

Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk

WBI 2017
RWS INFORMATIE

Datum	28 mei 2021
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Informatie	Helpdesk Water, www.helpdeskwater.nl
Contact	contact@helpdeskwater.nl
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving
Datum	28 mei 2021
Status	Definitief
Versienummer	3.0

BELANGRIJK: De website van het Informatiepunt Leefomgeving (IPLO) is gelanceerd. Het IPLO is dé website voor experts met vragen over bodem, bouwen, water, milieu en de Omgevingswet. Het IPLO bundelt informatie over de uitvoering van de Omgevingswet met de kennis van Bodem+, Kenniscentrum InfoMil, Helpdesk Bouwregelgeving én Helpdesk Water. Alle relevante informatie van deze sites wordt overgebracht naar de IPLO-website en verder uitgebreid. Ook de vraagafhandeling van deze helpdesk gaat in de loop van 2021 via het IPLO verlopen. Dit betekent dat u steeds vaker wordt doorverwezen naar het IPLO. Kijk voor meer informatie op: www.iplo.nl

In de algemene en specifieke release notes van de release van 28 mei 2021 voor Riskeer 2021.1 op de helpdeskwater staan welke wijzigingen opgenomen zijn.

De functionaliteit van piping probabilistisch in Riskeer is nog niet beschreven in deze Schematiseringshandleiding.

Inhoud

Wijzigingen versies schematiseringshandleiding 7

1	Schematiseringshandleidingen en WBI 8
1.1	Schematiseringshandleidingen en WBI generiek 8
1.2	Opbouw 11
2	Stappenschema 12
2.1	Eenvoudige toets 13
2.1.1	Toetsschema en beslisregels 13
2.1.2	Onderbouwing eenvoudige beslisregels 14
2.2	Gedetailleerde toets per vak 15
2.2.1	Toetsstappen gedetailleerde toets per vak 15
2.2.2	Nadere uitwerking van het proces van de gedetailleerde toets per vak 17
2.3	Toets op maat 18
2.3.1	Peilbuismetingen 18
2.3.2	Geavanceerde grondwaterstromingsmodellen 18
2.3.3	Bewezen sterkte 19
2.3.4	Probabilistische piping of heave analyse 19
3	Belastinggevallen en hydraulische belasting 21
3.1	Relevante belastingsituaties 21
3.2	Bepaling hydraulische Belastingen 21
3.3	Maatgevende belasting 21
3.3.1	Tijdsafhankelijkheid 22
3.3.2	Waterstandsverloop tijdens maatgevende belasting 22
4	Inventarisatie beschikbare gegevens 24
4.1	Geometrie 24
4.2	Ondergrond (grondonderzoek) 24
4.3	Overige relevante gegevens 25
5	Vakindeling 26
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? 28
6.2	Opbouw van de ondergrond 29
6.2.1	Bodemopbouw naast het kunstwerk: bouwwijze van invloed 29
6.2.2	Bodemopbouw onder het kunstwerk: fundatiewijze van invloed 30
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 34
7	Overzicht parameters per model 36
7.1	Parameters model van Lane 36
7.1.1	Horizontale kwelweglengte 36
7.1.2	Verticale kwelweglengte 40

7.1.3	Creep-factor behorend bij model van Lane	43
7.1.4	Buitenwaterstand	45
7.1.5	Binnenwaterstand	46
7.2	Parameters heave-model	47
7.2.1	Stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherm	47
7.2.2	Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt	48
7.2.3	Lengte benedenstrooms kwelscherm	48
7.2.4	Een hulpmiddel om de heave-toets uit te voeren: de fragmentenmethode	49
7.3	Parameters model opbarsten	52
7.3.1	Natte volumegewicht cohesieve deklaag	53
7.3.2	Volumegewicht water	53
7.3.3	Dikte cohesieve deklaag	54
7.3.4	Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt	54
7.3.5	Stationaire stijghoogte in de zandlaag	55
7.3.6	Veiligheidsfactor voor opbarsten	56
7.3.7	Schematiseringsfactor	57
7.4	Parameters model van Bligh	57
7.4.1	Horizontale kwelweglengte	57
7.4.2	Creep-factor behorend bij model van Bligh	58
7.4.3	Buitenwaterstand	58
7.4.4	Binnenwaterstand	58
7.5	Parameters model van Sellmeijer	58
7.5.1	Kwelweglengte	59
7.5.2	d_{70}	59
7.5.3	Doorlatendheid	60
8	Voorbeeld	61
A	Literatuur	63
B	Begrippen, afkortingen en parameters	65
C	Schema werkwijze beoordeling piping kunstwerk	66
C.1	Toelichting op het schema werkwijze beoordeling	66
C.2	Schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW)	67
C.3	Referenties bij het schema werkwijze beoordeling Piping bij kunstwerk (PKW)	67
D	Afleiding kwelweglengte bij horizontaal short path	70

Wijzigingen versies schematiseringshandleiding

In voorliggende schematiseringshandleiding zijn in de afgelopen jaren enkele wijzigingen doorgevoerd. In dit hoofdstuk worden de wijzigingen per versie weergegeven. De wijzigingen komen voort uit:

- Vragen door gebruikers gesteld aan de helpdesk, welke hebben gezorgd voor verduidelijkingen en aanvullende toelichtingen in de schematiseringshandleiding.
- Voortschrijdend inzicht als gevolg van ervaringen welke zijn opgedaan met de beoordeling van *piping kunstwerken*.

De eerste versie (1.0) van de schematiseringshandleiding geldt als basis voor opvolgende versies. Deze eerste versie dateert van 2 januari 2017 en is in de basis gestoeld op het *Toetsspoorrapport Piping (WTI Kunstwerken)* [17]. Het Toetsspoorrapport heeft na 2017 geen update gehad en is op aanvraag beschikbaar. Dat betekent dat dit rapport mogelijk niet één op één meer past op de voorliggende schematiseringshandleiding. De basisprincipes zijn echter niet gewijzigd. In geval van tegenstrijdigheden prevaleert deze schematiseringshandleiding.

Wijzigingen van versie 2.0 (2019) naar versie 3.0 (2021)

Er zijn in versie 3.0 geen noemenswaardige wijzigingen aangebracht ten opzichte van versie 2.0.

Wijzigingen van versie 1.0 (2017) naar versie 2.0 (2019)

Versie 2.0 welke dateert van 28 november 2019 bevat meerdere aanpassingen ten opzichte van versie 1.0. Hieronder is een overzicht gegeven van de wijzigingen. Hierbij worden naast inhoudelijke aanpassingen alleen algemene tekstuele aanpassingen vermeld.

Nr.	Wijziging	Waar
2.a	Eenvoudige toets: In verband met het aanscherpen van bestaande eenvoudige beslisregels en het toevoegen van een enkele nieuwe beslisregel is §2.1 uitgebreid met het toetsschema van de eenvoudige toets, alle eenvoudige beslisregels in § 2.1.1 en de onderbouwing hiervan in §2.1.2.	§ 2.1
2.b	Voorts is er aandacht besteed aan de manier waarop een toetsresultaat moet worden toegekend (categorie IIv of Vv) op basis van de toetsresultaten.	§2.2.1
2.c	In Hoofdstuk 7 zijn de formules van de verschillende modellen ter verduidelijking toegevoegd. Dit geeft de gebruiker meer handvatten voor het verklaren van de verkregen resultaten.	Hoofdstuk 7
2.d	Er is verduidelijking aangebracht als het gaat over de omgang met een "short path" bij horizontale kwelwegen. Daarnaast is een kleine correctie aangebracht bij de omgang met een 'short path' bij verticale kwelwegen.	§ 7.1.1 en 7.1.2
2.e	In de vernieuwde versie van de schematiseringshandleiding is daarnaast aandacht besteed is aan: • Tekstuele verduidelijkingen van verschillende termen, zoals het correcte gebruik van de termen 'toetsen' en 'beoordelen' • Het zoveel mogelijk vervangen of duiden van de termen 'voldoet'/'voldoet niet'.	Gehele document

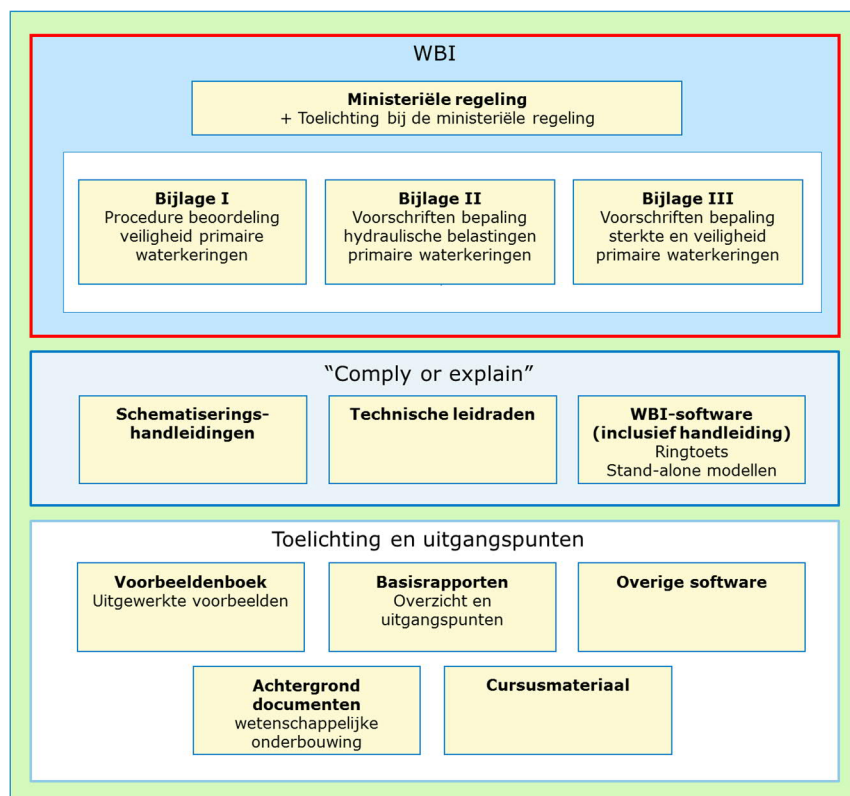
1 Schematiseringshandleidingen en WBI

1.1 Schematiseringshandleidingen en WBI generiek

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 *ondersteunen* 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. Binnen het rode kader de formele WBI documenten, daarbuiten de ondersteunende documenten en applicaties.



Figuur 1 Het WBI 2017 en daaraan gerelateerde documenten

WBI software

Er zijn meerdere 'WBI applicaties'. Riskeer is feitelijk het 'beoordelings-platform' en staat daarom ook wel bekend als dé WBI software. De andere applicaties, waaronder de diverse

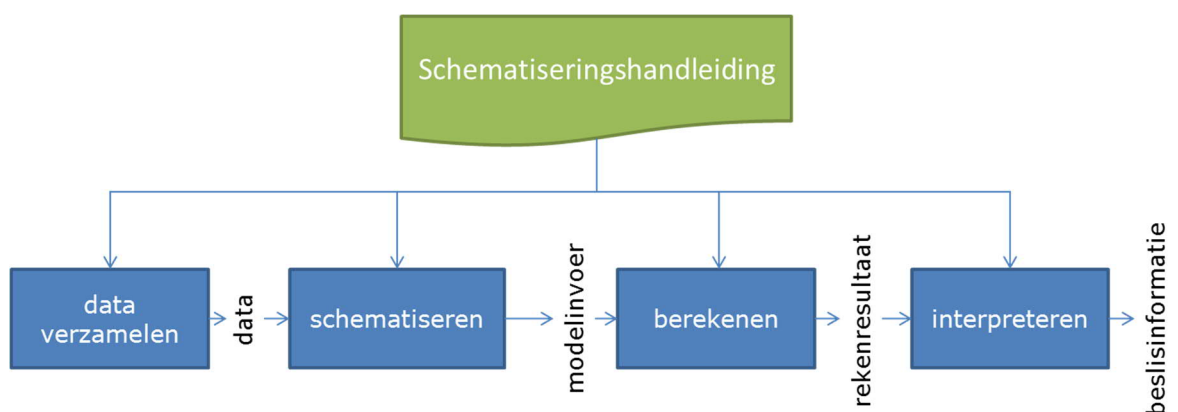
Basismodules (zoals BM Gras Buitentalud, BM Asfalt en Steentoets) en D-Soilmodel maken echter ook nadrukkelijk deel uit van de WBI software-familie.

Ringtoets of Riskeer?

Ringtoets en Riskeer zijn beide applicaties waarbinnen voor een aantal toetssporen de berekeningen en analyses kunnen worden uitgevoerd en de resultaten geassembleerd tot op het niveau van een oordeel per traject. Ringtoets versie 18.1.1 blijft de versie die primair bedoeld is voor de eenvoudige en de gedetailleerde toetsingen. Vanaf november 2019 is ook Riskeer beschikbaar, een doorontwikkelde versie van Ringtoets. Er is bewust gekozen voor de naamswijziging om het verschil tussen de applicatie t.b.v. de beoordeling (eenvoudig, gedetailleerd conform de regeling) te scheiden van de applicatie die ook kan worden ingezet voor enkele specifieke Toetsen op Maat en verificatie van overstromingskansen bij het ontwerp. In Riskeer 19.1.1 zijn namelijk nieuwe functionaliteiten beschikbaar en is ook nieuwe kennis toegepast. Wanneer overigens in Riskeer 19.1.1 met dezelfde instellingen wordt gerekend als in Ringtoets 18.1.1 leidt dat tot hetzelfde resultaat. Daar waar in deze schematiseringshandleiding over 'Riskeer' wordt gesproken, kan over het algemeen ook 'Ringtoets' worden gelezen.

