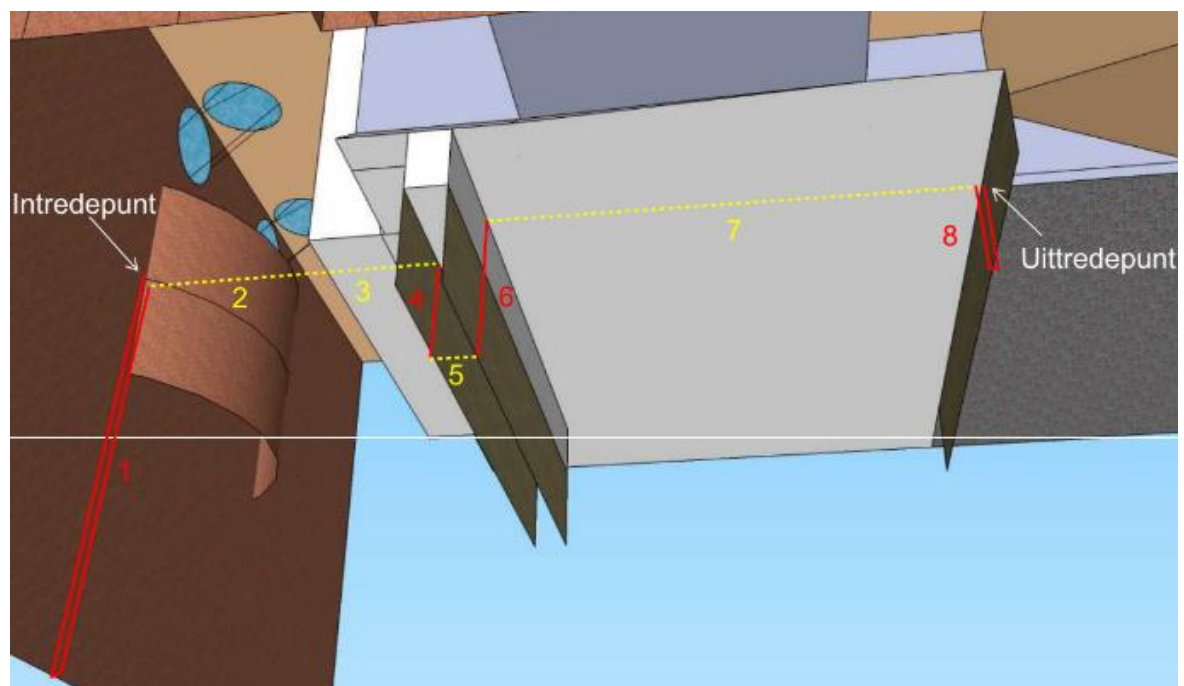
kunstwerk op palen: als $a < 2 \cdot b$ dan is sprake van een short path

Figuur 7-3 Toelichtende figuur criteria short path

Voor de bepaling van de gewogen kwelweglengte moet deze kortste afstand ("short path") dan verdubbeld worden. Indien een gewogen kwelweg met daarin een "short path" maatgevend is, mag volgens Lane $C_{w,creep}$ worden gereduceerd met een factor 1,25 (paragraaf 5.3.4 [10]). Dit komt erop neer dat de horizontale kwelweg langs het short path voor 5/6 wordt meegenomen (zie onderbouwing middels volgend voorbeeld).

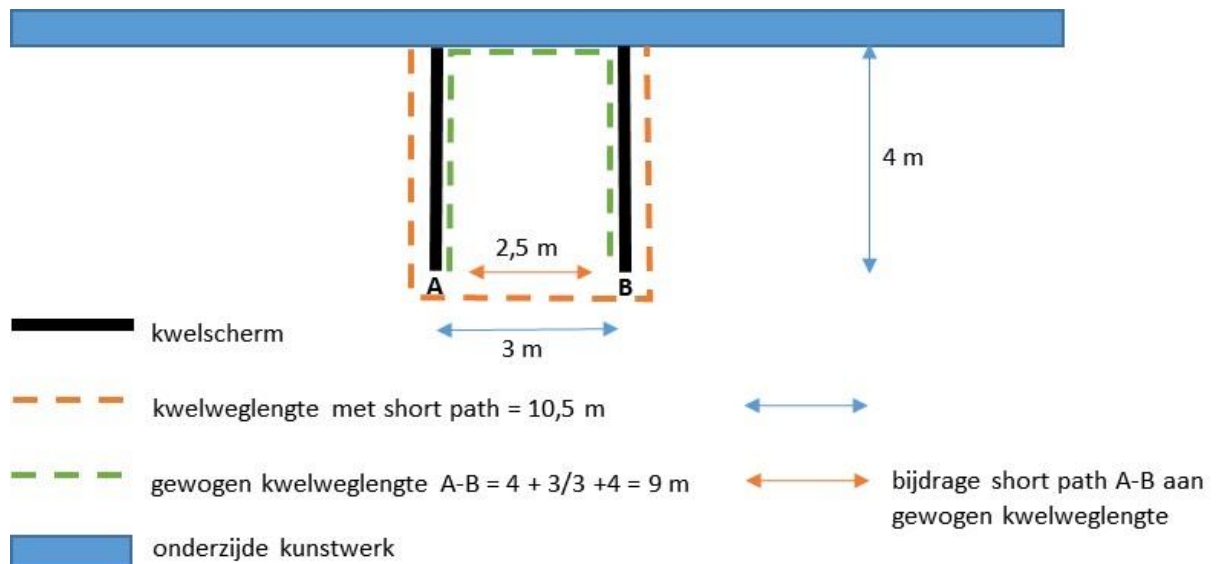
Voorbeeld

In Figuur 7-4 zijn met de rode lijnen de verticale kwelwegen langs de kwelschermen van een complex kunstwerk ingetekend. De zandondergrond is omwille van de zichtbaarheid van de kwelwegen niet getekend.



Figuur 7-4 Combinatie van horizontale en verticale kwelwegen onder kunstwerk

Ook in dit voorbeeld is een short path aanwezig (kwelweg 5 in Figuur 7-4). Stel dat de beide kwelschermen 4 meter uitsteken onder de vloer van het kunstwerk, en de afstand tussen de beide uiteinden van het kwelscherm is 3 meter. De gewogen kwelweglengte tussen beide punten is dan $(4 + 3/3 + 4) = 9$ meter. De afstand tussen de beide uiteinden A en B is met 3 meter kleiner dan de helft van de kwelweglengte (4,5 m). Er is dus sprake van een short path. De horizontale kwelweglengte van het short path die in rekening gebracht mag worden is het dubbele van de werkelijk aanwezige lengte, in dit geval dus 6 m. Tevens mag de creepfactor $C_{w,creep}$ worden gereduceerd met een factor 1,25 over de lengte van het short path⁸. Dit kan worden verdisconteerd door de lengte van het short path met 1,25 te vermenigvuldigen en de creepfactor $C_{w,creep}$ hetzelfde te houden. De gewogen kwelweglengte van het short path wordt bepaald door de aanwezige kwelweglengte door 3 te delen. Per saldo is de gewogen kwelweglengte van het short path dus $(3 \cdot 2 \cdot 1,25)/3 = 2,5$ m, oftewel de lengte van het short path maal 5/6. De totale gewogen kwelweglengte over deze beide kwelschermen is de som van de kwelwegen 4+5+6 uit Figuur 7-4 en bedraagt $4+4+2,5 = 10,5$ m.



Figuur 7-5 Langsdoorsnede over kunstwerk met kwelweg inclusief short path

7.1.3

Parameter S03: Creep-factor behorend bij model van Lane

Wat is het?

Parameter [-]

De gewogen creep-factor $C_{w,creep}$ is een empirisch bepaalde materiaalconstante van de ondergrond en geeft in feite de weerstand van de ondergrond tegen uitspoeling weer. Hierbij geldt: hoe kleiner de creep-factor, des te groter de weerstand tegen uitspoeling. De creep-

⁸ Opgemerkt wordt dat deze werkwijze afwijkt van de letterlijke tekst uit de publicatie van Lane, waarin staat dat als een short path aanwezig is, de creepfactor $C_{w,creep}$ mag worden gereduceerd met een factor 1,25. De beperking dat dit over de lengte van het short path moet gebeuren is toegevoegd door de auteur, omdat het anders rekenkundig heel gunstig kan zijn om een short path te creëren terwijl de veiligheid er in werkelijkheid niet door toeneemt. Deze toevoeging dat reductie van de creepfactor slechts over de lengte van het short path moet gebeuren is afgestemd met meerdere deskundigen op het vakgebied. Advies hierover kan via de Helpdesk water ook verkregen worden

factor $C_{w,creep}$ is gebaseerd op wat destijds werd gezien als een veilige benadering (bovengrens), wat impliceert dat bij gebruik van de regel van Lane voor de veiligheidsfactor geldt: $\gamma = 1,0$. Tot op heden is dit altijd onverkort overgenomen. In Tabel 7.1 zijn de door Lane aangegeven waarden voor verschillende typen materiaal in de grondlaag weergegeven.