Doel schematiseringshandleiding

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

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, wat zal leiden tot een betere inschatting van de overstromingskans. Vanzelfsprekend zit hier een optimum in, dat van geval tot geval verschilt. Meer gegevens is dus niet per definitie beter.

Faalmechanismen zijn vertaald in modellen. De meer complexe modellen zijn vervolgens weer in software gevat, omdat de berekeningen nu eenmaal niet meer op de achterkant van de

sigarendoos kunnen worden gemaakt. Bij softwareontwikkeling worden keuzes gemaakt voor de (vrijheid van) invoer. Soms zijn modelparameters hard geprogrammeerd, in andere gevallen is het invoer gebruiker. De beschikbare software bepaalt dus in belangrijke mate de benodigde invoer. In algemene zin kunnen we wel stellen dat een schematisering bij een model óf applicatie hoort en niet bij een faalmechanisme. De faalmechanismen zijn beschreven in de [fenomenologische beschrijving WBI](#)¹. De beschikbare modellen en (bijbehorende) applicaties beschrijven soms maar een deel van het hierin beschreven faalspoor. In een aantal gevallen zijn er meerdere modellen beschikbaar en is het aan de gebruiker een keuze te maken.

Het doorlopen van de vier activiteiten uit figuur 2 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 activiteiten 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 kan worden toegepast. De wijze waarop gegevens ingewonnen moeten worden (bijvoorbeeld hoe veldonderzoek of laboratoriumonderzoek uitgevoerd wordt) wordt slechts summier behandeld.

De schematiseringshandleiding is geen wet. Het is een handleiding die de gebruiker er niet van ontslaat zelf na te denken. Als de lokale situatie aanleiding geeft om af te wijken van wat in de Schematiseringshandleiding staat beschreven, is dat zelfs aan te raden.

Veel van wat in deze schematiseringshandleiding staat beschreven is ook toepasbaar bij het ontwerp van (primaire) waterkeringen, of bijvoorbeeld bij het toetsen van regionale keringen. Op een aantal plekken zijn ook specifiek ten aanzien van ontwerpen handvatten gegeven. De lezer moet zich echter nadrukkelijk realiseren dat deze schematiseringshandleiding is geschreven voor de beoordeling van primaire waterkeringen.

Uitgangspunten

Voor alle schematiseringshandleidingen gelden de volgende uitgangspunten:

- Voor de gegevens die in het rekenmodel voor het toetsspoor worden ingevoerd wordt een format voorgeschreven. Een rekenmodel kent immers toepassingsgrenzen. Het format sluit aan bij de Aquo standaard. Verdere informatie hierover is te vinden in de Handleiding datamanagement² 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 de waarden die voor parameters aangehouden kunnen worden. In de Handleiding Datamanagement WBI [3] (paragraaf 4.1) zijn vier typen waarden benoemd, die ook in deze schematiseringshandleiding worden gehanteerd:

¹ <https://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@192499/fenomenologische/>

² <https://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina/zoeken-site/@205764/handleiding/>

Groep	Benaming	Toelichting
1	Vaste waarde	Parameterwaarden mogen door de gebruiker niet worden gewijzigd (voor de beoordeling).
2	Defaultwaarde of aanbevolen waarde	Parameterwaarden mogen door de gebruiker wel worden gewijzigd.
3	Startwaarde	Parameterwaarden worden bij voorkeur door lokale waarden vervangen.
4	Vrije waarde	Geen gegeven parameterwaarden. De gebruiker moet de regionale of lokale waarden bepalen of op ervaring inschatten.

Doelgroep

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

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 Riskeer) 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*.

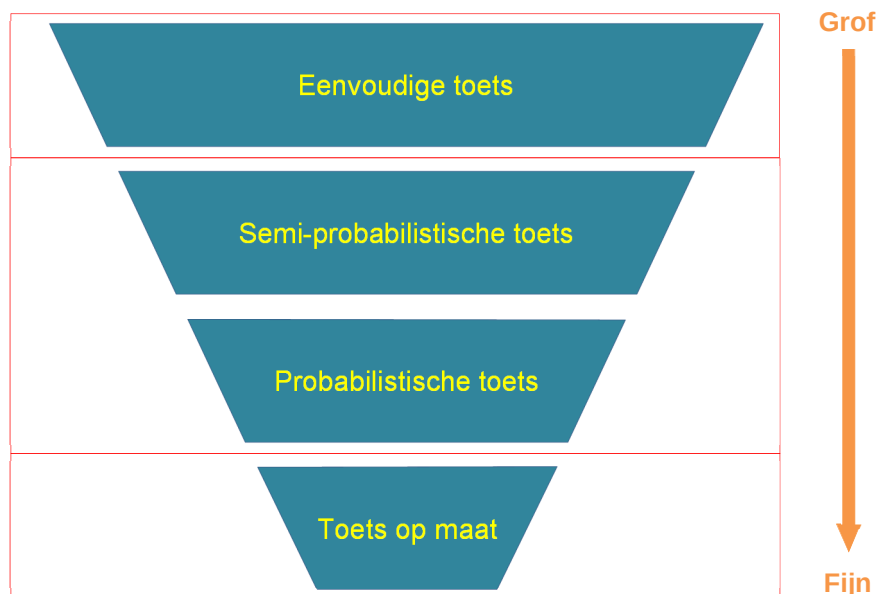
2 Stappenschema

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

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

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



Figuur 2-1 De diverse toetsen in de beoordelingsprocedure

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

Voor de schema's voor de *eenvoudige* en *gedetailleerde toets per vak* wordt verwezen naar hoofdstuk 19 van *WBI 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*. De onderliggende beslisregels van de *eenvoudige toets* zijn echter niet geheel correct gebleken. De correcte beslisregels worden daarom in dit hoofdstuk gepresenteerd. Aanbevolen wordt de beslisregels uit deze schematiseringshandleiding te gebruiken. Daarnaast is een nieuwe beslisregel toegevoegd.

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

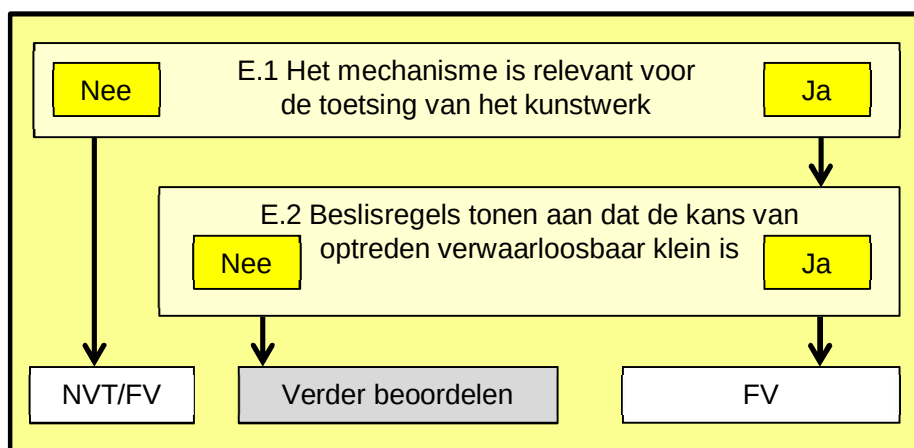
2.1 Eenvoudige toets

In de *eenvoudige toets* wordt met eenvoudige beslisregels gecontroleerd of de kans op falen voor het faalmechanisme *piping* bij kunstwerken voldoende klein is. Indien dit het geval is, dan hoeft geen verdere beoordeling uitgevoerd te worden en kan de score 'NVT/FV' of 'FV' (niet van toepassing of faalkans verwaarloosbaar) worden toegekend. Indien dit niet het geval is, wordt het beoordelingsproces vervolgd als beschreven in *WBI 2017 Bijlage I Procedure*.

2.1.1 Toetsschema en beslisregels

De regels voor de *eenvoudige toets* zijn hieronder weergegeven en bevatten enkele wijzigingen en toevoegingen op de regels voor de eenvoudige toets. Toepassing van de wijzigingen zijn te beschouwen als een toets op maat. Op basis van ervaringen met het beoordelen zijn enkele toevoegingen en nuances aangebracht.

Voor het gebruik van de regels uit de eenvoudige toets zijn slechts enkele gegevens van het kunstwerk nodig. Een daadwerkelijke schematisering hoeft niet uitgevoerd te worden. In dit hoofdstuk wordt daarom geen aandacht besteed aan schematisering ten behoeve van de eenvoudige toets.



Figuur 2-2 Schema eenvoudige toets piping kunstwerk (PKW)

Stap E.1: Het mechanisme is relevant voor de beoordeling van het kunstwerk

Het mechanisme is altijd relevant voor kunstwerken, tenzij:

- Aan de uittredezijde van het kunstwerk een filter aanwezig is waarin uitstroming plaatsvindt. Indien dit filter voldoet aan de 'filterregels' en de conditie is goed, dan is de veiligheid met betrekking tot piping gewaarborgd.
- De kruising met de waterkering bestaat uit een leiding waarvan de leidingdiameter kleiner is dan 0,50 m.
- Het een gemaal of hevelleiding betreft waarvan de onderzijde van de leiding op het niveau van de waterstand bij de ondergrens van de norm of hoger door de dijk gaat en de kwelweg de leiding volgt.

Stap E.2: Beslisregels tonen aan dat de kans van optreden verwaarloosbaar klein is

Beslisregel 1: De kans op het optreden van piping wordt als verwaarloosbaar klein beschouwd als voldaan wordt aan onderstaande voorwaarden:

- De constructie en eventuele kwelschermen worden rondom omsloten door een slecht doorlatend klei-/veenpakket van minimaal 1 m dikte (na zetting aan het eind van de beoordelingsperiode), waarbij er geen in- of uittredepunten voor piping via de aansluiting tussen grond en constructie kunnen ontstaan.

- Indien de constructie op palen is gefundeerd moet deze voorzien zijn van een functionerend kwelscherm (dit zal nagenoeg altijd het geval zijn).

Beslisregel 2: De kans op het optreden van piping wordt als verwaarloosbaar klein beschouwd als één van de kwelschermen een lengte heeft die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk bij de waterstand die hoort bij categorie A (de signaleringswaarde) EN achterloopsheid niet van toepassing is. Situaties waarin achterloopsheid uitgesloten wordt zijn:

- Kunstwerken die zijn opgenomen in een dijklichaam met een zandkern; in deze situatie dient een beoordeling op microstabiliteit van het aansluitende grondlichaam gedaan te worden. Tevens dienen de achterloopsheidschermen een bepaalde minimummaat buiten het kunstwerk te zijn doorgezet; aanbevolen wordt hier als praktische maat de lengte van het kwelscherm onder de constructie voor te hanteren.
- Kunstwerken waarbij aan de binnendijkse zijde een filterconstructie is opgenomen om achterloopsheid tegen te gaan; het filter dient hierbij te voldoen aan de 'filterregels' en in goede conditie te zijn.

Als aan (tenminste) één van beide beslisregels wordt voldaan, dan is de kans van optreden van piping verwaarloosbaar klein. Anders kan op grond van deze eenvoudige toets geen oordeel worden geveld.

2.1.2

Onderbouwing eenvoudige beslisregels

In deze paragraaf worden de eenvoudige beslisregels herhaald en worden de gedachten die hieraan ten grondslag liggen bijgevoegd. Bij elke beslisregel is *cursief* de onderbouwing aangegeven.

Stap E.1

- Aan de uittredezijde van het kunstwerk is een filter aanwezig waarin uitstroming plaatsvindt. Indien dit filter voldoet aan de 'filterregels' en de conditie is goed, dan is de veiligheid met betrekking tot piping gewaarborgd.
Een goed functionerend filter zorgt ervoor dat het water uittreedt in het filter en dat hierbij geen zanddeeltjes worden meegevoerd. Voor een overzicht van de 'filterregels' waaraan moet worden voldaan wordt verwezen naar paragraaf 5.4.3 en paragraaf 8.6 van het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen [10]. Het filter moet op zowel de locaties met betrekking tot onderloopsheid als tot achterloopsheid zijn aangebracht.
- De kruising met de waterkering bestaat uit een leiding waarvan de leidingdiameter kleiner is dan 0,50 m.
Bij kleine leidingen is het 'afdak' boven de pipe niet groot genoeg om een doorgaande pipe van substantiële afmetingen te laten ontstaan, omdat de pipe vanaf de zijanten en bovenkant weer wordt dichtgedrukt. De maat van 0,50 meter is een arbitrair gekozen maat op basis van een inschatting door deskundigen op dit vakgebied.
- Het een gemaal of hevelleiding betreft waarvan de onderzijde van de leiding op het niveau van de waterstand bij de ondergrens van de norm of hoger door de dijk gaat en de kwelweg de leiding volgt.
In dit geval is op het hoogste punt van de leiding geen grondwaterstroming meer aanwezig omdat de aandrijvende kracht ontbreekt. Wel moet geverifieerd worden dat de kwelweg tussen in- en uittredepunt onder de leiding langs loopt en niet via een samenspel tussen leiding en cohesieve grondlagen een andere kwelweg mogelijk is. In dit geval kan de waterstand bij de ondergrens van de norm gehanteerd worden, omdat als gevolg van intrede- en stromingsweerstand altijd een bepaald verval nodig is over de leiding om tot piping te leiden. Dit benodigde verval zal altijd groter zijn dan het verschil tussen de waterstanden bij de signaleringswaarde en ondergrens van de norm.