De empirische rekenregel van Lane is in beginsel bedoeld voor controle op piping (horizontale erosie). In Nederland is de praktijk ontstaan dat heave (verticaal uittreeverhang) impliciet ook getoetst wordt en voldoet als wordt voldaan aan het pipingcriterium volgens de rekenregel van Lane. In de regel van Lane wordt geen onderscheid gemaakt tussen deze twee verschillende mechanismen; bij gebruik van de geavanceerdere rekenregels van Sellmeijer (horizontale erosie) en heave (verticaal uittreeverhang) worden deze beide deelfaalmechanismen wel separaat beschouwd.

Tabel 7.1 Creep-factoren voor de regels van Lane

Grondsoort	Mediane korreldiameter [μm] ¹	$C_{w,creep}$ (Lane) met $\gamma = 1,0$
Uiterst fijn zand, silt	< 105	8,5
Zeef fijn zand	105 – 150	
Zeef fijn zand (mica)		7
Matig fijn zand (kwarts)	150 – 210	7
Matig grof zand	210 – 300	6
Zeef/zeefst grof zand	300 – 2000	5
Fijn grind	2000 – 5600	4
Matig grof grind	5600 – 16000	3,5
Zeef grof grind	> 16000	3

¹ Indicaties conform NEN 5104 (September 1989)

Hoe te bepalen

De creepfactor is afhankelijk van de materiaaltyping in de watervoerende laag; een schatting van de grofheid van het zand is voldoende. In Tabel 7.1 zijn de door Lane aangegeven indicaties van deze factor gegeven. De creepfactor wordt bepaald aan de hand van de geschatte korreldiameter van het zand in de watervoerende zandlaag. Bij voorkeur gebeurt dit aan de hand van een statistische beschouwing op basis van een voldoende groot aantal uitgevoerde zevingen. In de praktijk echter is meestal sprake van een classificatie door de boormeester van één of enkele boringen. Overigens is dit in lijn met de oorspronkelijke studie van Lane, waarin classificatie van de grondsoort ook gebaseerd zal zijn geweest op een inschatting van een boormeester.

In [16] tabel 4.1 wordt gesteld dat eventueel tussen de klassemiddens van de mediane korreldiameters geïnterpoleerd kan worden. Een rechtvaardiging van deze verfijning van de rekenregel is echter niet expliciet aan de onderbouwing en filosofie van de methode van Lane, zoals neergelegd in diens oorspronkelijke publicatie, te ontleen. In [10] tabel 3.1 is deze toevoeging achterwege gelaten. Aanbevolen wordt interpolatie tussen de klassemiddens van de mediane korreldiameters dan ook niet toe te passen.

Aandachtspunten

Het komt voor dat de kwelweg loopt door verschillende grondlagen met een andere creep-factor. Er zijn verschillende manieren om hiermee om te gaan:

- Kies de creep-factor die hoort bij de laag waarin het uittreepunt zich bevindt.
- Houd de grootste creep-factor (dus de creep-factor voor de grondlaag met het fijnste zand) aan als creep-factor.
- Bereken per grondlaag de bijdrage aan het kritieke verval door per grondlaag de kwelweglengte en creep-factor vast te stellen en deze bijdragen te sommeren.

Hoewel aanwijzingen hieromtrent niet zijn te ontlelen aan de oorspronkelijke publicatie van Lane is de laatste optie het meest plausibel. In het voorbeeld wordt hier nader op ingegaan.

In [7] en [9] worden richtlijnen gegeven voor pipingcontrole bij kruisingen van waterkeringen met pijpleidingen, met name ook bij gelaagde grond. Hierin wordt de volgende werkwijze aangereikt:

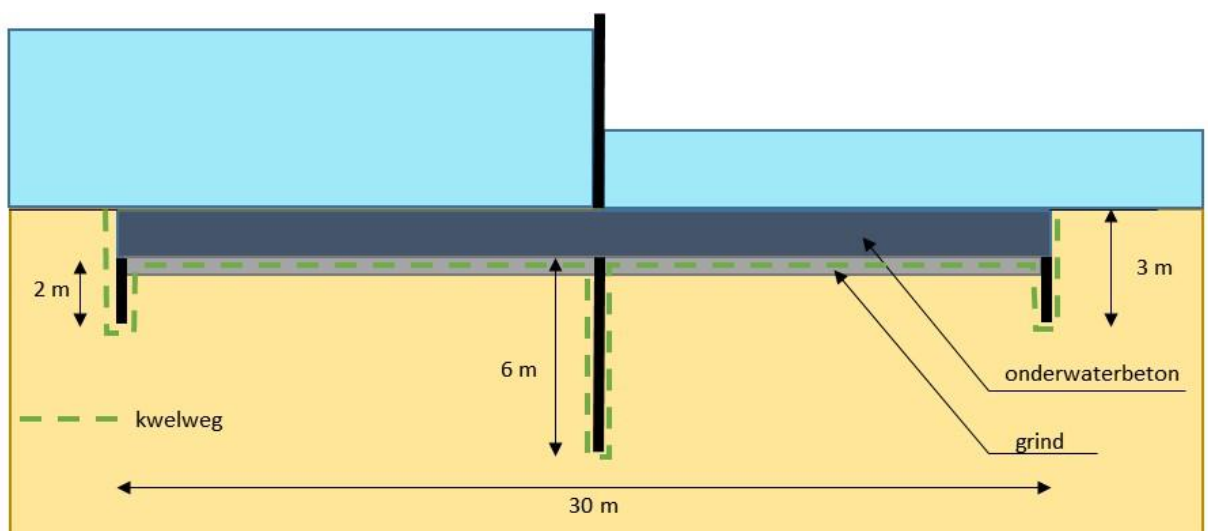
- Wanneer de kwelweg door verschillende grondlagen loopt, dient voor de gewogen creepfactor van Lane die waarde te worden gekozen die hoort bij de grondlaag waarin zich het uittreepunt bevindt.
- Tevens wordt gesteld dat wanneer delen van de kwelweg lopen door grondlagen met andere doorlatendheden dan van de 'maatgevende' grondlaag, de (fictieve) bijdrage van deze delen aan de (horizontale of verticale) kwelweglengte berekend kan worden door verschalen van deze delen met de verhouding van de doorlatendheden.

Een rechtvaardiging van deze verfijningen van de rekenregel is echter niet expliciet aan de onderbouwing en filosofie van de methode van Lane, zoals neergelegd in diens oorspronkelijke publicatie, te ontlelen ([10] paragraaf 5.3.4). Daarnaast is het verschalen met de verhouding van de doorlatendheden erg lastig toe te passen, omdat de doorlatendheden van de diverse grondlagen vaak niet bekend zijn en lastig in te schatten. Aanbevolen wordt daarom deze werkwijze uit [7] en [9] niet toe te passen.

Voorbeeld

In onderstaand voorbeeld is sprake van een kunstwerk op een vloer van onderwaterbeton zonder trekpalen. Onder deze onderwaterbetonvloer is om uitvoeringstechnische redenen een laag grind (creep-factor 3,5) van 0,50 m dikte aangebracht. Rondom het kunstwerk is sprake van fijn zand met een creep-factor van 7. Het kritieke verval wordt nu als volgt bepaald (zie Figuur 7-6):

- De gewogen kwelweg door het zand bedraagt $3 + 1,5 + 2 \times 5,5 + 1,5 + 3 = 20$ m. Dit levert een bijdrage aan het kritieke verval van $20/7 = 2,9$ m.
- De gewogen kwelweg door het grind bedraagt $0,5 + 15/3 + 0,5 + 0,5 + 15/3 + 0,5 = 12$ m. Dit levert een bijdrage aan het kritieke verval van $12/3,5 = 3,4$ m.
- Het totale kritieke verval komt hiermee op 6,3 m. Ter vergelijking: had het grind ontbroken, dan was het kritieke verval $(3 + 2 + 30/3 + 6 + 6 + 2 + 3)/7 = 4,6$ m geweest.



Figuur 7-6 Voorbeeld kunstwerk met kwelweg door meerdere grondlagen

7.1.4

Parameter S04: buitenwaterstand

Wat is het?

Peil [m+NAP]

De bij de beoordeling te hanteren buitenwaterstand is de waterstand bij de norm. Het verval is gelijk aan het verschil tussen de buitenwaterstand en de binnenwaterstand.

Hoe te bepalen

Vanuit de overstromingskansnorm per dijktraject zijn waarden af te leiden voor de buitenwaterstand die in de toets gebruikt moet worden. Een nadere beschrijving van de voor de toets benodigde hydraulische belastingen is te vinden in hoofdstuk 3.

Aandachtspunten

Bij piping is tijdsafhankelijkheid een belangrijk gegeven. In voorkomende gevallen moet hiervoor afdoende worden gecorrigeerd (niet onterecht afkeuren), zie ook paragraaf 3.3.2 over de te hanteren waterstandsverlopen.