Stap E.2

- De eerste beslisregel spreekt voor zich. Wel is ten opzichte van Bijlage III en WTI2011 de voorwaarde geschrapd dat de onder het kunstwerk aanwezige zandlagen voldoen aan de eis volgens het toetsspoor piping (bij dijken).
Indien kunstwerken worden omsloten door een slecht doorlatend klei-/veenpakket van minimaal 1 m dikte dan zal het kunstwerk altijd gefundeerd zijn op palen. Dat betekent dat een pipe onder deze afdekkende laag niet zal leiden tot bezwijken van het kunstwerk. Hooguit zakt de afdekkende laag wat verder weg, maar voordat dit leidt tot het bezwijken van het kunstwerk moet een enorme hoeveelheid zand onder het kunstwerk vandaan worden gespoeld. Dit wordt niet realistisch geacht.
- Indien achterloopsheid niet van toepassing is en één van de kwelschermen heeft een lengte die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk bij maatgevende waterstanden, dan is de faalkans verwaarloosbaar klein.
Als één van de kwelschermen een lengte heeft die groter is dan twee keer het verval over het kunstwerk bij maatgevende waterstanden, dan is het kritieke verhang over het benedenstroomse kwelscherm altijd kleiner dan 0,5. Hiermee wordt voldaan aan het heave-criterium uit het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen [10].

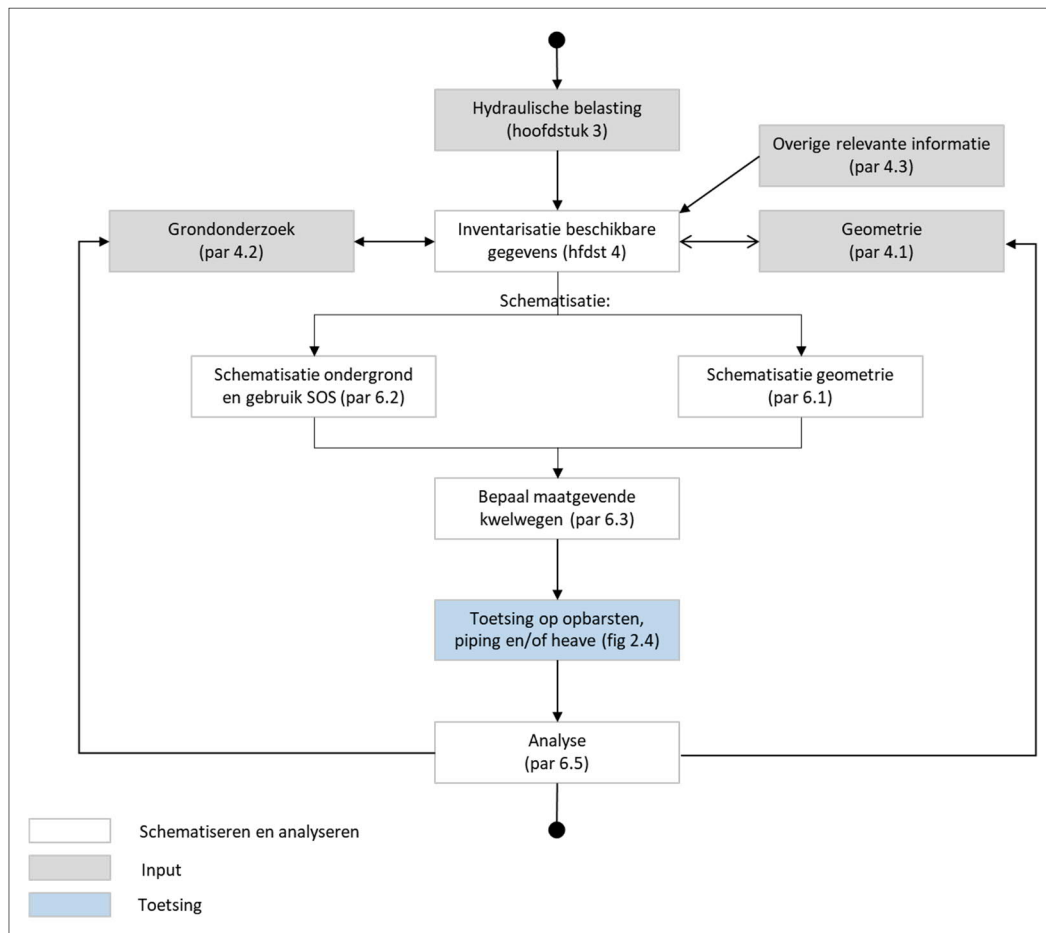
2.2 Gedetailleerde toets per vak

2.2.1 Toetsstappen gedetailleerde toets per vak

In onderstaand schema zijn de stappen gegeven die in de gedetailleerde toets per vak 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 per vak kent een cyclisch verloop:

- Er is een wisselwerking tussen de inventarisatie en het uitvoeren van grondonderzoek/verzamelen van 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.



Figuur 2-3 Schematische weergave activiteiten beoordeling *piping* bij kunstwerk

Opgemerkt wordt dat in paragraaf 2.1 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* het toetsspoor *piping bij kunstwerk* ten onrechte is aangemerkt als toetsspoor waarbij in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd die door extrapolatie een afstand tot de norm levert (groep 2). Het toetsspoor *piping bij kunstwerk* valt in groep 4 *Toetssporen waarvoor geen probabilistische berekening of semi-probabilistische berekening met veiligheidsfactoren die voor WBI 2017 zijn afgeleid beschikbaar zijn*. Dit betekent ook dat er, in tegenstelling tot hetgeen in paragraaf 19.2 van *Bijlage III Sterkte en veiligheid* vermeld staat, géén faalkans wordt berekend en dus ook niet wordt vergeleken met de faalkanseis.

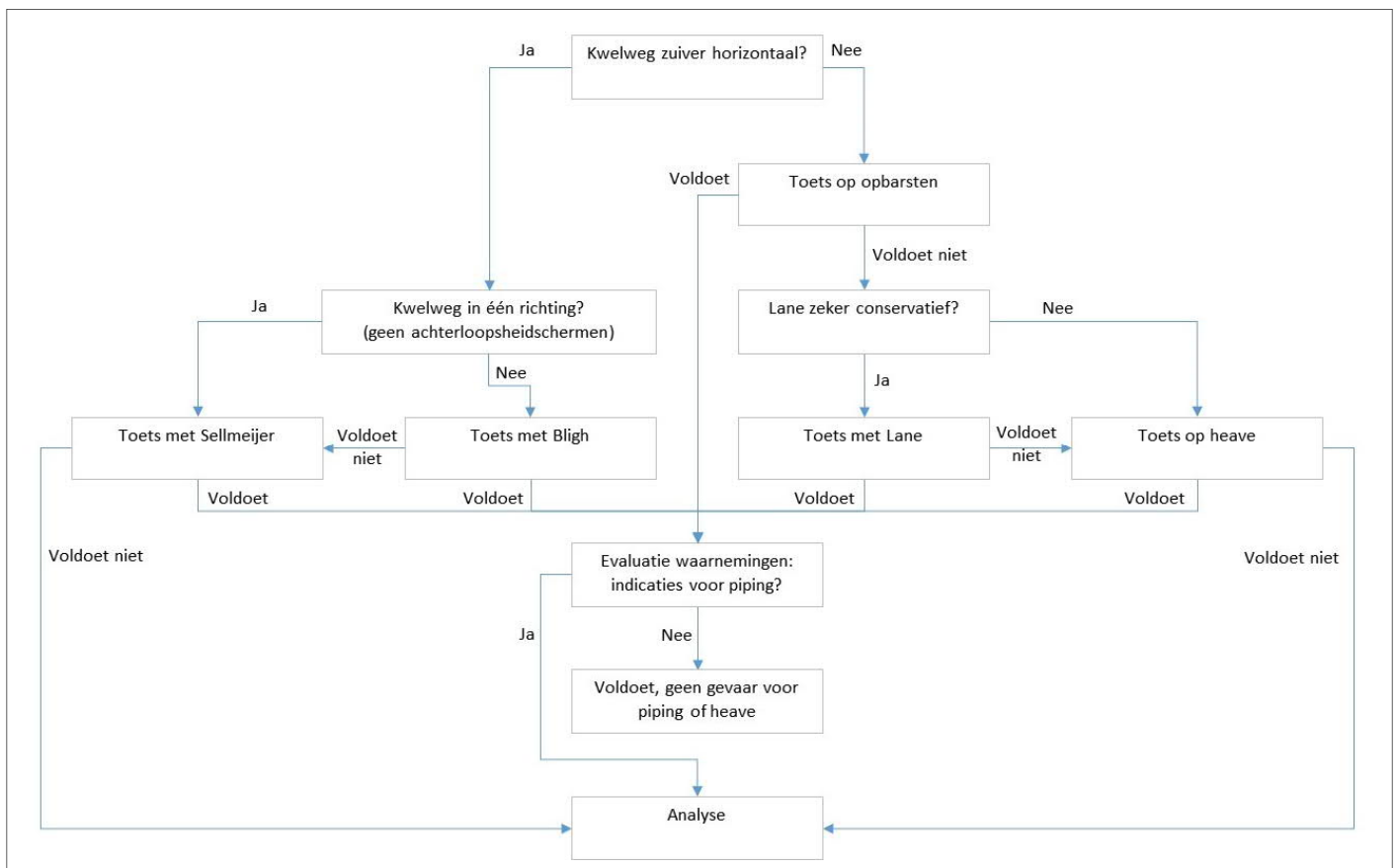
Hieruit vloeit voort dat tijdens het assembleren uitsluitend oordeel II_v (voldoet aan de belastingen bij de norm van het dijktraject) of V_v (voldoet niet aan de belastingen bij de norm van het dijktraject) kan worden toegekend. De gedetailleerde toets per vak wordt uitgevoerd met de waterstand die hoort bij de norm van het dijktraject. Indien hieraan wordt voldaan dan is het oordeel II_v . Wordt hieraan niet voldaan dan is het oordeel V_v . Het is aan de beheerder welke norm wordt gehanteerd: signaleringswaarde (waterstand categorie A) of ondergrens (waterstand categorie B).

Uiteraard geldt dat als in de gedetailleerde toets per vak het oordeel V_v is toegekend de mogelijkheden van de Toets op maat moeten worden verkend om meer zekerheid te verkrijgen aangaande het oordeel.

2.2.2

Nadere uitwerking van het proces van de gedetailleerde toets per vak

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 van mogelijk maatgevende kwelwegen is dat dit driedimensionaal moet gebeuren. De aard van de mogelijke kwelwegen bepaalt vervolgens welk model gebruikt moet worden. Dit wordt in Figuur 2-4 nader uitgewerkt. Dit betreft dus het blauwe blok toetsing uit Figuur 2-3.



Figuur 2-4 Uitwerking blok Beoordeling uit stappenschema Figuur 2-3

In de gedetailleerde toets per vak 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 *Toetsspoorrapport* [17] of *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10]).
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 (zie volgende paragraaf 2.3 Toets op maat).

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 2-4 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* [17].

2.3 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 per vak vallen. Daarnaast valt het gebruik van eenvoudige toetsregels ook onder de toets op maat indien hiermee wordt afgeweken van de regels zoals opgenomen in *Bijlage III Sterkte en veiligheid*.

Een *toets op maat* is slechts een van de mogelijke stappen die genomen kan worden na een score V_v (voldoet niet aan de ondergrens) in de *gedetailleerde toets per vak*. 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10].

2.3.1 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 beoordelaar 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.

2.3.2 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 getijdegebied³ en een stormgedomineerd gebied (zoals de delta's, het IJsselmeergebied en andere kleinere meren).
- 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.

2.3.3 *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 Macrostabiliteit binnenwaarts voor grondlichamen. Met behulp van specialistische kennis is het soms mogelijk om deze methode toe te passen voor piping bij kunstwerken.

2.3.4 *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-Ring⁴ is echter wel een hulpmiddel beschikbaar om een probabilistische berekening uit te voeren. Daarnaast zijn diverse andere programma's beschikbaar die gebruikt kunnen worden voor een probabilistische analyse. In deze paragraaf wordt alleen ingegaan op PC-Ring.

Indien het oordeel gebaseerd is op het model van Bligh of Lane dan kan PC-Ring 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 Riskeer. De faalkans kan als volgt ingeschat worden:

- Genereer de overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand uit Riskeer ter plaatse van het beschouwde kunstwerk.
- Genereer de overschrijdingsfrequentielijn van de waterstand uit PC-Ring ter plaatse van het beschouwde kunstwerk.
- Bepaal het verschil tussen beide overschrijdingsfrequentielijnen.

³ De benedenrivieren kunnen deels ook worden gezien als getijde gebied.

⁴ Noot: PC-Ring wordt niet meer onderhouden en het gebruik wordt niet meer ondersteund

- Corrigeer de waterstand in PC-Ring met dit verschil en voer de probabilistische berekening voor piping binnen PC-Ring uit.

Indien het oordeel is gebaseerd op het model van Sellmeijer dan kan gebruik worden gemaakt van Riskeer. In Riskeer is dit model namelijk probabilistisch opgenomen in het dijkenstroom. Er moet dan een dijkenstroom handmatig worden aangepast en worden omgeschreven naar een kunstwerkstroom.

Bij het model van Heave is het niet mogelijk om met PC-Ring of Riskeer een probabilistische berekening uit te voeren.

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 Relevante belastingsituaties

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 belastingsituaties die samenhangen met beheer en onderhoud van het object vallen buiten het kader van de wettelijke veiligheidsbeoordeling.

3.2 Bepaling 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 Riskeer 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 Riskeer 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 plaatsvindt als gevolg waarvan terugschrijdende erosie onder of naast het kunstwerk optreedt 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 Riskeer bepaald.
- Binnenwaterstand. Dit is de lokale waterstand aan de binnenzijde van het kunstwerk onder hoogwateromstandigheden. Deze wordt buiten Riskeer om bepaald, in paragraaf 7.1.5 worden nadere aanwijzingen hiervoor gegeven.
- Waterstandsverlooplijn voor het in rekening brengen van niet-stationaire belasting en daarmee een niet stationaire afgeleide grondwaterstroming (zie bijlage II van de Ministeriële regeling 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' duur, veroorzaakt door trage stochasten zoals afvoeren en meerpeilen (zie bijlage II), 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 kering 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 benedenriviereengebied, 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. Met deze tool kunnen eenvoudig waterstandsverlopen op een bepaalde locatie in Nederland worden opgevraagd en geëxporteerd. De waterstandsverlopen uit het programma Waterstandsverloop zijn specifiek van toepassing voor de beoordeling van geotechnische faalmechanismen waarbij langdurig aanhoudende hoge waterstanden bedreigend zijn, zoals piping bij kunstwerken. Voor deze tool is een aparte gebruikershandleiding beschikbaar ([2]).

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 het Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen [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 per vak beschikbaar. Zie hiervoor *Lambert* ([18]) en het *TR Waterspanningen bij Dijken* ([15]).

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

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 kortdurende 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, 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 doottij. 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 van de 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 hoofdstuk), 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:
 - o Aanwezigheid.
 - o Locatie.
 - o Dimensies.
 - o 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 het *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 het STOWA-rapport *Historische kunstwerken* [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.

4.3 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 het *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 Riskeer) als apart vak gedefinieerd. Samengestelde kunstwerkcomplexen (bijvoorbeeld sluizencomplexen) worden hierbij ontleed, waarbij ieder kunstwerk waar mogelijk apart beoordeeld 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. Voor piping houdt dit in dat ook de kwelwegen van het kunstwerkcomplex als geheel moeten worden beschouwd en niet alleen de kwelwegen die slechts aan één van de kunstwerken van het complex zijn gerelateerd.

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 beschrijving van de schematisatie 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 is⁵. 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.

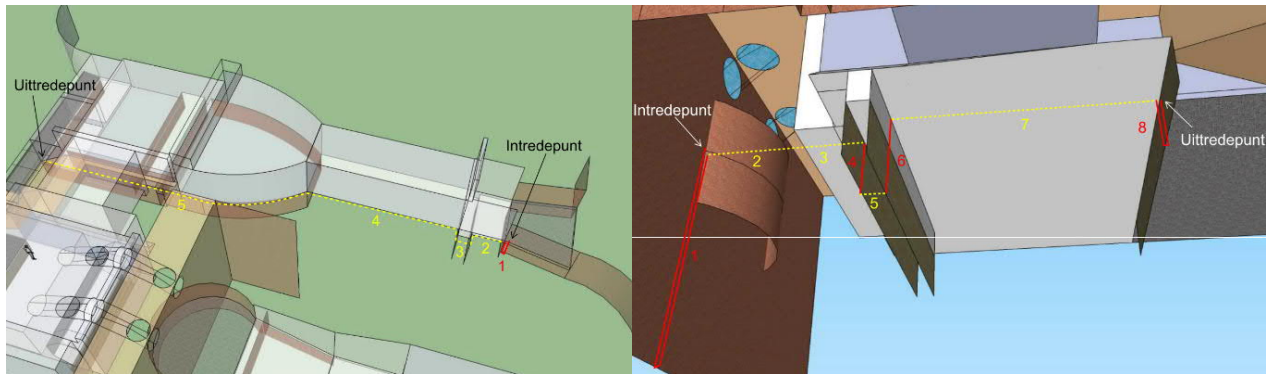
6.1.1 Identificatie mogelijk maatgevende kwelwegen

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 tekensystemen, maar ook met eenvoudiger tekenprogramma's zoals Google SketchUp is het

⁵ Er is een uitzondering. Als de waterkering net niet is goedgekeurd kan het zinvol zijn dat de faalkans verdeling wordt verdeeld in een probabilistische som in een toets op maat.

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

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. In Figuur 2-4 is aangegeven wanneer welk model moet worden toegepast. 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 filters⁶.

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, onderwater 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.

⁶ Noot: Granulaire filters kunnen ook piping tegengaan afhankelijk van hun korreldiameter.

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, onderwater 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 betekent dit dat er eisen moeten worden gesteld aan zanddichtheid en waterdoorlatendheid van de constructie. Daarnaast dient de filterwerking over ten minste de beoordelingsperiode 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.

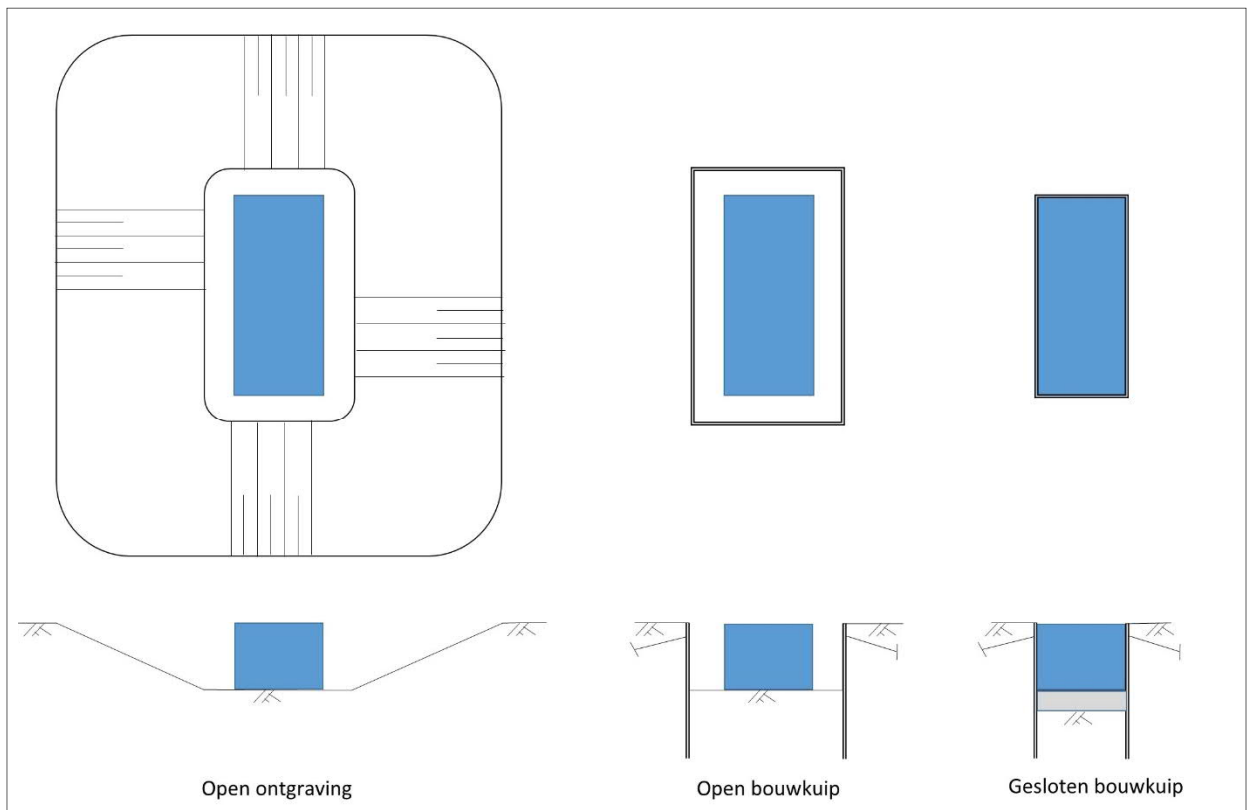
Waterdoorlatende bodembeschermingen die niet zanddicht zijn worden nooit meegenomen bij de bepaling van de kwelweglengte.

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 6-2 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 aan de signaleringswaarde' 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 uitsluitel 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 onder andere gebruikt bij het toetsstroom *piping*. In de *Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS* [4] wordt in detail beschreven hoe de SOS is opgezet en waaruit de SOS bestaat.

Voor het toetsstroom 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* [19]. Ten behoeve van de berekening met de modellen van Bligh en Lane kan de d_{70} worden omgerekend naar de d_{50} met de volgende formule: $d_{50} = d_{70}/1,35$ (*Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 komt niet overeen met de opzet en het doel van de SOS. Het toetsstroom *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 aan de signaleringswaarde' 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 beoordelaar 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 *TR Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken* [13].

Een dergelijke schematiseringsanalyse is nog niet uitgewerkt voor de modellen van Bligh en Lane. Het is aan de beoordelaar om aan te tonen dat ongunstige schematiseringen, die leiden tot een oordeel 'voldoet niet aan de ondergrens', een zodanig kleine kans van voorkomen hebben dat deze slechts weinig bijdragen aan de faalkans. De schematiseringstheorie uit *TR*

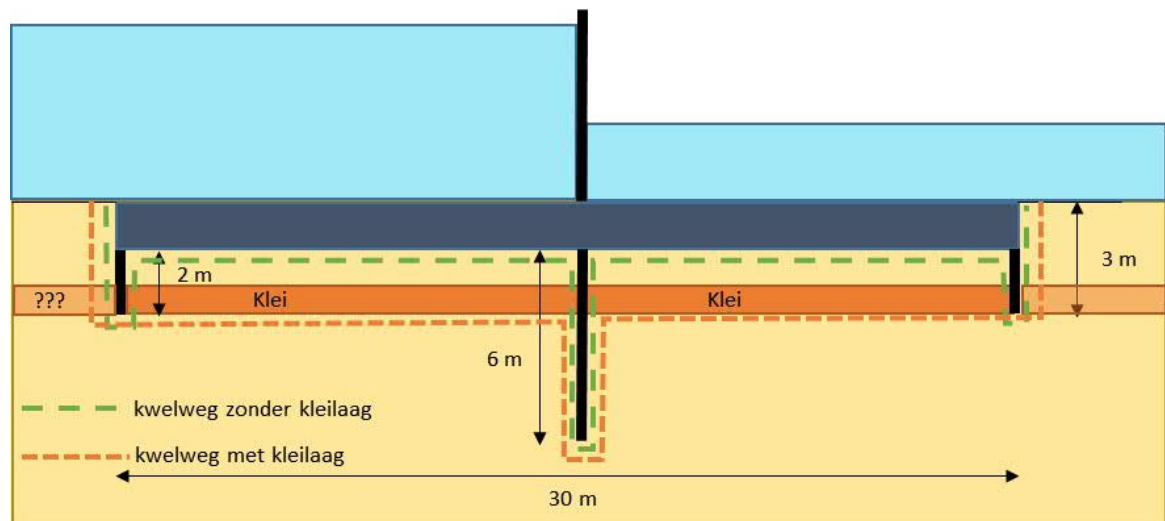
Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken [13] kan als voorbeeld dienen bij het beredeneren van de keuze van de schematisering voor een analyse met de modellen van Bligh en Lane. Voor een uitgewerkt voorbeeld van de toepassing ervan wordt verwezen naar paragraaf 12.3.7 van *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 6-3 geeft hier een voorbeeld van.



Figuur 6-3 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 in dat geval 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 aan de signaleringswaarde', 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 beoordeling een positief resultaat oplevert en er geen waarnemingen zijn gedaan die duiden op pipinggevoeligheid van het kunstwerk dan kan de score 'voldoet aan de signaleringswaarde' worden toegekend.

6.5

Nadere analyse

Als een eerste gedetailleerde analyse geen resultaat 'voldoet aan de signaleringswaarde' 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10] gaan uitgebreid in op methoden om aanvullende informatie aangaande grondopbouw en kwelschermen te verzamelen. Met de nieuw verzamelde informatie kan vervolgens de beoordeling 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 beoordeling geen score 'voldoet aan de signaleringswaarde' 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 beoordelen kan een meer geavanceerde beoordeling zinvol zijn. Een geavanceerde beoordeling zal dikwijls op een analyse van het uittredeverhang zijn gebaseerd. Dit uittredeverhang kan in een geavanceerde beoordeling 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 en wat hierbij de aandachtspunten zijn. Daarnaast worden voorbeelden gegeven.

Voor het WBI 2017 is voor de beoordeling van piping bij kunstwerken geen probabilistische methode 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 ziet er als volgt uit:

$$\Delta H \leq \Delta H_c = \frac{\left(\frac{1}{3}L_h + L_v\right)}{C_{w,creep}} \quad 7-1$$

Hierin zijn de volgende parameters opgenomen, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Horizontale kwelweglengte L_h .
- Verticale kwelweglengte L_v .
- Creep-factor behorend bij model van Lane $C_{w,creep}$.
- Verval over het kunstwerk $\Delta H = h_{bu} - h_{bi}$.
- Buitenwaterstand h_{bu} .
- Binnenwaterstand h_{bi} .