Voorbeeld

-

7.1.5

Parameter S05: binnenwaterstand

Wat is het?

Peil [m+NAP]

De binnenwaterstand is de waterstand in het water aan de binnenzijde van het kunstwerk tijdens maatgevende omstandigheden. Het verval is gelijk aan het verschil tussen de buitenwaterstand en de binnenwaterstand.

Hoe te bepalen

De binnenwaterstand is afhankelijk van het gevoerde waterbeheer vlak vóór en tijdens hoogwater en de oriëntatie van het binnenwater. Indien de binnendijkse waterstand tijdens hoogwater niet bekend is, of niet gecontroleerd wordt, kan als vertrekpunt de gemiddelde waterstand worden genomen omdat de waterstand van het watersysteem tijdens een hoogwater vanwege kwel en eventuele afname van lozingscapaciteit vrijwel altijd hoger zal zijn (Lit. [10] paragraaf 6.2.1.2). Indien sprake is van een zomer- en winterpeil kan worden uitgegaan van het winterpeil. Wel moet geverifieerd worden of als gevolg van afwaaiing en afmaling de waterstand bij het kunstwerk niet alsnog lager kan zijn. Afstemming met de beheerder omtrent zijn ervaringen van recente hoogwaterperioden is gewenst bij het bepalen van de maatgevende binnenwaterstand.

Aandachtspunten

Waterbeheerstrategie tijdens hoge rivierafvoeren kan van invloed zijn op het polderpeil (denk aan pompcapaciteit van de gemalen of maalstops). Afstemming met de beheerder hieromtrent is nodig.

Voorbeeld

[-]

7.2

Parameters heave-model

Het heave-model kent de volgende parameters, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherm.
- Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt.
- Lengte benedenstrooms kwelscherm.

7.2.1

Parameter S01: stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherm

Wat is het?

Stijghoogte [m+NAP]

De stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherm bepaalt samen met het freatisch niveau ter plaatse van het uittreepunt het verhang over het benedenstroomse kwelscherm.

Hoe te bepalen

De stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherm is afhankelijk van het totale verval over de kering en de grondwaterstroming in de zandlaag. Hiermee is de stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherm afhankelijk van de geohydrologische configuratie van de zandlaag en de plaats en diepte van de kwelschermen. Voor de bepaling van het optredende verhang over het benedenstroomse kwelscherm is een grondwaterstromingsanalyse nodig. In beginsel kan dit met elk daartoe geschikt rekenmodel.

In paragraaf 5.4.2 van [10] worden de volgende modellen onderscheiden om het optredend verhang over het benedenstroomse kwelscherm te bepalen:

- Berekening met behulp van een ('multi-purpose') computerprogramma voor numerieke grondwaterstromingsanalyse, gebaseerd op een eindige elementen of eindige differentie methode (EEM of EDM).
- Berekening met een semi-analytisch rekenmodel (fragmentenmethode). Deze methodiek is in TAW (thans ENW) kader ontwikkeld, specifiek voor heavecontroles bij dijken of waterkerende kunstwerken met verticale kwelschermen.
- Analytische berekening met een vierkantennet (vindt in de praktijk niet of nauwelijks meer plaats en wordt daarom ook niet verder beschouwd).

Het principe van de fragmentenmethode wordt beschreven in Bijlage A3 van [10].

Berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een spreadsheetprogramma dat verkrijgbaar is via de Helpdesk Water. Voor eenvoudige situaties kunnen afleesgrafieken gebruikt worden.

Ten opzichte van de fragmentenmethode bieden de meeste numerieke modellen meer vrijheid in keuze van geometrie (aantal en vorm van kwelschermen) of grondeigenschappen (grondlagen en doorlatendheden). Toch maakt de eenvoud van de fragmentenmethode en het feit dat dit beschikbaar is in een veelgebruikt programma als Excel dat de fragmentenmethode in de praktijk voor veel situaties een snellere methode is. Daarom wordt in paragraaf 7.2.4 nader ingegaan op het schematiseren met gebruik van de fragmentenmethode. Overigens is de invoer die nodig is bij gebruik van de fragmentenmethode ook nodig bij gebruik van numerieke berekeningsmodellen, aanbevelingen kunnen worden overgenomen.

Daarnaast kan de stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherm natuurlijk gemeten worden met behulp van peilbuizen. Hier wordt in de Toets op Maat nader op ingegaan.

Aandachtspunten en voorbeeld

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.4.

7.2.2

Parameter S02: freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt

Wat is het?

Peil [m+NAP]

Het freatisch niveau ter plaatse van het uittreepunt is de waterstand aan de binnenzijde van het kunstwerk tijdens maatgevende omstandigheden.

Hoe te bepalen

De bepaling hiervan is analoog aan de bepaling van de binnenwaterstand in het model van Lane (zie paragraaf 7.1.5).

7.2.3

Parameter S03: Lengte benedenstrooms kwelscherm

Wat is het?

Lengte [m]

De lengte van het benedenstroomse kwelscherm is de afstand tussen de teen van het kwelscherm en de bovenzijde van de grondlaag aansluitend aan het kunstwerk.

Hoe te bepalen

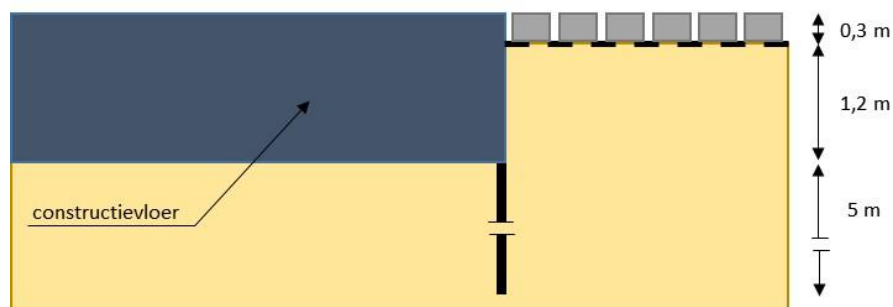
De teen van de damwand kan doorgaans worden afgelezen van tekening. De bovenzijde van de grondlaag aansluitend aan het kunstwerk is doorgaans het niveau van de bovenzijde van de vloer. Indien een aansluitende bodembescherming aanwezig is, mag deze dikte ook worden meegenomen vanuit de gedachte dat de open ruimte in deze bodembescherming vol zal lopen met zand en zodoende ook weerstand tegen uitspoeling zal bieden.

Aandachtspunten

De effectiviteit van zeer korte kwelschermen is twijfelachtig. Als de scherm lengte (bij het uittredepunt) kleiner is dan 1 m moet daarom worden uitgegaan van afwezigheid van het scherm.

Voorbeeld

In onderstaand voorbeeld (figuur 6.7) is de lengte van het benedenstroomse kwelscherm waarover het optredende verhang wordt bepaald niet 5 m maar 6,5 m (5 m + 1,2 m + 0,3 m).

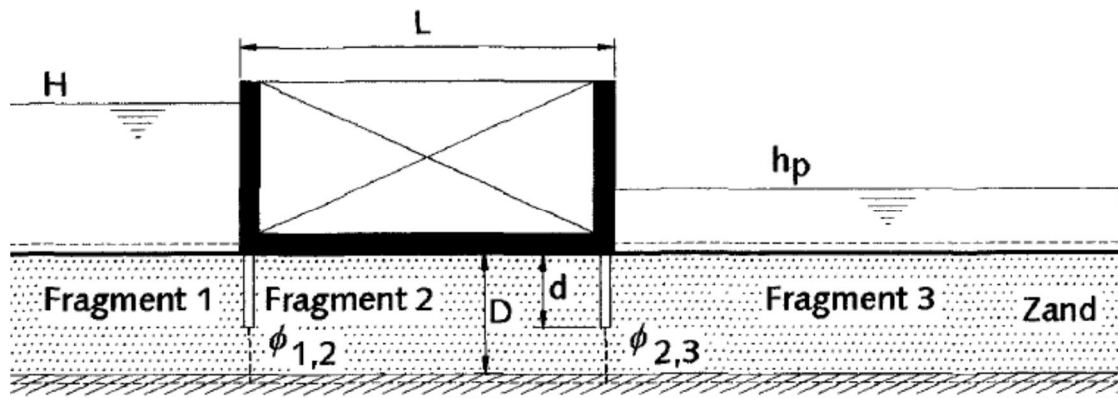


Figuur 7-7 Voorbeeld bepaling lengte benedenstroomse kwelscherm

7.2.4

Een hulpmiddel om de heave-toets uit te voeren: de fragmentenmethode

De fragmentenmethode is in de 80-er en 90-er jaren van de vorige eeuw ontwikkeld. De fragmentenmethode is een rekentechniek gebaseerd op grondwaterstromingsberekeningen die speciaal is bedoeld voor het analyseren van de grondwaterstroming onder dijken of kunstwerken met kwelschermen. Het is een semi-analytische techniek die als voordeel boven een numerieke grondwaterstromingsanalyse heeft dat zeer snel berekeningen kunnen worden uitgevoerd. De fragmentenmethode is uitgebreid beschreven in bijlage A3 van [10]. In Figuur 7-8 is een voorbeeld van een constructie met kwelschermen gegeven en een opdeling in fragmenten.