7.1.1 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

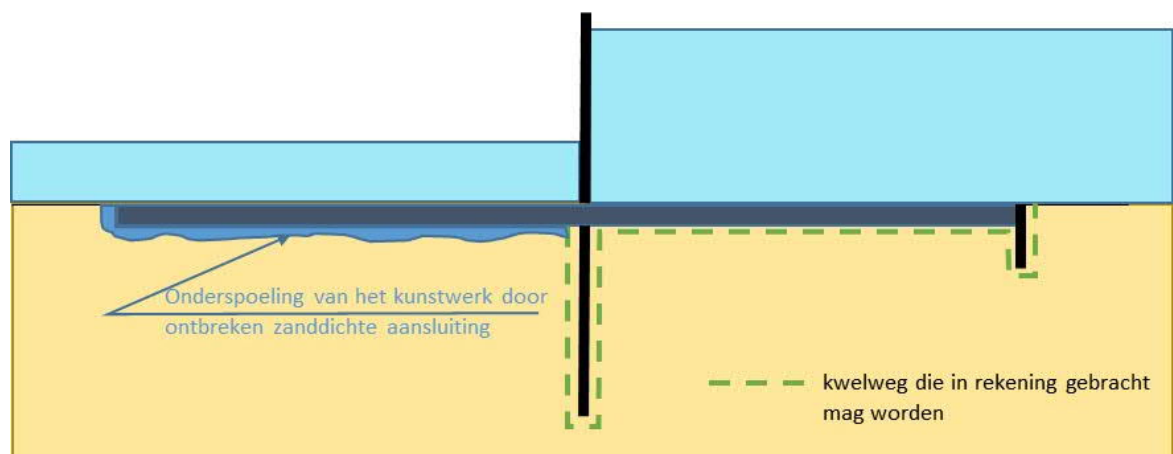
Bij kunstwerken liggen in- en uittreepunt vaak vrij vast ten opzichte van de situatie bij dijken. Zo zal het intreepunt doorgaans gelegen zijn op de bodem of in het talud van de buitendijkse watergang en het uittreepunt op de bodem of in het talud van de binnendijkse watergang. De wijze waarop de afstand 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. In het model van Lane wordt de horizontale kwelweglengte in dat geval met een factor 1/3 vermenigvuldigd bij de bepaling van de totale kwelweglengte.

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 tunnelelementen 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 (*Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10]paragraaf 5.3.4 [10]).⁷

Voor horizontale kwelwegen onder kunstwerken die op staal zijn gefundeerd geldt tevens de 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 uittreepunt niet worden meegenomen als een zand dicht aangesloten bodembescherming ontbreekt.



Figuur 7-1 Voorbeeld van kunstwerk zonder zanddichte aansluiting benedenstrooms

Uiteindelijk worden de maatgevende kwelwegen voor twee situaties bepaald en berekend:

1. Maatgevende kwelweg die (ook) verticale kwelwegdelen bevat.
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.

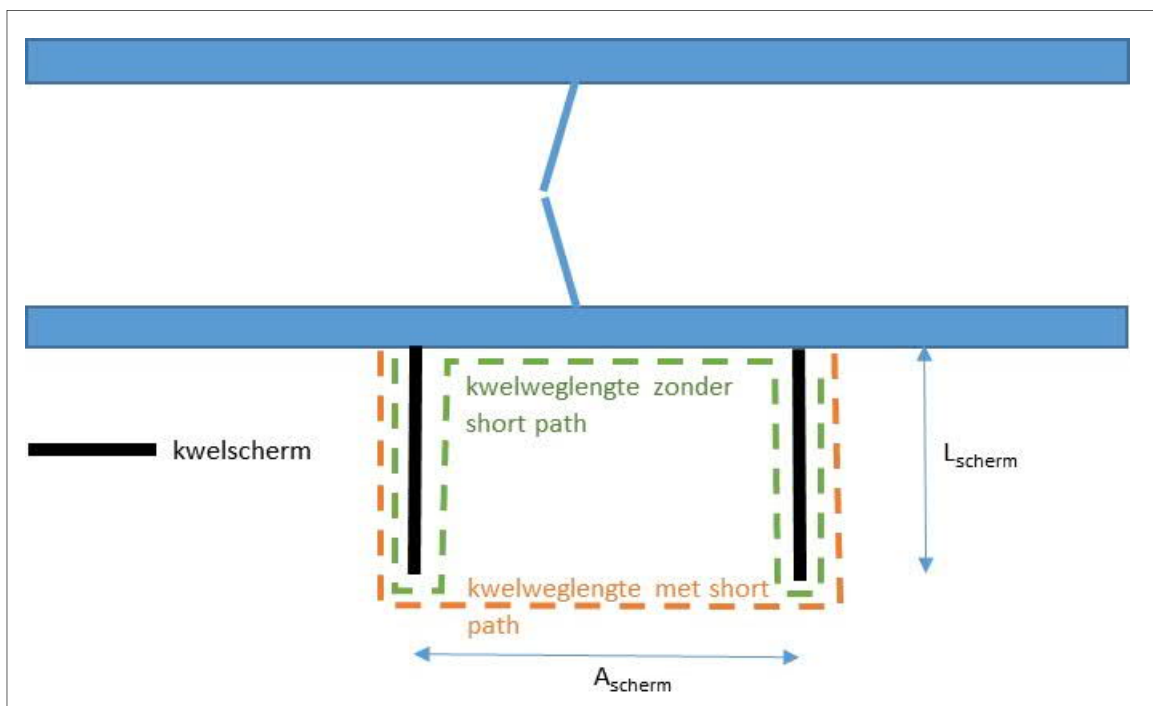
⁷ Opgemerkt wordt dat dit niet aan de oorspronkelijke publicatie van Lane valt te ontleen, maar inmiddels wel de gangbare ontwerp- en beoordelingspraktijk is geworden in Nederland

Aandachtspunten

Tussen schermen of constructieonderdelen kan een kortgesloten kwelweg ontstaan, een zogeheten 'short path' (zie de kwelweg aangeduid met 3 in Figuur 7-3). Bij gebrek aan gevalideerde rekenregels voor een short path bij horizontale kwelwegen wordt voorgesteld uit te gaan van de volgende werkwijze, geïnspireerd op de werkwijze bij een short path bij verticale kwelwegen 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.

Onderstaand wordt aangegeven welke kwelweglengte in geval van een 'short path' kan worden meegenomen. Hierin is L_{scherm} de lengte van het scherm uit de constructie en A_{scherm} de afstand tussen de schermen, zie ook onderstaande Figuur 7-2.



Figuur 7-2 Kwelweglengte met en zonder short path

Indien er geen sprake is van een short path, dan is de kwelweglengte om de twee kwelschermen in Figuur 7-2 gelijk aan $2 \cdot L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}} + 2 \cdot L_{\text{scherm}}$. Indien er wel sprake is van een short path dan is de kwelweglengte bij gelijke scherm lengte gelijk aan $2 \cdot L_{\text{scherm}} + 2 \cdot A_{\text{scherm}}$ (voor afleiding zie bijlage D). Samengevat kan de horizontale kwelweglengte als gevolg van de kwelschermen in bovenstaande situatie bepaald worden met de volgende formule:

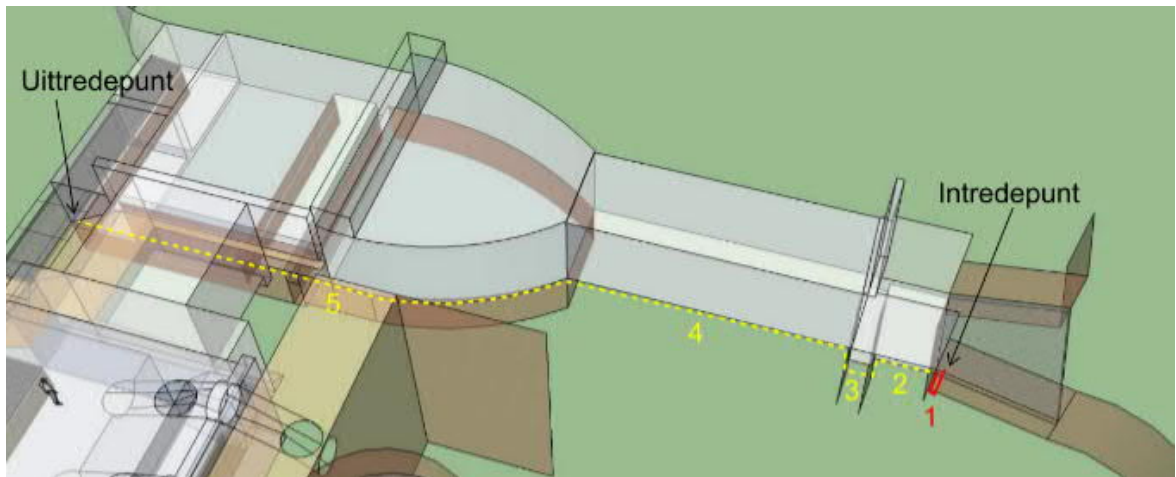
$$L_h = 2 \cdot L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}} + \min\{A_{\text{scherm}}; 2 \cdot L_{\text{scherm}}\}$$

7-2

Voorbeeld

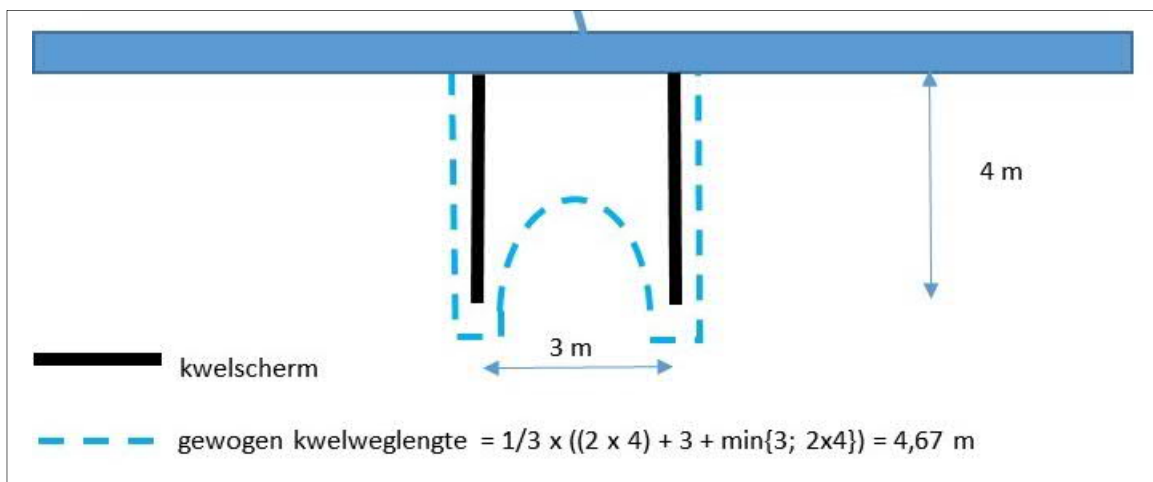
In Figuur 7-3 is met de gele stippellijn de horizontale kwelweg weergegeven op het grensvlak zand-klei van een complex kunstwerk. De kleidijk is omwille van de zichtbaarheid van de

kwelwegen niet getekend. In het algemeen is bij achterloopsheid vaak sprake van een nagenoeg geheel horizontale kwelweg.



Figuur 7-3 Horizontale kwelweg (geel) langs kunstwerk (verticale kwelweg is rood)

Hoe om te gaan met kwelweg 3 in Figuur 7-3? 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 (zie Figuur 7-4). 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 die als gevolg van de schermen in het model van Lane in rekening mag worden gebracht is $L_h = 2 \times L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}} + \min\{A_{\text{scherm}}; 2 \times L_{\text{scherm}}\} = 2 \times 4 + 3 + \min\{3; 2 \times 4\} = 8 + 3 + 3 = 14$ m. Deze kwelweglengte wordt in het model van Lane nog vermenigvuldigd met een factor $\frac{1}{3}$, dus de 'gewogen' kwelweglengte in het model van Lane bedraagt $\frac{1}{3} \times 14 = 4,67$ m.



Figuur 7-4 Bepaling horizontale kwelweglengte (in dit voorbeeld met short path)

7.1.2 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 langs de constructie die onder een hoek van 45° of groter met de horizontaal lopen.

Hoe te bepalen

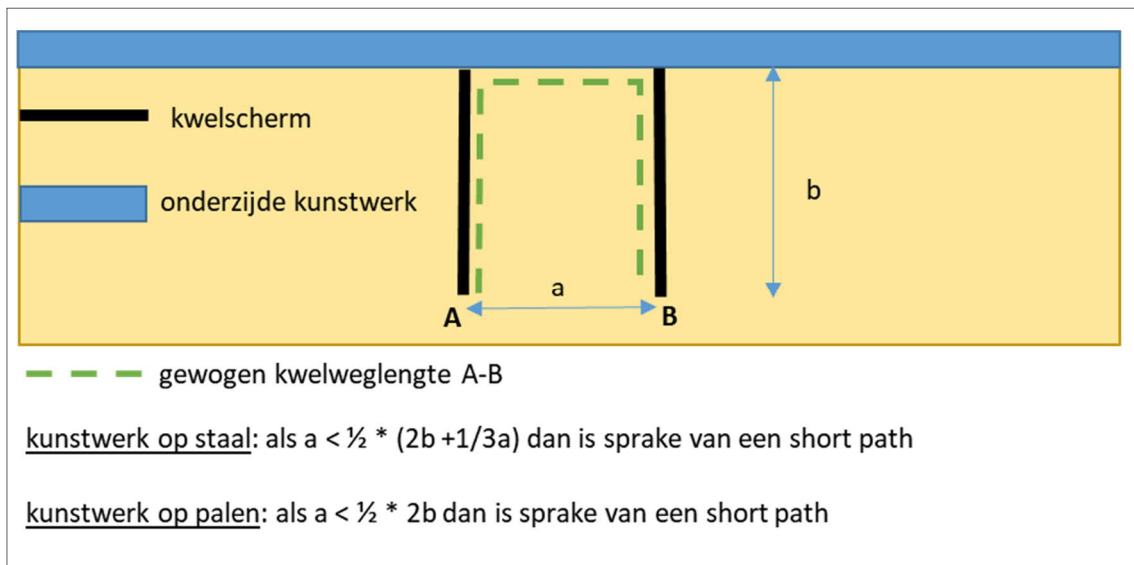
Bij kunstwerken liggen in- en uittreepunt vaak vrij vast. Zo zal het intreepunt doorgaans gelegen zijn op de bodem of in het talud van de buitendijkse watergang en het uittreepunt op de bodem of in het talud van de binnendijkse watergang. De wijze waarop de afstand tussen in- en uittreepunt wordt overbrugd 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 (reductiefactor 1/3 voor kwelwegdelen onder de constructie) 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 zogeheten 'short path', 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 7-5.