Figuur 7-8 Schematisch weergegeven kunstwerk met twee kwelschermen in een doorlatende zandlaag

Standaard fragmenten zijn het kop-, tussen- en staartfragment. Daarnaast zijn extra fragmenten ontwikkeld: een "zettingsfragment", waarbij een zettingsspleet tussen de onderkant van het kunstwerk en de zandlaag aanwezig is, een "gatfragment" voor simulatie van geconcentreerde lek door een kwelscherm en een "lekfragment", waarmee gelijkmatig verdeelde lek door het kwelscherm gesimuleerd kan worden. Voor de adviespraktijk is echter nog niet een toegankelijke implementatie van deze fragmenten beschikbaar. Alleen de invloed van een zettingsspleet kan worden verdisconteerd in de handmatige berekeningen aan de hand van de in bijlage A3.2 van [10] gegeven tabellen. De invloed van de zettingsspleet kan worden meegenomen door de weerstandsfactoren van de fragmenten waar een zettingsspleet aanwezig is, of kan zijn, te reduceren. Als veilige stelregel moeten de weerstandsfactoren van die fragmenten worden gehalveerd. Afhankelijk van de verhouding tussen de dikte van het zandpakket en de lengte van het fragment kan minder gereduceerd worden. In de heavegrafieken in bijlage A3.2 van [10] en in de spreadsheetberekening (zie onder) kan deze invloed niet worden verdisconteerd.

Met de fragmentenmethode wordt het optredend verhang bepaald. Voor het mechanisme heave is het optredende verticale verhang over het kwelscherm in fragment 3 van belang.

$$i_{optr} = \frac{\phi_{2,3} - h_p}{d} \quad (7.1)$$

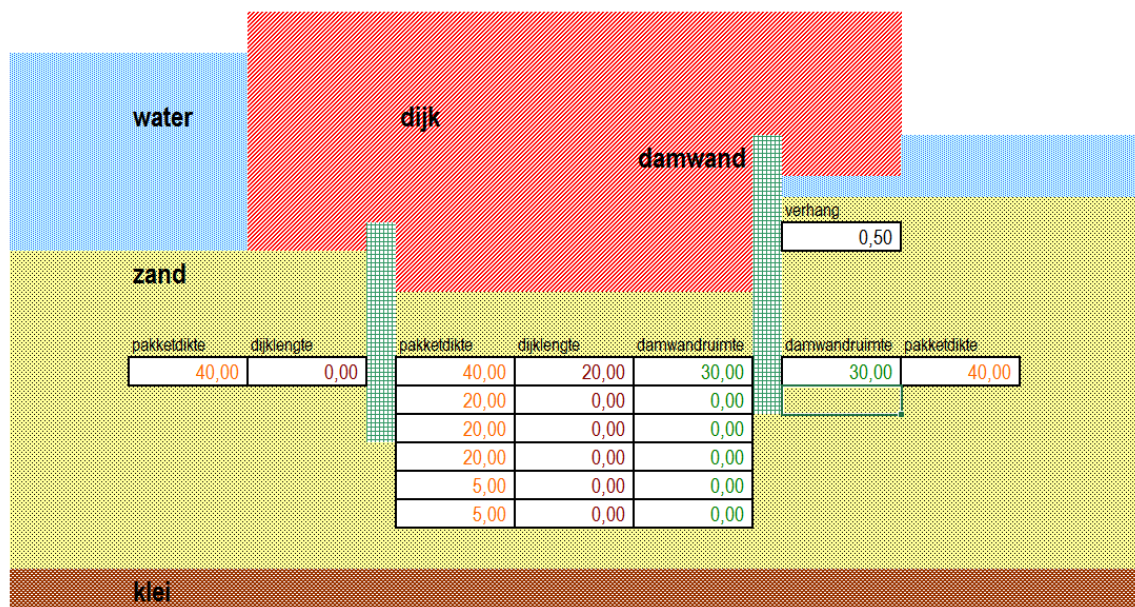
Berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een spreadsheetprogramma. Voor eenvoudige situaties kunnen afleesgrafieken en tabellen gebruikt worden welke zijn opgenomen in bijlage A3 van [10].

Heave bij kunstwerken

Voer gegevens in in de omliggende hokjes;
Er zijn maximaal 6 middendelen.

password:

verval 14,303 vervalratio 0,699 debietratio 1,361



Figuur 7-9 Spreadsheet fragmentenmethode

Figuur 7-9 geeft het invoerscherm en de uitkomsten. De invoer staat in de rechthoekjes. De uitvoer staat aangegeven als vet gedrukte getallen bovenin. In de Excel sheet is een beschrijving van het programma met invoer, uitvoer en beperkingen opgenomen.

In bovenstaand voorbeeld is het volgende te zien:

Invoer

- Als criterium voor het kritiek uitstroomverhang wordt een over de hoogte van het benedenstrooms geplaatste kwelscherm gemiddeld verhang opgelegd van 0,5.
- Er zijn in dit voorbeeld twee damwanden.
- De pakketdikte van de doorlatende laag (zand) is in dit voorbeeld 40 meter; op de bepaling van deze dikte wordt onder het kopje 'Aandachtspunten' nader ingegaan
- Het kunstwerk (aangeduid als dijk⁹) is in rood getekend.
- Naast de linkerdamwand is de term 'dijklengte' nul; dit wil zeggen dat de linkerdamwand aan het linkeruiteinde van het kunstwerk staat.
- De rechterdamwand staat altijd aan het rechteruiteinde van het kunstwerk, hier hoeft per definitie geen 'dijklengte' te worden ingevoerd omdat wordt uitgegaan van uitspoeling van bodemmateriaal onder het kunstwerk tussen het uiteinde van het kunstwerk en het meest benedenstrooms geplaatste kwelscherm.
- Tussen de linker- en rechterdamwand kunnen maximaal 6 fragmenten worden opgegeven. In dit voorbeeld is 1 fragment gedefinieerd met een lengte van 20 meter opgegeven. Als er meer kwelschermen tussen de twee damwanden aanwezig zijn moeten meer fragmenten worden opgegeven. Bijvoorbeeld bij één extra kwelscherm zijn er twee tussenfragmenten.

⁹ Dit is enigszins verwarrend; daar waar 'dijk' en 'dijklengte' staat kan echter gewoon 'kunstwerk' en 'kunstwerk lengte' gelezen worden

- De damwandruimte geeft de verticale afstand tussen een van de damwand en ondoorlatende basis (kleilaag) aan. Deze ruimte wordt dus bepaald door de lengte van het kwelscherm en de dikte van het zandpakket. Voor beide damwanden is in dit voorbeeld 30 meter gekozen (de damwandlengte is dus 10 m).

Uitvoer

- De uitkomst is een kritiek verval van 14,3 m. Dit kan worden vergeleken met het werkelijke verval over het kunstwerk. Als het kritieke verval groter is dan het werkelijke verval dan wordt aan de toets op heave voldaan.
- De debietratio is niet nodig om de toets te doen.

Het spreadsheet is handig om snel een toets op heave uit te voeren. Beperkingen zijn er in:

- Geometrie/bodemopbouw: voor kunstwerken waarbij de grondwaterstroming essentieel 3-dimensionaal is vanwege een ingewikkelde geometrie en/of grondlagenopbouw kunnen beter niet met de fragmentenmethode worden beschouwd; numerieke grondwaterstromings-berekeningen geven hier een betrouwbaarder beeld van het uittreeverhang¹⁰.
- Geometrie: maximaal 6 fragmenten mogelijk.
- Grondslag: In de fragmentenanalyses wordt in beginsel uitgegaan van isotrope doorlatendheid van de zandlaag. De horizontale en verticale doorlatendheden kunnen echter verschillend zijn, bijvoorbeeld door aanwezigheid van horizontale stoorlaagjes of lensjes. In de meeste gevallen kan dit verdisconteerd worden door de fragmenten (verticaal of horizontaal) te verschalen. Aanbevolen wordt om hierbij een deskundige te raadplegen. Ook kan een numerieke grondwaterstromingsberekening gemaakt worden.
- Toepassingsgebied:
 - Voor damwandlengten kleiner dan 0,1 maal de dikte van de zandlaag D zijn de berekeningen met de fragmentenmethode onnauwkeurig. Sowieso kan aan de werking van zeer korte kwelschermen (kleiner dan 1 m) getwijfeld worden. Als de scherm lengte (bij het uittredepunt) kleiner is dan 1 m, moet daarom worden uitgegaan van afwezigheid van het scherm. Als de scherm lengte groter is dan 1 m, maar kleiner dan $0,1D$, mag de fragmentenmethode niet worden gebruikt voor controle van de verticale uittredegradiënt. In dat geval dient een numeriek grondwaterstromingsmodel gebruikt te worden voor de berekening van de grondwaterstroming in de watervoerende zandlaag.
 - Invloed van zettingsspleet, gat in kwelscherm en lek door kwelscherm kan niet worden meegenomen in het ter beschikking gestelde spreadsheet. Alleen de invloed van een zettingsspleet kan worden verdisconteerd in de handmatige berekeningen aan de hand van de tabellen die in bijlage A3.2 van [10] worden gegeven. De invloed van de zettingsspleet kan worden meegenomen door de weerstandsfactoren van de fragmenten waar een zettingsspleet aanwezig is, of kan zijn, te reduceren. Als veilige stelregel moeten de weerstandsfactoren van die fragmenten worden gehalveerd. Afhankelijk van de verhouding tussen de dikte van het zandpakket en de lengte van het fragment kan minder gereduceerd worden.