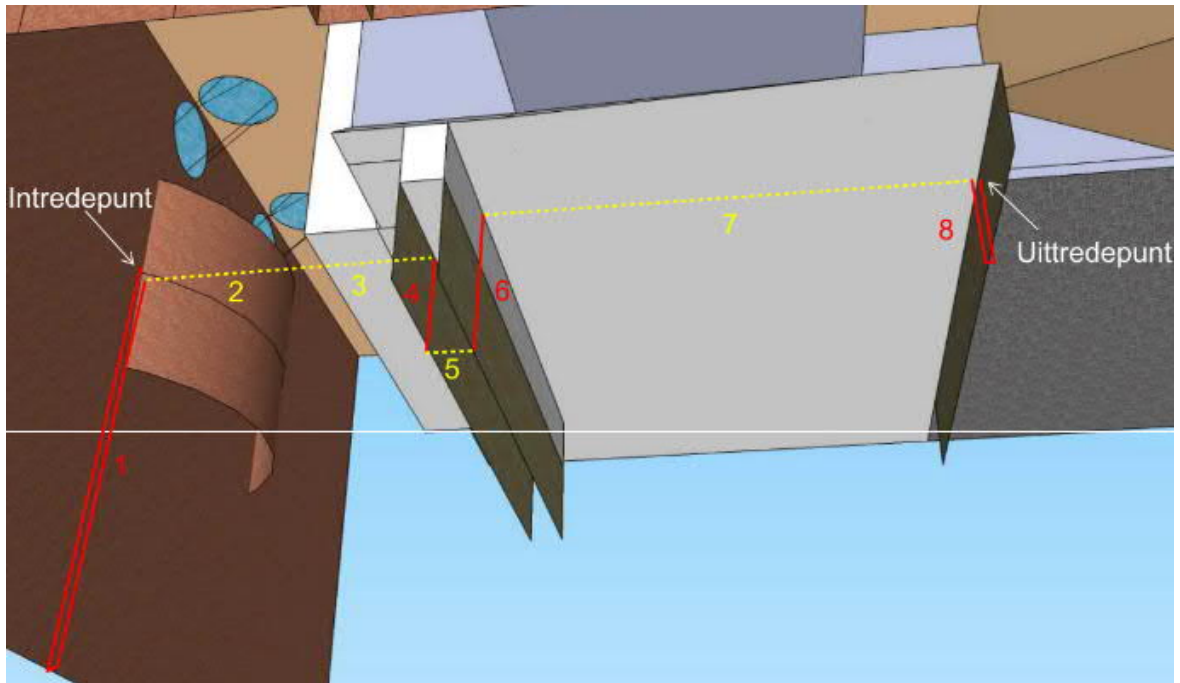
Figuur 7-5 Toelichtende figuur criteria short path

Voor de bepaling van de gewogen kwelweglengte mag deze kortste afstand ("short path") dan verdubbeld worden. Hierbij geldt de restrictie dat de totale kwelweglengte via het 'short path' dan niet groter mag zijn dan 80% van de 'normale' gewogen kwelweglengte.

Opgemerkt wordt dat dit afwijkt van paragraaf 5.3.4 van *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10]). Hierin staat dat als een gewogen kwelweg met daarin een "short path" maatgevend is $C_{w,creep}$ mag worden gereduceerd met een factor 1,25. Dit valt echter niet aan de publicatie van Lane te ontleenen.

Voorbeeld

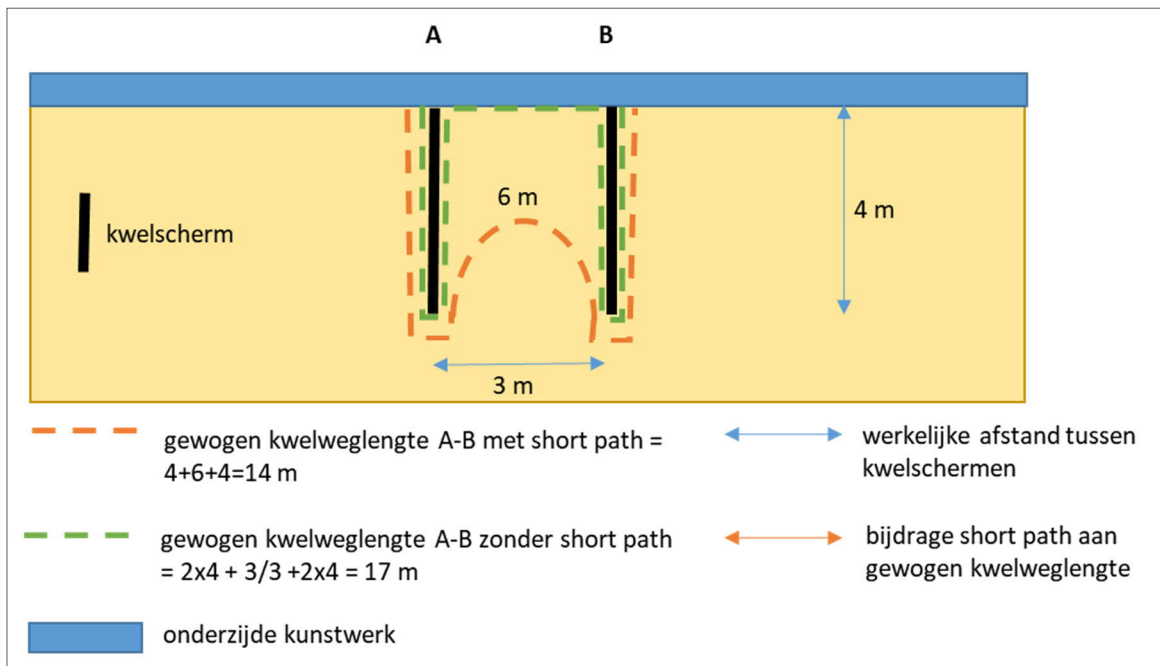
In Figuur 7-6 zijn met de rode lijnen de verticale kwelwegen langs de kwelschermen van een complex kunstwerk ingetekend. De zandondergrond is omwille van de zichtbaarheid van de kwelwegen niet getekend.



Figuur 7-6 Combinatie van horizontale en verticale kwelwegen onder kunstwerk

Ook in dit voorbeeld is mogelijk een short path aanwezig (kwelweg 5 in Figuur 7-6). 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 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. De totale gewogen kwelweglengte over de beide damwandschermen bedraagt dan $4 + 6 + 4 = 14$ m. Dit is meer dan 80% van de kwelweglengte zonder short path, welke $2 \times 4 + 1/3 \times 3 + 2 \times 4 = 17$ m bedraagt. Voor de gewogen kwelweglengte in dit voorbeeld moet dus $0,8 \times 17 = 13,6$ m worden aangehouden.



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

7.1.3 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-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 $\gamma = 1,0$ gehanteerd kan worden. 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 beoordeeld 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/uiterst grof zand	300 – 2000	5
Fijn grind	2000 – 5600	4

Grondsoort	Mediane korreldiameter [μm] ¹	Cw,creep (Lane) met γ = 1,0
Matig grof grind	5600 – 16000	3,5
Zeer 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 tabel 4.1 van het *Technisch Rapport Zandmeevoerende wellen* [16] 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 ontlelen. In *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 door verschillende grondlagen loopt 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 *NEN 3651: 2003 Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken* [7] en *Ondergrondse pijpleidingen - Grondslagen voor de sterkteberekening* [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 verscalen van deze delen met de verhouding van de doorlatendheden.

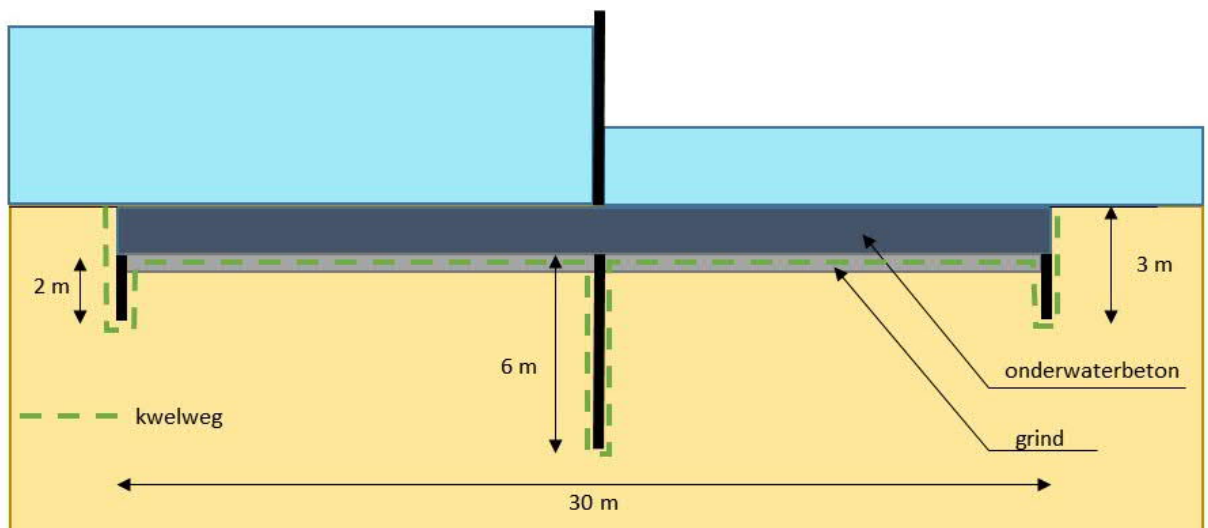
Een rechtvaardiging van deze verfijningen van de rekenregel is echter niet expliciet aan de onderbouwing en filosofie van de methode van Lane, zoals neergelegd in diens oorspronkelijke

publicatie, te ontleen (*Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 7-8):

- 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 7-8 Voorbeeld kunstwerk met kwelweg door meerdere grondlagen

7.1.4 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 beoordeling gebruikt moet worden. Voor de eenvoudige toets, waar in stap E.2 bij beslisregel 2 (zie paragraaf 2.1.1) een buitenwaterstand nodig is, kan hiervoor de waterstand die hoort bij categorie A (de signaleringswaarde) in Riskeer worden aangehouden.

Voor de gedetailleerde toets per vak is het aan de beheerder welke waterstand wordt gehanteerd: de waterstand behorend bij de signaleringswaarde van de norm (waterstand categorie A) of de waterstand die hoort bij de ondergrens van de norm (waterstand categorie B).

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. Peilbuismetingen ter plaatse van het kunstwerk kunnen een goede indicatie geven van de respons van de waterspanningen in de watervoerende zandlaag op de buitenwaterstand.

Voorbeeld

-

7.1.5 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 in het watersysteem tijdens een hoogwater vanwege kwel en eventuele afname van lozingscapaciteit vrijwel altijd hoger zal zijn (*Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 gedurende langere tijd 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 ziet er als volgt uit:

$$i_c \geq \frac{\varphi_o - h_p}{d}$$

7-3

Hierin is i_c het kritieke verhang waaraan beoordeeld wordt. Hiervoor wordt een waarde van 0,5 aangehouden.

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

- Stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherf φ_o .
- Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt h_p .
- Lengte benedenstrooms kwelscherf d .

7.2.1

Stijghoogte op niveau onderzijde benedenstrooms kwelscherf

Wat is het?

Stijghoogte [m+NAP]

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

Hoe te bepalen

De stijghoogte aan de onderzijde van het benedenstroomse kwelscherf 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 kwelscherf 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 kwelscherf is een grondwaterstromingsanalyse nodig. In beginsel kan dit met elk daartoe geschikt rekenmodel.

In paragraaf 5.4.2 van *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10] worden de volgende modellen onderscheiden om het optredend verhang over het benedenstroomse kwelscherf 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 (paragraaf 2.3.1) nader op ingegaan.

Aandachtspunten en voorbeeld

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.4.

7.2.2 *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 *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

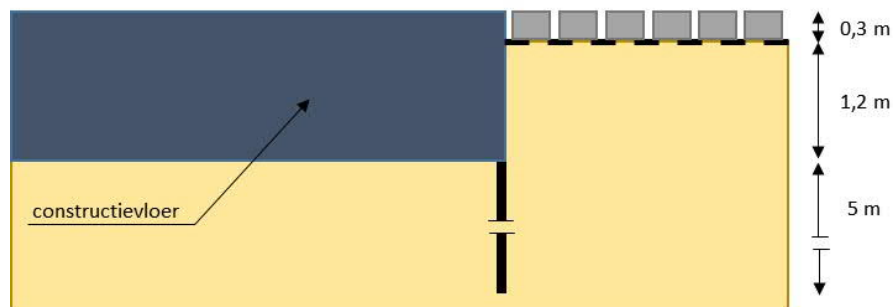
De teen van de damwand kan doorgaans worden afgelezen van tekening. De bovenzijde van de grondlaag aansluitend aan het kunstwerk is doorgaans het niveau van de bovenzijde van de vloer. Indien een aansluitende bodembescherming aanwezig is, mag deze dikte ook worden meegenomen vanuit de gedachte dat de 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 circa 1 m moet daarom worden uitgegaan van afwezigheid van het scherm.

Voorbeeld

In onderstaand voorbeeld (Figuur 7-9) 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).