Aandachtspunten

¹⁰ In dat geval kan overigens ook de methode van Lane gebruikt worden

Dikte zandlaag

De ondergrens van zandpakketten is vaak niet rechtstreeks uit de metingen af te leiden omdat deze metingen vaak al eindigen op een diepte waar nog zand aanwezig is. Voor de bepaling van de dikte van de zandlaag kunnen laagscheidingen uit de SOS of vanuit VNK-gegevens overgenomen worden. Deze zullen veelal beschikbaar zijn uit het dijkenstroom. Wanneer hieruit de dikte van het zandpakket niet kan worden bepaald kan als veilige waarde 40 m worden gehanteerd. Voor gebruik van de SOS kan een losse handleiding geraadpleegd worden [4].

Invloed voorland op mechanisme heave

In paragraaf 5.6.3 van [10] wordt ingegaan op de invloed van voorland op het mechanisme heave. Hierbij geldt dat het voorland een reducerend effect heeft op het optredende verticale verhang aan de binnenzijde van de waterkering. Bij grondwaterstromingsanalyses met behulp van het fragmentenmodel kan dit in rekening gebracht worden door het gebruik van een uiterwaarde-fragment. Voor de uitwerking hiervan wordt verwezen naar bijlage A van [10].

Bij grondwaterstromingsanalyses met behulp van een numeriek grondwaterstromingsmodel kan het effect in rekening gebracht worden door de afdekkende laag in het voorland mee te modelleren in de analyse.

Overigens wordt ook hier aanbevolen van grof naar fijn te werken en de invloed van het voorland in eerste instantie niet mee te nemen. Indien de analyse zonder voorland geen score 'voldoet' oplevert, kan de beoordeling op dit punt aangescherpt worden.

Fundering op palen

Bij heavecontroles met behulp van de fragmentenmethode is reductie van de weerstandsfactoren noodzakelijk indien sprake is van horizontale delen in een kwelweg ter plaatse van holten, bijvoorbeeld bij een paalfundering. Als veilige stelregel moeten de weerstandsfactoren van de fragmenten ter plaatse van een paalfundering worden gehalveerd. In dat geval kan het spreadsheet niet gebruikt worden en moet worden teruggegrepen op de tabellen in bijlage A.3.2 van [10].

Verval over het kunstwerk

Het berekende kritieke verval over het kunstwerk wordt vergeleken met het optredende verval. Het optredende verval is het verschil tussen de buiten- en binnenwaterstand. Hiervoor geldt hetzelfde als in paragraaf 7.1 reeds is opgemerkt.

7.3

Parameters model opbarsten

De formule om opbarsten te controleren kent de volgende parameters, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Het natte volumegewicht van de cohesieve deklaag.
- Het volumegewicht van water.
- De dikte van de cohesieve deklaag.
- De stationaire stijghoogte in de zandlaag.
- Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt.
- Een schematiseringsfactor.

7.3.1

Parameter S01: natte volumegewicht cohesieve deklaag

Wat is het?

Volumegewicht [kN/m³]

Het natte volumegewicht van de cohesieve deklaag is het gewicht van de volledig verzadigde deklaag.

Hoe te bepalen

Het volumiek gewicht van de grond wordt in een laboratorium bepaald. Hiertoe worden een voldoende aantal representatieve grondmonsters onderzocht. Aanbevolen wordt om hiervoor continu gestoken boringen met continue ongeroerde monsternamen te gebruiken, zodat het totale gewicht van het afdekkende pakket kan worden bepaald en de gewichten per laag kunnen worden teruggerekend (zodanig dat het totale gewicht van het afdekkende pakket in de modelschematisering overeenkomt met het gemeten gewicht van het afdekkende pakket). In het geval dat gewerkt wordt met een proevenverzameling van volumieke gewichten, worden minimaal 12 metingen per grondsoort aanbevolen.

Voor de analyse wordt de karakteristieke schatting van de laaggemiddelde waarde (het gemiddelde over de hele laag) gebruikt. In bijlage B van [10] of in bijlage 1 van [14] is aangegeven op welke wijze een karakteristieke schatting van een laaggemiddelde waarde kan worden gemaakt. Bij gebrek aan gegevens kan worden uitgegaan van de waarden uit Tabel 2.b NEN 9097-1 [8].

Aandachtspunten

- Natuurlijke spreidingen van de afzonderlijke grondsoorten.
- Wisselende samenstelling van de deklaag.
- Wisselende dikte van de deklaag.

Voorbeeld

-

7.3.2

Parameter S02: Volumegewicht water

Wat is het?

Volumegewicht [kN/m³]

Het volumegewicht van het water aan de binnenzijde van het kunstwerk.

Hoe te bepalen

Standaard wordt hiervoor 9,81 kN/m³ aangehouden.

Aandachtspunten

- Zout en brak water hebben iets andere eigenschappen dan zoet water, met name de viscositeit en de dichtheid variëren met zoutgehalte en temperatuur. Zout water heeft dan ook een ander volumegewicht.
- Bij een zoutgehalte van 35‰ en een temperatuur van 10 graden heeft water een dichtheid van 1027 kg/m³, en een volumegewicht van 10,07 kN/m³.

Voorbeeld

-

7.3.3

Parameter S03: dikte cohesieve deklaag

Wat is het?

Afstand [m]

De afstand tussen de bovenzijde en onderzijde van de cohesieve deklaag direct achter het kunstwerk.

Hoe te bepalen

Af te lezen uit het beschikbare grondonderzoek ter plaatse van het uittredepunt. Het is hierbij belangrijk dat de betreffende boring(en) en sondering(en) ook daadwerkelijk in de watergang achter het kunstwerk zijn genomen. Neem in dit geval de minimale waarde die is waargenomen.

Aandachtspunten

- De overgang van deklaag naar zand is vaak geleidelijk over een hoogte van 0,3 tot soms (veel) meer dan 1 m. Op basis van het grondonderzoek moet met zekerheid kunnen worden aangegeven of dit overgangsgebied bestaat uit zandige kleilagen of kleiige zandlagen voordat deze overgangslaag mag worden meegenomen bij de dikte van de deklaag. Een waterspanningsindex gemeten met een piëzoconus kan hierbij van nut zijn. Bij twijfel moeten er boringen worden gemaakt waarbij het materiaal in het laboratorium wordt beschreven.

Voorbeeld

-

7.3.4 *Parameter S04: stationaire stijghoogte in de zandlaag*

Wat is het?

Peil [m+NAP]

Het freatisch niveau ter plaatse van het uittreepunt is de waterstand van het water aan de binnenzijde van het kunstwerk tijdens maatgevende omstandigheden.

Hoe te bepalen

De bepaling hiervan is analoog aan de bepaling van de binnenwaterstand in het model van Lane (zie paragraaf 7.1.5).

7.3.5 *Parameter S05: freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt*

Wat is het?

Stijghoogte [m+NAP]

De stijghoogte aan de onderzijde van de cohesieve deklaag bepaalt de opwaartse druk aan de onderzijde van de deklaag.

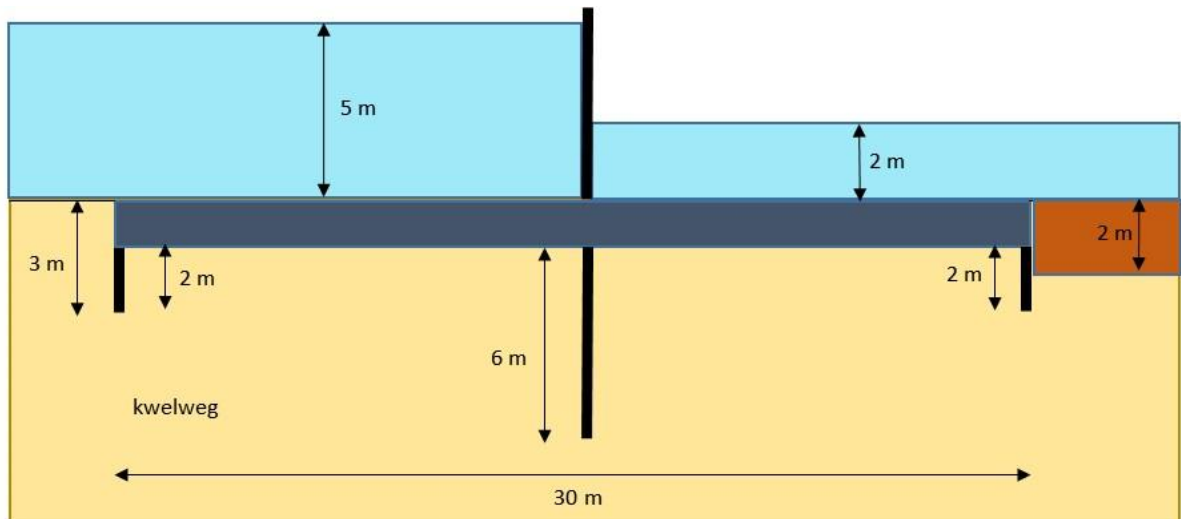
Hoe te bepalen

De bepaling hiervan is grotendeels vergelijkbaar met de bepaling van de stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherm in het heave-model (zie paragraaf 7.2.1).

Als hulpmiddel hierbij kan gebruik gemaakt worden van de fragmentenmethode (zie paragraaf 7.2.4 en voorbeeld hieronder).

Voorbeeld

In Figuur 7-10 is een voorbeeld opgenomen van een kunstwerk met een deklaag aan de binnenzijde van het kunstwerk.

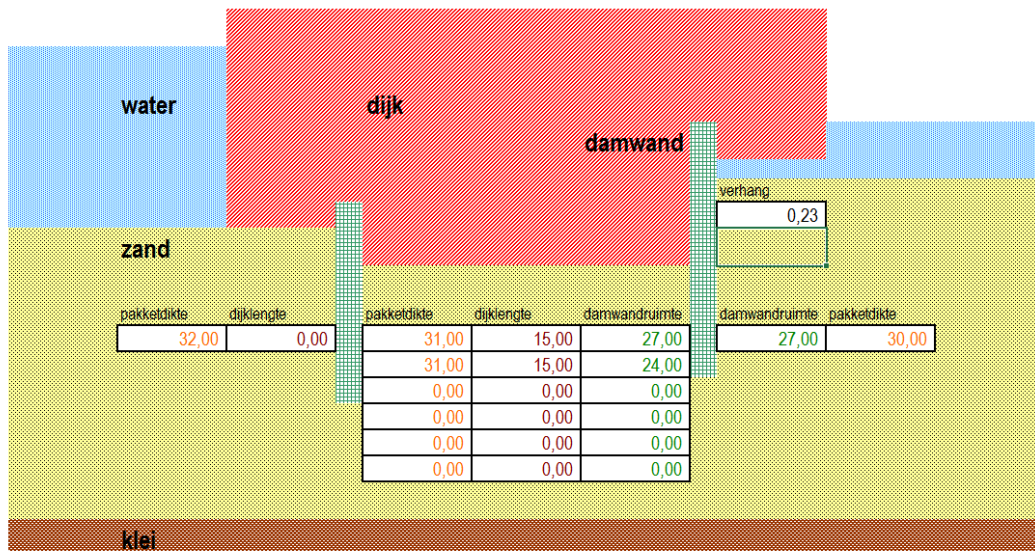


Figuur 7-10 Voorbeeld van kunstwerk met deklaag alleen aan binnenzijde

Uitgaande van een dikte van de zandlaag van 30 meter is met behulp van de fragmentenmethode berekend dat bij een verhang van 0,23 over het benedenstroomse kwelscherm een verval van 3 meter hoort (zie Figuur 7-11).

Er zijn maximaal 6 middendelen.

verval 3,007 vervalratio 2,294 debietratio 4,855



Figuur 7-11 Schermafbeeld van heave-spreadsheet

Het verhang is het verschil tussen de stijghoogte aan de onderzijde van het kwelscherm minus het polderpeil, gedeeld door de lengte van het kwelscherm. De stijghoogte aan de onderzijde van het kwelscherm is daarmee gelijk aan het polderpeil + het verhang x lengte kwelscherm, ofwel in dit voorbeeld $2 \text{ m} + \text{NAP} + 0,23 \times 3 = 2,69 \text{ m} + \text{NAP}$. Getoetst moet worden of de

waterdruk aan de onderzijde van de afdekkende laag kleiner is dan het neerwaartse gewicht van deze laag gedeeld door een veiligheidsfactor¹¹ ofwel:

$$(\varphi_z - h_p) \leq (\varphi_{z,g} - h_p) / \gamma$$

en

$$\varphi_{z,g} = h_p + d * (\gamma_{nat} - \gamma_w) / \gamma_w$$

Met

φ_z	optredende stijghoogte onder afdekkende laag [m NAP]
h_p	polderpeil / binnendijkse waterstand [m NAP]
$\varphi_{z,g}$	grenspotentiaal [m NAP]
γ	veiligheidsfactor voor opbarsten [-]
d	dikte van de cohesieve deklaag [m]
γ_{nat}	nat volumegewicht van de afdekkende laag [kN/m ³]
γ_w	volumegewicht water [kN/m ³]

Stel dat het natte volumegewicht van de deklaag 16 kN/m³ is, dan is de grenspotentiaal gelijk aan 2 m+NAP + 2 x (16 - 10) / 10 = 3,2 m+NAP. De veiligheid tegen opbarsten bedraagt dan (3,2 - 2) / (2,69 - 2) = 1,7. Indien dit groter is dan de benodigde veiligheidsfactor treedt opbarsten dus niet op.

Overigens had in dit geval de controle op opbarsten achterwege kunnen worden gelaten, omdat het kritieke verhang over het benedenstroomse kwelscherm kleiner is dan 0,5 en hiermee dus al aan het heave-criterium wordt voldaan.

7.4 Parameters model van Bligh

Het model van Bligh kent de volgende parameters, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Horizontale kwelweglengte.
- Creep-factor behorend bij model van Bligh.
- Buitenwaterstand.
- Binnenwaterstand.

Oorspronkelijk was de rekenregel van Bligh bedoeld om zowel verticale als horizontale kwelwegen te toetsen. In de Nederlandse toets- en ontwerppraktijk wordt de rekenregel van Bligh echter alleen toegepast bij horizontale kwelwegen.

7.4.1 Parameter S01: horizontale kwelweglengte

Wat is het?

Lengte [m]

De horizontale kwelweglengte is de som van alle delen van de kwelweg die onder een hoek van 45° of kleiner met de horizontaal lopen.

¹¹ vragen bij de toepassing hiervan kunnen aan de Helpdesk water gesteld worden.

Hoe te bepalen

Dit is niet anders dan in het model van Lane, derhalve wordt hiervoor verwezen naar paragraaf 7.1.1. In tegenstelling tot het model van Lane wordt de horizontale kwelweglengte in het model van Bligh niet met een factor 1/3 vermenigvuldigd.

Aandachtspunten

Zie paragraaf 7.1.1.

Voorbeeld

-

7.4.2

Parameter S02: Creep-factor behorend bij model van Bligh

Wat is het?

Parameter [-]

De creep-factor C_{creep} is een empirisch bepaalde materiaalconstante van de ondergrond en geeft in feite de weerstand van de ondergrond tegen uitspoeling weer. Hierbij geldt: hoe kleiner de creep-factor, des te groter de weerstand tegen uitspoeling. Net als bij het model van Lane is de creep-factor C_{creep} bij het model van Bligh gebaseerd op wat destijds werd gezien als een veilige benadering (bovengrens), wat impliceert dat bij gebruik van de regel van Bligh voor de veiligheidsfactor geldt: $\gamma = 1,0$. In Tabel 7.2 zijn de door Bligh aangegeven waarden voor verschillende typen materiaal in de grondlaag weergegeven.

Tabel 7.2 Creep-factoren voor de regels van Bligh

Grondsoort	Mediane korreldiameter [μm] ¹	C_{creep} (Bligh) met $\gamma = 1,0$
Uiterst fijn zand, silt	< 105	
Zeer fijn zand	105 – 150	18
Zeer fijn zand (mica)		18
Matig fijn zand (kwarts)	150 – 210	15
Matig grof zand	210 – 300	
Zeer/uiterst grof zand	300 – 2000	12
Fijn grind	2000 – 5600	9
Matig grof grind	5600 – 16000	
Zeer grof grind	> 16000	4

¹ Indicaties conform NEN 5104 (September 1989)

Hoe te bepalen

Dit is niet anders dan in het model van Lane, derhalve wordt hiervoor verwezen naar paragraaf 7.1.3.

Aandachtspunten

In tegenstelling tot bij het model van Lane komt het eigenlijk niet voor dat de kwelweg door verschillende grondlagen met een andere creep-factor loopt.