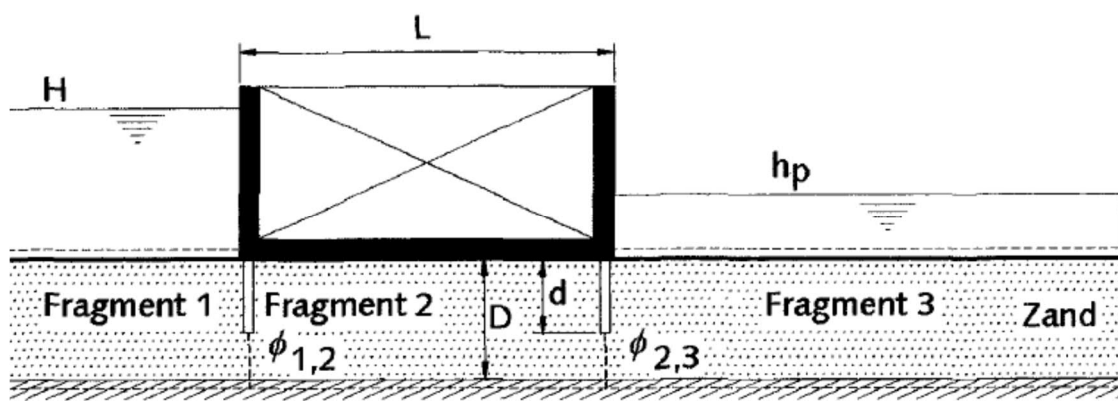


Figuur 7-9 Voorbeeld bepaling lengte benedenstroomse kwelscherm

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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10]. In Figuur 7-10 is een voorbeeld van een constructie met kwelschermen gegeven en een opdeling in fragmenten.



Figuur 7-10 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 zettingspleet 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 geen 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 in Figuur 7-10 van belang.

$$i_{optr} = \frac{\phi_{2,3} - h_p}{d}$$

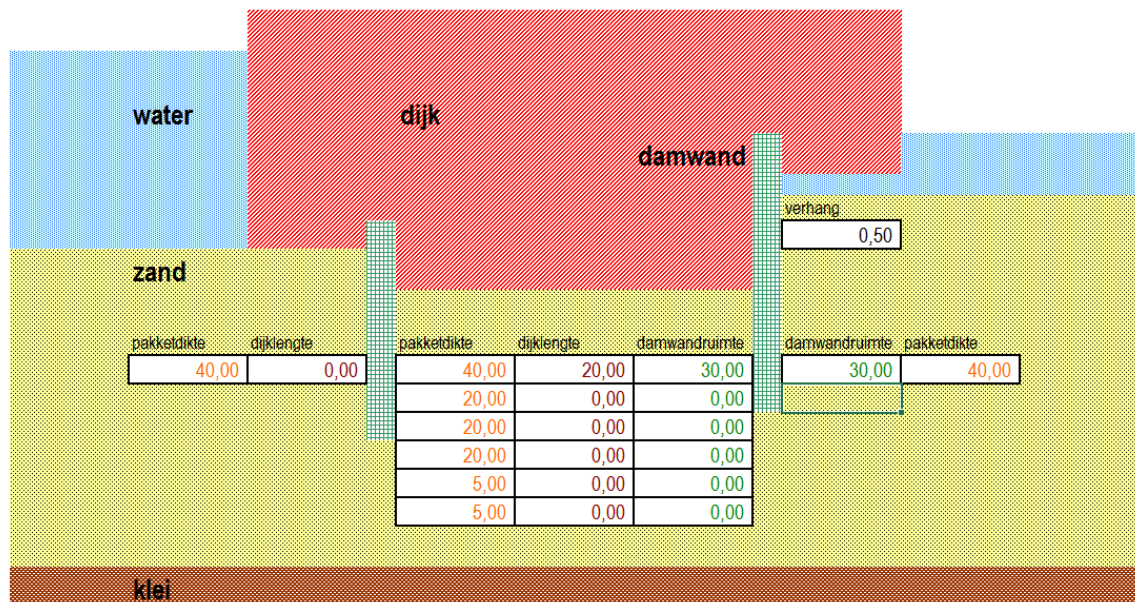
Berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een spreadsheetprogramma. Voor eenvoudige situaties kunnen afleesgrafieken en tabellen gebruikt worden welke zijn opgenomen in bijlage A3 van *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10].

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 7-11 Spreadsheet fragmentenmethode

Figuur 7-11 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 dijk⁸) is in rood getekend.

⁸ Dit is enigszins verwarrend; daar waar 'dijk' en 'dijklengte' staat kan echter gewoon 'kunstwerk' en 'kunstwerklengte' gelezen worden

- Naast de linkerdamwand is de term 'dijk lengte' 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 'dijk lengte' 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. Als er meer kwelschermen tussen de twee damwanden aanwezig zijn moeten meer fragmenten worden opgegeven. Bijvoorbeeld bij één extra kwelscherm zijn er twee tussenfragmenten.
- De damwandruimte geeft de verticale afstand tussen de top 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 grondwaterstromingsberekeningen geven hier een betrouwbaarder beeld van het uittreeverhang⁹.
- 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 $0,1D$ dan is de fragmentenmethode onnauwkeurig ten opzichte van een numeriek grondwaterstromingsmodel. De fragmentenmethode geeft in dat geval conservatieve resultaten (zie ook bijlage A figuur A.4 van *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10]). Indien nadere aanscherping gewenst is kan in dat geval

⁹ In dat geval kan overigens ook de methode van Lane gebruikt worden

een numeriek grondwaterstromingsmodel gebruikt worden voor de berekening van de grondwaterstroming in de watervoerende zandlaag.

Aandachtspunten

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 dijken spoor. 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 aan de signaleringswaarde' 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 ziet er als volgt uit:

$$\frac{(\gamma_{nat} - \gamma_w) \cdot d}{\gamma_w \cdot (\phi_z - h_p)} \geq \gamma_{up} \cdot \gamma_{b,u}$$

7-4

Hierin zijn de volgende parameters opgenomen, die in de volgende subparagrafen besproken worden:

- Het natte volumegewicht van de cohesieve deklaag γ_{nat} .
- Het volumegewicht van water γ_w .
- De dikte van de cohesieve deklaag d .
- De stationaire stijghoogte in de zandlaag Φ_z .
- Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt h_p .
- Een veiligheidsfactor voor het faalmechanisme opbarsten γ_{up} welke afhankelijk is van de gestelde betrouwbaarheidseis
- Een schematiseringsfactor voor het faalmechanisme opbarsten $\gamma_{\text{b,u}}$.

7.3.1 *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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10] of in bijlage 1 van *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies* [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 *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 $9,81 \text{ kN/m}^3$ 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/m^3 , en een volumegewicht van $10,07 \text{ kN/m}^3$.

Voorbeeld

-

7.3.3 *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 *Freatisch niveau ter plaatse van uittreepunt*

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 Stationaire stijghoogte in de zandlaag

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.

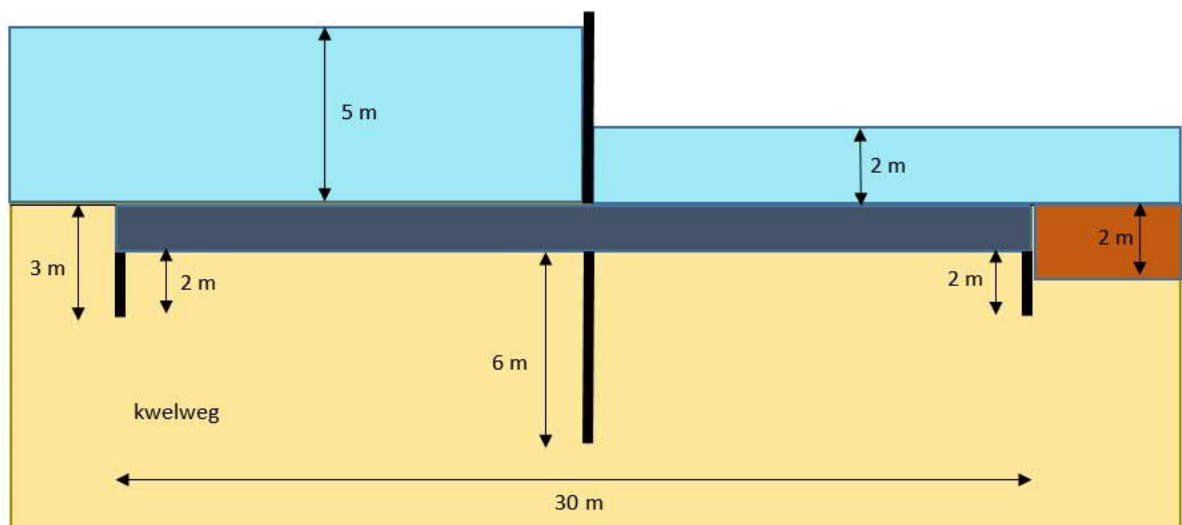
Hoe te bepalen

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).

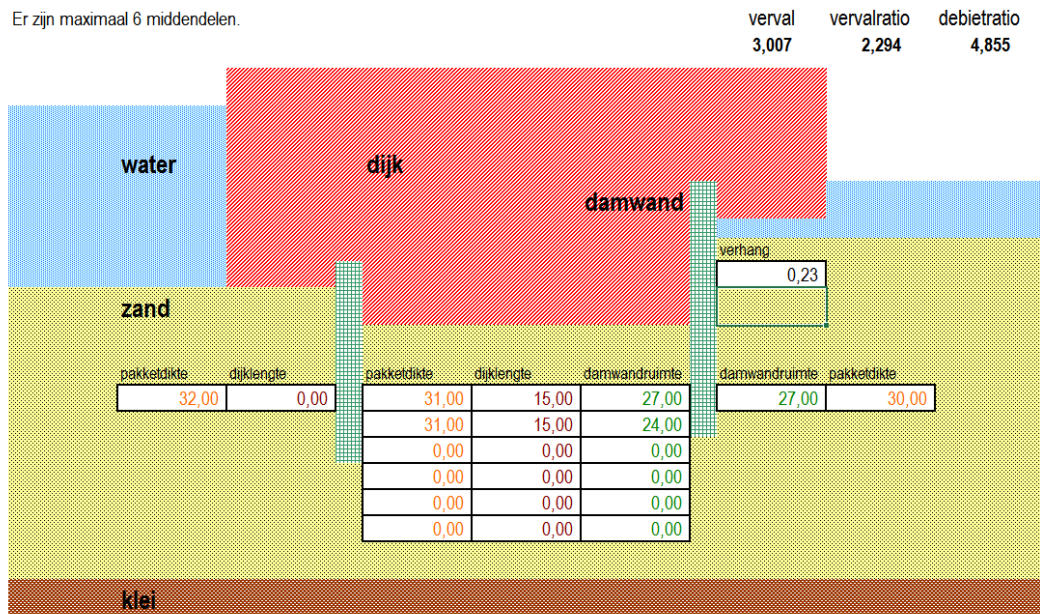
Voorbeeld

In Figuur 7-12 is een voorbeeld opgenomen van een kunstwerk met een deklaag aan de binnenzijde van het kunstwerk. Voor dit kunstwerk geldt een WBN (waterstand bij norm) van NAP+5 m. De binnenwaterstand onder hoogwateromstandigheden is NAP+2 m.



Figuur 7-12 Voorbeeld van kunstwerk met deklaag alleen aan binnenzijde

Uitgaande van een dikte van de zandlaag van 30 meter onder de deklaag 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 7-13).



Figuur 7-13 Schermafbeelding 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 $\text{NAP} + 2 \text{ m} + 0,23 \times 3 = \text{NAP} + 2,69 \text{ m}$. Met behulp van vergelijking 7.4 kan worden getoetst of de waterdruk aan de onderzijde van de afdekkende laag kleiner is dan het neerwaartse gewicht van deze laag gedeeld door een veiligheidsfactor.

Stel dat het natte volumegewicht van de deklaag 16 kN/m^3 is en het volumegewicht van het water 10 kN/m^3 , dan is de grenspotentiaal gelijk aan $2 \text{ m} + \text{NAP} + 2 \times (16 - 10) / 10 = 3,2 \text{ m} + \text{NAP}$. De veiligheid tegen opbarsten bedraagt dan $(3,2 - 2) / (2,69 - 2) = 1,74$. Indien dit groter is dan het product van de benodigde veiligheidsfactor en de schematiseringsfactor 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.

7.3.6 Veiligheidsfactor voor opbarsten

Wat is het?

Veiligheidsfactor [-]

Een veiligheidsfactor voor het faalmechanisme opbarsten welke afhankelijk is van de gestelde betrouwbaarheidseis.

Hoe te bepalen

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 4.2 van de *Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen versie 4* [20].

Voorbeeld

-

7.3.7 Schematiseringsfactor

Wat is het?

Schematiseringsfactor [-]

Factor waarmee de mate van onzekerheid in de schematisatie meegenomen kan worden.

Hoe te bepalen

Hiervoor wordt verwezen naar het *Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren van Dijken* [13] .

Voorbeeld

-

7.4 Parameters model van Bligh

Het model van Bligh ziet er als volgt uit:

$$\Delta H = (h_{bu} - h_{bi}) \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

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

- Kritieke verval $\Delta H_c = L / C_{creep}$
- Horizontale kwelweglengte L .
- Creep-factor behorend bij model van Bligh C_{creep} .
- Verval over het kunstwerk $\Delta H = h_{bu} - h_{bi}$.
- Buitenwaterstand h_{bu} .
- Binnenwaterstand h_{bi} .

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

7.4.1 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.

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 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	
Zeef fijn zand	105 – 150	18
Zeef fijn zand (mica)		18
Matig fijn zand (kwarts)	150 – 210	15
Matig grof zand	210 – 300	
Zeef/zeefst grof zand	300 – 2000	12
Fijn grind	2000 – 5600	9
Matig grof grind	5600 – 16000	
Zeef 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 Buitenwaterstand

Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.1.4.