Voorbeeld

-

7.4.3

Parameter S04: buitenwaterstand

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.1.4.

7.4.4 *Parameter S05: binnenwaterstand*

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.1.5.

7.5 **Parameters model van Sellmeijer**

Voor de bepaling van de parameters die horen bij het model van Sellmeijer wordt verwezen naar de *Schematiseringshandleiding piping*. Alleen aan de parameters kwelweglengte, d_{70} en doorlatendheid wordt nader aandacht besteed, omdat deze afwijken ten opzichte van het dijkenstroom.

7.5.1 *Parameter S01: Kwelweglengte*

Wat is het?

Lengte [m]

De horizontale kwelweglengte is de (horizontaal gemeten) som van alle delen van de kwelweg.

Hoe te bepalen

Het model van Sellmeijer is bedoeld voor horizontale grondwaterstroming in één richting. Voor de situatie onderloopsheid met een zuiver horizontale kwelweg, zoals bij een kunstwerk zonder kwelschermen, kan het model van Sellmeijer één op één worden toegepast. De kwelweglengte kan worden afgelezen van tekening of worden gemeten in het veld.

Aandachtspunten

Indien het kunstwerk op palen is gefundeerd, mag de horizontale kwelweg niet in rekening worden gebracht. De methode van Sellmeijer is dan niet van toepassing. Overigens zal een kunstwerk dat op palen staat altijd zijn voorzien van kwelschermen.

Voorbeeld

-

7.5.2 *Parameter S02: D_{70}*

Wat is het?

Diameter [m]

Zeefmaat [m] die groter is dan de grootte van 70% van de zand- of grindkorrels van de zand- en grindfractie.

Hoe te bepalen

Voor de dieper gelegen grondlagen onder het funderingsniveau van het kunstwerk kan één op één worden aangesloten bij de waarden uit het dijkenstroom. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.6 en bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping*. De bepaling van de d_{70} voor piping in WBI 2017 verwijst naar een tabel met waarden voor d_{70} voor de verschillende SOS eenheden voor al de SOS segmenten van de waterkeringen. Met de gegevens over de ligging van het te toetsen kunstwerk en de identificatie van de SOS zand eenheid onder de deklaag op die locatie kan de te gebruiken d_{70} waarde worden vastgesteld. Hierbij moet worden uitgegaan van een representatieve veilige waarde voor de d_{70} . Dit is de waarde die in tabel G.2 in bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping* wordt gegeven.

Voor de hoger gelegen grondlagen hangt het ervan af of sprake is van antropogene (geroerde) grond of niet. Indien sprake is van antropogene grond dan kan de d_{70} niet worden

overgenomen uit het dijkenstroom. De karakteristieke waarde van de d_{70} kan middels zeveningen bepaald worden. Voor het aantal zeveningen kan geen algemene richtlijn worden gegeven; wel wordt aanbevolen tenminste drie zeveningen te doen. Indien er minder dan drie monsters beschikbaar zijn kan de karakteristieke waarde niet meer worden bepaald. Er kan dan hooguit nog een representatieve waarde worden geschat waarmee een globale berekening kan worden gedaan.

7.5.3

Parameter S03: Doorlatendheid

Wat is het?

Doorlatendheid [m/s]

De specifieke doorlatendheid, k , van een grondlaag is het debiet per seconde per 1 m^2 doorstroomd oppervlak bij een verhang van 1, gegeven in m/s (meters per seconde).

Hoe te bepalen

Voor de dieper gelegen grondlagen onder het funderingsniveau van het kunstwerk kan één op één worden aangesloten bij de waarden uit het dijkenstroom. Voor de dieper gelegen grondlagen onder het funderingsniveau van het kunstwerk kan één op één worden aangesloten bij de waarden uit het dijkenstroom. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.9 en bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping*. De bepaling van de k -waarde voor piping in WBI 2017 verwijst naar een tabel met waarden voor k voor de verschillende SOS eenheden voor al de SOS segmenten van de waterkeringen. Met de gegevens over de ligging van het te toetsen kunstwerk en de identificatie van de SOS zand eenheid onder de deklaag op die locatie kan de te gebruiken k -waarde worden vastgesteld. Hierbij moet worden uitgegaan van een representatieve veilige k -waarde. Dit is de waarde die in tabel G.1 in bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping* wordt gegeven.

Voor de hoger gelegen grondlagen hangt het ervan af of sprake is van antropogene (geroerde) grond of niet. Indien sprake is van antropogene grond dan kan de doorlatendheid niet worden overgenomen uit het dijkenstroom. Omdat toch al korrelverdelingen bekend moeten zijn om de d_{70} te bepalen, kan de doorlatendheid het eenvoudigst aan de hand van de korrelverdelingen worden bepaald volgens Bijlage B.8 van [10]. De doorlatendheid in de formule van Sellmeijer is de (karakteristieke bovengrens van de) gemiddelde doorlatendheid van de gehele zandlaag. Daarom is het van belang de zeveningen over de hoogte van de zandlaag te spreiden.

Andere methoden om de doorlatendheid te bepalen zijn in situ testen zoals pompproeven of peilbuiswaarnemingen. Het nauwkeurig bepalen van de doorlatendheid is niet eenvoudig. Eventueel kan een geohydroloog worden geraadpleegd.

8 Voorbeeld

Voor een voorbeeld van een uitgewerkte schematisering wordt verwezen naar paragraaf 12.3 van [10].

Verantwoording

Deze *Schematiseringshandleiding piping kunstwerk* is in opdracht van Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving opgesteld door Deltares. Dit document is als onderdeel van het WBI 2017 besproken met keringbeheerders in de WBI-coördinatiegroep en beoordeeld door de ENW Voorbereidingsgroep WBI 2017.

Schrijver:

B. van Bree (Bob van Bree - Waterbouwkundig advies en projectmanagement).

Regie:

A. Casteleijn (RWS).
J. van der Hammen (RWS).
K.S. Lam (Deltares).
M.M. de Visser (Arcadis).

Review:

J.E.J. Blinde (Deltares).
E.O.F. Calle (Deltares).
R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.).
S. Kapinga (WS Rivierenland).
M. van der Meer (Fugro).
D. Pereboom (Deltares).
H. van der Sande (WS Scheldestromen).

Eindredactie:

R. 't Hart (Deltares).
A. Bizzarri (RWS).
M. Hazelhoff (RWS).

Eind Controle:

R.M. Slomp (RWS).
J.G. Knoeff (Deltares).
M. Bottema (RWS).

A Literatuur

- [1] Fenomenologische beschrijving, faalmechanismen WBI. Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- [2] *Gebruikershandleiding Waterstandsverloop*, Versie 2.0. A. Ansink, R. Kamp, C.M.P. Geerse. HKV, Rapport PR2803.10. Lelystad, mei 2014.
- [3] *Handleiding datamanagement WBI 2017*. Rijkswaterstaat – Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2017.
- [4] *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS*. G. Kruse, M. Hijma. Deltares rapport 1209432-004-GEO-0002, Delft, december 2015.
- [5] *Hulpmiddelen voor toetsers – Historische Kunstwerken*. STOWA, rapport 2006-03. ISBN 90.5773.325.0. Utrecht, januari, 2006.
- [6] *Invloed van demping van de belasting bij piping*. Deltares, rapport 1206013-002-GEO-0001. Delft, 2013.
- [7] *NEN 3651:2003 Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken*. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft.
- [8] *NEN-EN 9997-1: Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp – Deel1: Algemene regels*. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft.
- [9] *Ondergrondse pijpleidingen - Grondslagen voor de sterkteberekening*. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft.
- [10] *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen*. U. Förster, G. van den Ham, E.O.F. Calle, G.A.M. Kruse. Deltares rapport 1202123-003-GEO-0002 in opdracht van RWS Waterdienst. Delft, Maart 2012.
- [11] *Rapportage Verlengde 3e Toetsing, onderdeel dijken*. Waterschap Scheldestromen, rap.no. 2013007747. Middelburg, oktober 2013.
- [12] *Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken. Gedetailleerde en geavanceerde methoden voor de beoordeling van de macrostabiliteit binnenwaarts*. Expertise Netwerk Waterveiligheid. Uitgave: Rijkswaterstaat Waterdienst, maart 2009.
- [13] *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken*. Expertise Netwerk Waterveiligheid. Uitgave: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, oktober 2012.
- [14] *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, RWS-DWW, ISBN 90-369-3776-0, zie www.enwininfo.nl. Delft, juni 2001.
- [15] *Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. RWS-DWW, ISBN-90-369-5565-3, zie www.enwininfo.nl. Delft, september 2004.

- [16] *Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. RWS-DWW, Delft, maart 1999.
- [17] *Toetsspoorrapport Piping (WTI 2017 Kunstwerken)*. Deltares rapport 1220087-003-GEO-0004. Delft, december 2015.
- [18] *Vergelijking methoden bepaling tijdsafhankelijkheid stijghoogte*. J. Lambert, Deltares notitie 1220088-003-VEB-0007-m. Delft, 2015.

B Begrippen, afkortingen en parameters

Voor begrippen en afkortingen wordt verwezen naar Appendix B van het *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

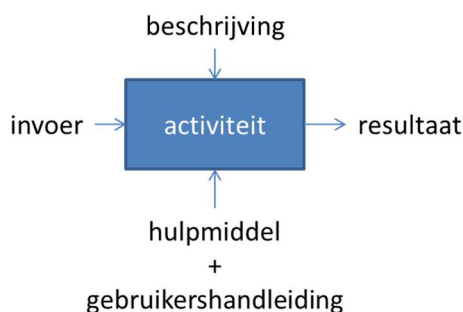
Voor parameters wordt verwezen naar de parameterlijsten zoals deze opgenomen zijn in de Handleiding datamanagement WBI 2017 [3].

C Schema werkwijze beoordeling piping kunstwerk

Hieronder is schematisch de werkwijze van de beoordeling van het toetsspoor Piping bij kunstwerk (PKW) weergegeven (Figuur C.2).

C.1 Toelichting op het schema werkwijze beoordeling

De werkwijze bestaat uit opvolgende activiteiten waarbij het resultaat van de voorgaande activiteit de invoer is van de volgende activiteit. Deze activiteiten moeten doorlopen worden om te komen tot een oordeel. Per activiteit kan worden beschreven hoe men van de invoer komt tot de benodigde uitvoer. Daarnaast wordt aangegeven of een activiteit door hulpmiddelen wordt ondersteund. Het schema van een activiteit ziet er in het algemeen uit zoals Figuur C.1.

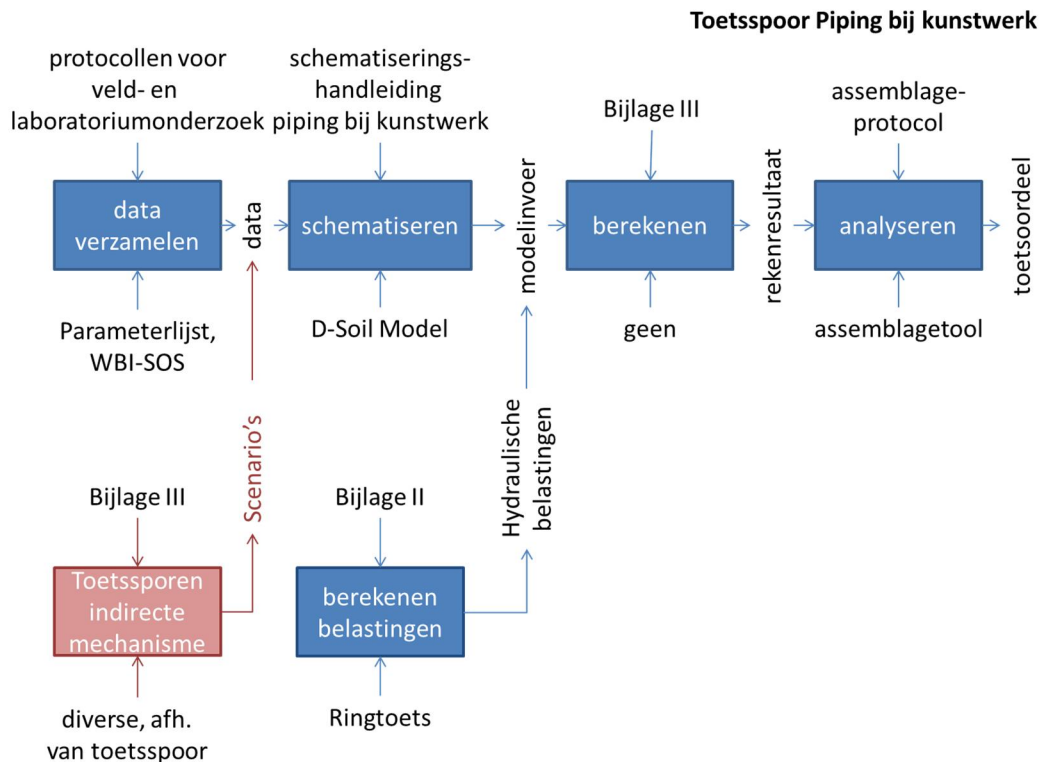


Figuur C.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

Het beoordelingsinstrumentarium bestaat uit verschillende documenten en tools/software om te komen tot een oordeel. In het schema is aangegeven welke (hoofd) documenten en tools/software betrekking hebben op een activiteit. Bij de activiteit wordt in de referenties na het schema gerefereerd naar de alle beschikbare documenten en/of tools/software behorende bij de activiteit. Op deze manier kan de beoordelaar bij elke activiteit achterhalen welke documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium relevant zijn om die activiteit uit te kunnen voeren. Er wordt in het schema niet uitsluitend verwezen naar documenten en/of tools/software van het beoordelingsinstrumentarium.

Benadrukt wordt dat dit schema niet het beoordelingsproces beschrijft. Het beoordelingsproces wordt beschreven in Bijlage I 'Procedure' van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017. Het beoordelingsproces is iteratief waarbij één of meerdere activiteiten uit het schema meerdere malen kan worden doorlopen. Afhankelijk van waar men zich bevindt in het beoordelingsproces, kan de invulling van de activiteit anders zijn. Bijvoorbeeld bij de activiteit 'berekenen' kan dit door middel van een eenvoudige toets, gedetailleerde toets per vak of een toets op maat. Verder wordt benadrukt dat de beschrijvingen en hulpmiddelen niet uitputtend zijn. Niet alle invullingen van een activiteit zijn beschreven of worden ondersteund (denk hierbij aan toets op maat).

C.2 Schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW)



Figuur C.2 Schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW). In het schema zijn alleen de belangrijkste documenten en/of tools/software genoemd. De lijst met alle beschikbare documenten en tools/software die betrekking hebben op een activiteit wordt hieronder beschreven.

C.3 Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW)

C.3.1 Activiteit 'data verzamelen'

Referenties beschrijving activiteit

- Voor de beschrijving van deze activiteit wordt verwezen naar de algemeen geaccepteerde en van toepassing zijnde protocollen, voorschriften en normen in de grond-, water- en wegebouw die te vinden zijn bij CROW en NEN.

Referenties hulpmiddel activiteit

- WBI-Parameterlijst (bijlage A uit Handleiding Datamanagement WBI 2017)*. K.S. Lam, Deltares-rapport 209432-002-GEO-0002, Delft, september 2016.
- WBI-SOS, Globale stochastische ondergrondschematisatie voor de primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, december 2015. Wordt als bestand meegeleverd met D-Soil Model.
- Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen*. M. Hijma, K.S. Lam. Deltares rapport 1209432-000-GEO-0006, Delft, december 2015.
- Doorlatendheid van SOS zand- en grindeenheden voor de SOS segmenten (bijlage F uit Schematiseringshandleiding Piping, WBI 2017)*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016. Wordt als bestand meegeleverd met D-Soil Model.
- d₇₀ van de SOS eenheden voor de SOS segmenten (bijlage F uit Schematiseringshandleiding Piping, WBI 2017)*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016. Wordt als bestand meegeleverd met D-Soil Model.

C.3.2 Activiteit 'schematiseren'

Referenties beschrijving activiteit

- Schematiseringshandleiding Piping kunstwerk, WBI 2017*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *D-Soil Model, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *D-Soil Model, Ondergrondschematiseringsproces voor geotechnische toepassingen, Handleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.

C.3.3 Activiteit 'berekenen hydraulische belastingen'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belastingen primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Tool Waterstandsverloop*
- *Gebruikershandleiding Waterstandsverloop, Versie 2.0*. J. Ansink, R. Kamp, C.P.M. Geerse. HKV, Rapport PR2803.10. Lelystad, mei 2014.

C.3.4 Activiteit 'berekenen toetsoordeel'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Ringtoets, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Installatiehandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Ringtoets, Gebruikershandleiding, Wettelijk Toets Instrumentarium 2017*. Deltares, Delft, september 2016.
- *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WBI*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.

C.3.5 Activiteit 'analyseren'

Referenties beschrijving activiteit

- *Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen*. Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving. Lelystad, september 2016.
- *Assemblageprotocol WBI2017, Nadere uitwerking van het beoogde assemblageprotocol voor het wettelijke beoordelingsinstrumentarium*. F. Diermans, K.S. Lam, H. Knoeff, Deltares rapport 1230086-010-GEO-0001, Delft, juni 2016.

Referenties hulpmiddel activiteit

- *Assemblagetool WBI2017*. Nog in ontwikkeling.

C.3.6 Toelichting bij de referenties

Het softwareprogramma Ringtoets kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Ringtoets meerdere malen genoemd bij de referenties.

De bestandsformaten behorende tot een software of tool zijn beschreven in de handleiding van de betreffende software of tool.