7.4.4 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* [19]. Alleen aan de parameters kwelweglengte, d_{70} en doorlatendheid wordt nader aandacht besteed, omdat deze afwijken ten opzichte van het dijkenpoor.

7.5.1 *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 *d₇₀*

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 dijkenpoor. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 7.2.6 en bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping* [19]. De bepaling van de *d₇₀* voor piping in WBI 2017 verwijst naar een tabel met waarden voor *d₇₀* voor de verschillende SOS eenheden voor al de SOS segmenten van de waterkeringen. Met de gegevens over de ligging van het te beoordelen kunstwerk en de identificatie van de SOS zand eenheid onder de deklaag op die locatie kan de te gebruiken *d₇₀* waarde worden vastgesteld. Hierbij moet worden uitgegaan van een representatieve veilige waarde voor de *d₇₀*. Dit is de waarde die in tabel G.2 in bijlage G van de *Schematiseringshandleiding piping* [19] 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 *d₇₀* niet worden overgenomen uit het dijkenpoor. De karakteristieke waarde van de *d₇₀* kan middels zevingen bepaald worden. Voor het aantal zevingen kan geen algemene richtlijn worden gegeven; wel wordt aanbevolen tenminste drie zevingen 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 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* [19]. 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 beoordelen 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* [19] 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [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 zevingen over de hoogte van de zandlaag te spreiden.

Andere methoden om de doorlatendheid te bepalen zijn in situ testen zoals pompproeven, peilbuiswaarnemingen of HTP-sonderingen. 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 *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen* [10].

Verantwoording

Deze *Schematiseringshandleiding piping kunstwerk* is in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving opgesteld als onderdeel van het WBI 2017.

Schrijver: B. van Bree (Bob van Bree - Waterbouwkundig advies en projectmanagement).
R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.).

Regie: A. Casteleijn (RWS).

Review versie 3: R.C.M. Delhez (Greenrivers B.V.).

Review versie 2: H. de Waal (Deltares).

Review versie 1: J.E.J. Blinde (Deltares).
E.O.F. Calle (Deltares).
S. Kapinga (WS Rivierenland).
M. van der Meer (Fugro).
D. Pereboom (Deltares).
H. van der Sande (WS Scheldestromen).

Eind Controle: R.M. Slomp (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.
- [19] *Schematiseringshandleiding piping WBI 2017*, Rijkswaterstaat - Water, Verkeer en Leefomgeving, 2 januari 2017 versie 2.2
- [20] *Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen – Veiligheidsfactoren en Belastingen bij nieuwe Overstromingskansnormen*, versie OI2014v4, Rijkswaterstaat WVL, februari 2017

B Begrippen, afkortingen en parameters

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

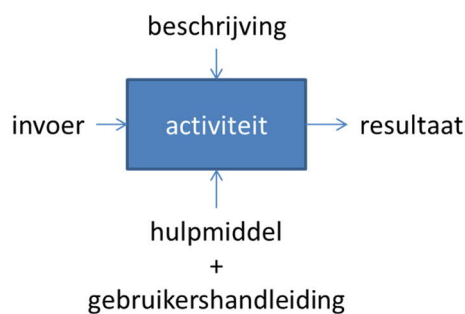
Voor parameters wordt verwezen naar de parameterlijsten zoals deze opgenomen zijn in de Handleiding datamanagement WBI 2017 [3].

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.

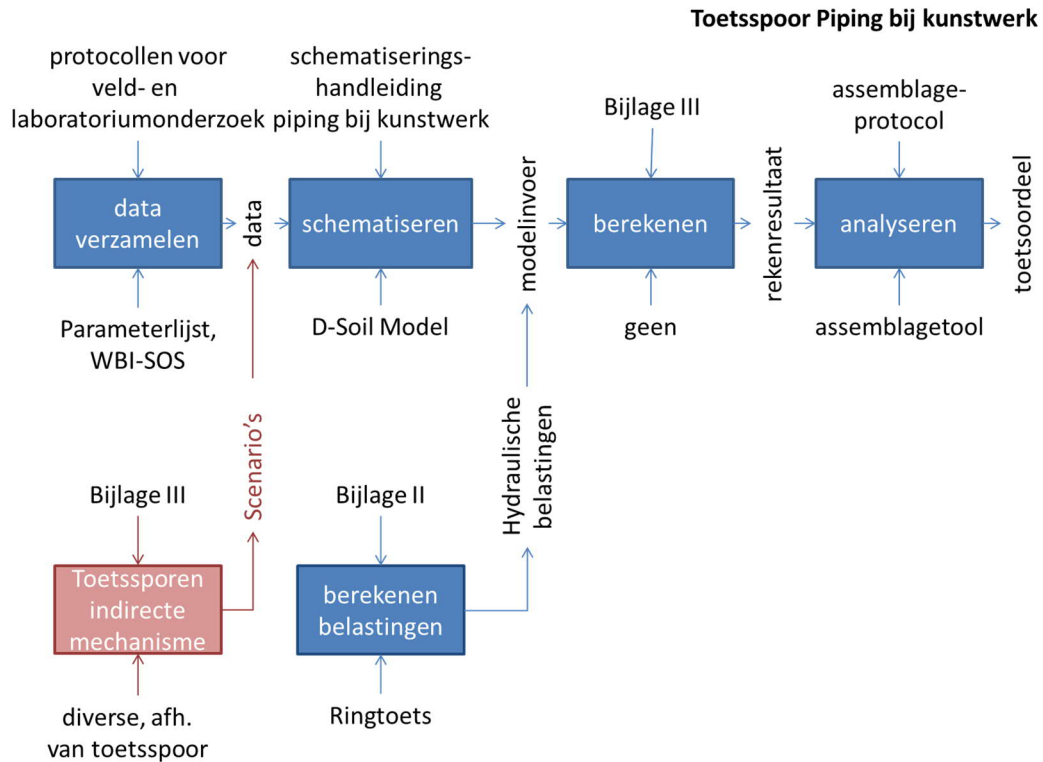


Figuur C.1 Het algemene schema van een activiteit. Een aaneenschakeling van benodigde activiteiten bij een beoordeling geeft de schematische werkwijze van de beoordeling weer.

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 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 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 wegenbouw 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 ondergrondsschematisatie voor de primaire waterkeringen. Deltares, Delft, december 2015. Wordt als bestand meegeleverd met D-Soil Model.~~
- ~~Globale stochastische ondergrondsschematisatie (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.~~
- ~~d7g 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, mei 2021.

Referenties hulpmiddel activiteit

- ~~*D-Soil Model, Software voor de beoordeling van primaire waterkeringen*. Deltares, Delft, september 2016.~~
- ~~*D-Soil Model, Ondergrondsschematiseringsproces 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 Riskeer kan verschillende (sub)activiteiten ondersteunen bij het berekenen van de hydraulische belastingen en bij het berekenen van het rekenresultaat. Daarom wordt Riskeer 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.

D Afleiding kwelweglengte bij horizontaal short path

De kwelweglengte bij een short path kan worden bepaald door lineair te interpoleren tussen de kwelweglengte als er geen tussenruimte is tussen de schermen en de kwelweglengte als er geen sprake is van een short path als functie van de afstand tussen de schermen. Dit is in onderstaand voorbeeld gedaan voor een kunstwerk met gelijke lengte van de kwelschermen. Op analoge wijze kan de kwelweglengte bij schermen met ongelijke lengte worden bepaald.

In de afleiding is L_{scherm} de lengte van het scherm uit de constructie en A_{scherm} de afstand tussen de schermen.

Indien de afstand tussen de schermen 0 is dan geldt:

$$L_{h;A=0} = 2 \cdot L_{\text{scherm}}$$

Als de afstand tussen de schermen groter is dan 2x de scherm lengte dan is er geen sprake van een short path. Voor de kwelweglengte geldt dan:

$$L_{h;A \geq 2L} = 4 \cdot L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}}$$

Precies op de overgang tussen wel en geen short path als $A_{\text{scherm}} = 2 \cdot L_{\text{scherm}}$ geldt dan:

$$L_{h;A=L} = 4 \cdot L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}} = 4 \cdot L_{\text{scherm}} + 2 \cdot L_{\text{scherm}}$$

Als de afstand tussen de schermen tussen 0 en $2 \cdot L_{\text{scherm}}$ in zit, dan kan lineair worden geïnterpoleerd tussen deze beide kwelweglengten als functie van de afstand tussen de schermen:

$$L_{h;0 < A < 2L} = L_{h;A=0} + \frac{A_{\text{scherm}}}{2 \cdot L_{\text{scherm}}} \cdot (L_{h;A=2L} - L_{h;A=0})$$

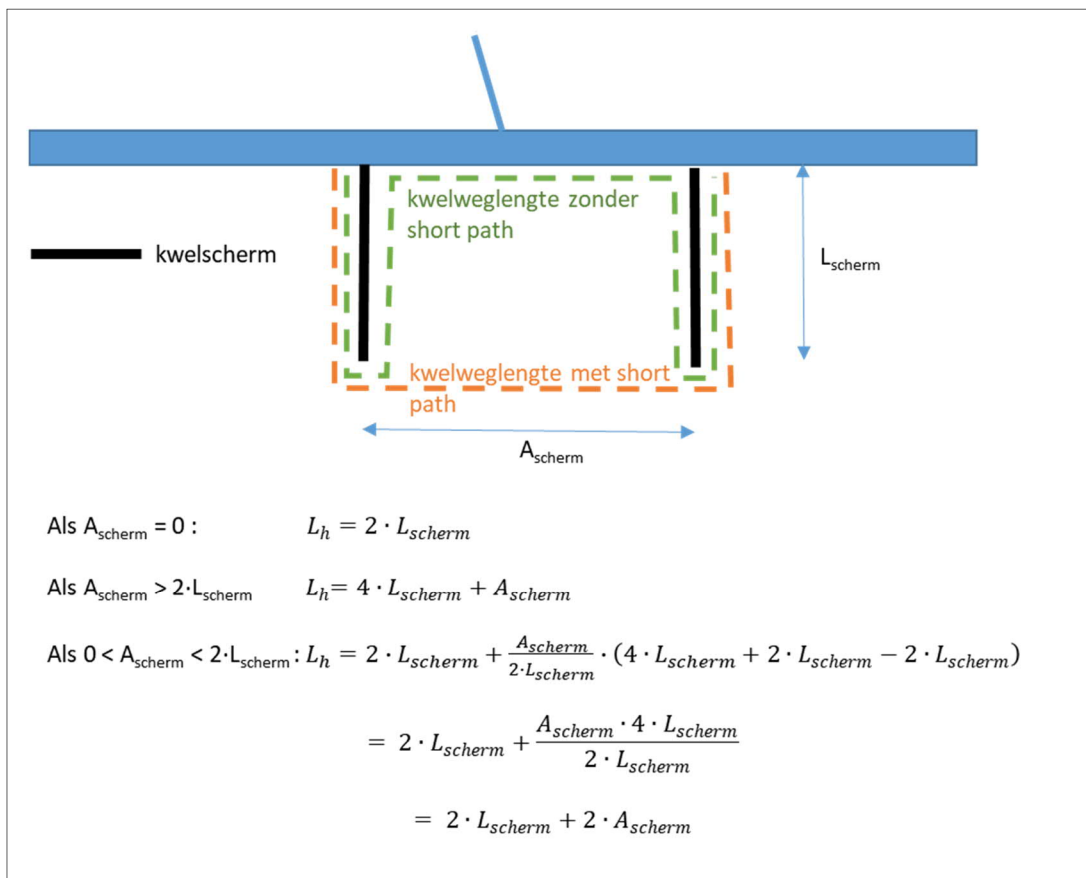
Invullen levert:

$$\begin{aligned} L_{h;0 < A < 2L} &= 2 \cdot L_{\text{scherm}} + \frac{A_{\text{scherm}}}{2 \cdot L_{\text{scherm}}} \cdot (4 \cdot L_{\text{scherm}} + 2 \cdot L_{\text{scherm}} - 2 \cdot L_{\text{scherm}}) \\ &= 2 \cdot L_{\text{scherm}} + \frac{A_{\text{scherm}} \cdot 4 \cdot L_{\text{scherm}}}{2 \cdot L_{\text{scherm}}} \\ &= 2 \cdot L_{\text{scherm}} + 2 \cdot A_{\text{scherm}} \end{aligned}$$

Bij schermen met gelijke lengte geldt dus bij een short path:

$$L_h = 2 (L_{\text{scherm}} + A_{\text{scherm}})$$

Zie ook navolgende figuur voor de afleiding.



Figuur D-1 Afleiding kwelweglengte bij short path

Ter illustratie met de getallen uit het voorbeeld in paragraaf 7.1.1, waar $L_{scherm} = 4$ m en $A_{scherm} = 3$ m:

- als de schermen tegen elkaar aan staan dan is de kwelweglengte om de schermen heen $2 \times$ de scherm lengte, in dit voorbeeld dus $2 \times 4 = 8$ m.
- als de schermen 8 m uit elkaar staan, dan is er juist geen sprake meer van een short path en is de kwelweglengte $2 \times 4 + 8 + 2 \times 4 = 24$ m.
- als de schermen 3 m uit elkaar staan dan kan lineair worden geïnterpoleerd tussen de kwelweglengte van 8 m (als de schermen tegen elkaar aan zouden staan) en de kwelweglengte van 24 m (als de schermen 8 m uit elkaar zouden staan). In dit voorbeeld is de kwelweglengte dan $8 + \frac{3}{8} \times (24 - 8) = 8 + 6 = 14$ m. Merk op dat dit neerkomt op $2(L_{scherm} + A_{scherm})$.