



Casus Molenpolder, Zeeuws Vlaanderen

Casus bij Werkwijzer piping bij dijken

Datum	18 november 2014
Status	Definitief

Colofon

Referentienummer	RW1969-2
Uitgegeven door	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Informatie	Helpdesk Water
Telefoon	+31 320 298411
Fax	-
Uitgevoerd door	Witteveen+Bos
Opmaak	Witteveen+Bos
Datum	18 november 2014
Status	Definitief
Versienummer	01

Inhoud

Voorwoord		7
1	Ordenen	9
1.1	Inventarisatie informatie(bronnen) en uitgangspunten uit de toetsing	9
1.2	Verzamelen feiten	10
1.3	Schematisering	11
1.4	Benoemde kwelwegen	11
2	Begrijpen	13
2.1	Effect overstap naar nieuw toetskader	13
2.2	Verken aanscherpingmogelijkheden	13
2.3	Uitvoeren gevoeligheidsanalyse	27
2.4	Uitvoeren aanvullend onderzoek	29
3	Beslissen	31
3.1	Definitieve schematisering in deelvakken	31
3.2	Definitieve selectie te controleren kwelwegen per deelvak	32
3.3	Uitvoeren kwelweganalyse	32
3.4	Vaststellen aard en omvang, aanbevelingen	32
4	Doen	33
4.1	Beoordeel restrisico en bijdrage noodmaatregelen	33
4.2	Keuze en implementatie maatregel	33
4.3	Informatie en afwijking uitvoering vastleggen	33
4.4	Beheer	33
5	Referenties	35
Bijlage I	Analyse peilbuisresponsmetingen binnentalud	37
Bijlage II	Doorlatendheidsanalyse	39
Bijlage III	Berekeningen	43

Voorwoord

In de voorliggende rapportage is de Werkwijzer piping bij dijken toegepast voor de casus Molenpolder in Zeeuws Vlaanderen (dijkringgebied 32). De waterkering valt binnen het beheergebied van Waterschap Scheldestromen.

In de derde toetsronde is over een deel van het traject het oordeel 'nader onderzoek' gegeven. Dit areaal is vervolgens beschouwd tijdens de verlengde derde toetsronde, waarin nieuw beschikbaar gekomen data en kennis is toegepast, ten einde een nauwkeuriger oordeel te kunnen geven.

Het nader onderzoek was met name gericht op het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke effect van de buitenwaterstand op de veiligheid tegen piping. Bij zeedijken duurt een hoogwater relatief kort ten opzichte van rivierdijken. Hierdoor ontstaat er doorgaans geen stationaire stromings situatie, waarvan de rekenregels voor piping uitgaan. Waterschap Scheldestromen heeft daartoe een methode ontwikkeld om het tijdsafhankelijke effect van de buitenwaterstand in rekening te kunnen brengen.

De casus heeft als doel het illustreren van de werkwijzer en gaat daarbij specifiek in op het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke effect. In deze casus is niet de schematiseringsfactor afgeleid. Voor voorbeelden van het afleiden van de schematiseringsfactor wordt verwezen naar de andere casussen bij de werkwijzer.

De casus is opgebouwd conform het stappenplan uit de werkwijzer. In de hoofdstukken 1 tot en met 4 zijn per stap de resultaten van de stappen in de werkwijzer opgenomen. Een overzicht van de geraadpleegde documenten is te vinden in hoofdstuk 5.

1 Ordenen

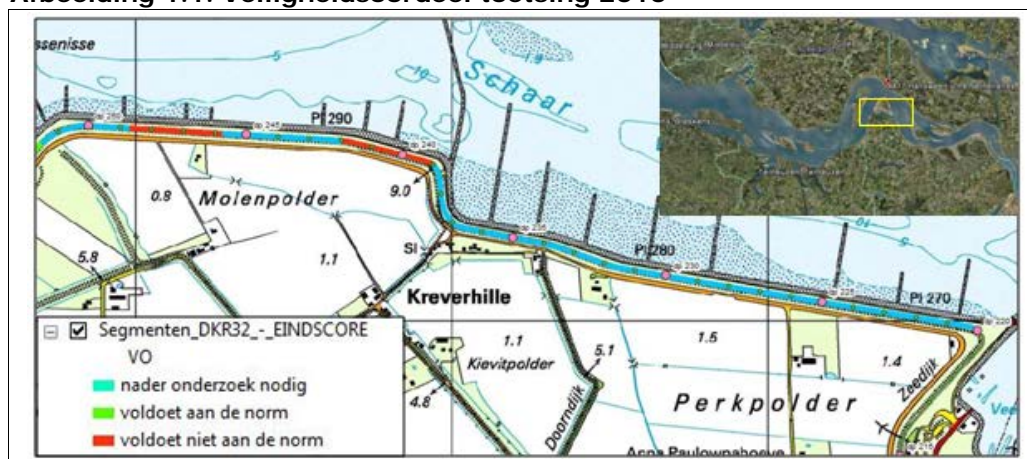
1.1 Inventarisatie informatie(bronnen) en uitgangspunten uit de toetsing

1.1.1 Toetshistorie

In de toetsing van 2010 is voor een 3,1 km lang traject in dijkkringgebied 32 geen oordeel gegeven ten aanzien van het toetsspoor piping en heave. De aanwezige kwelweglengte bleek toen toereikend conform de rekenregel van Bligh uit het VTV2006 [ref. 4.]. Waarnemingen in het veld gaven echter aan dat tijdens hoge waterstanden (1976 en 1990) duidelijk sprake is geweest van welvorming, waarvan mogelijk een aantal zandmeevoerend.

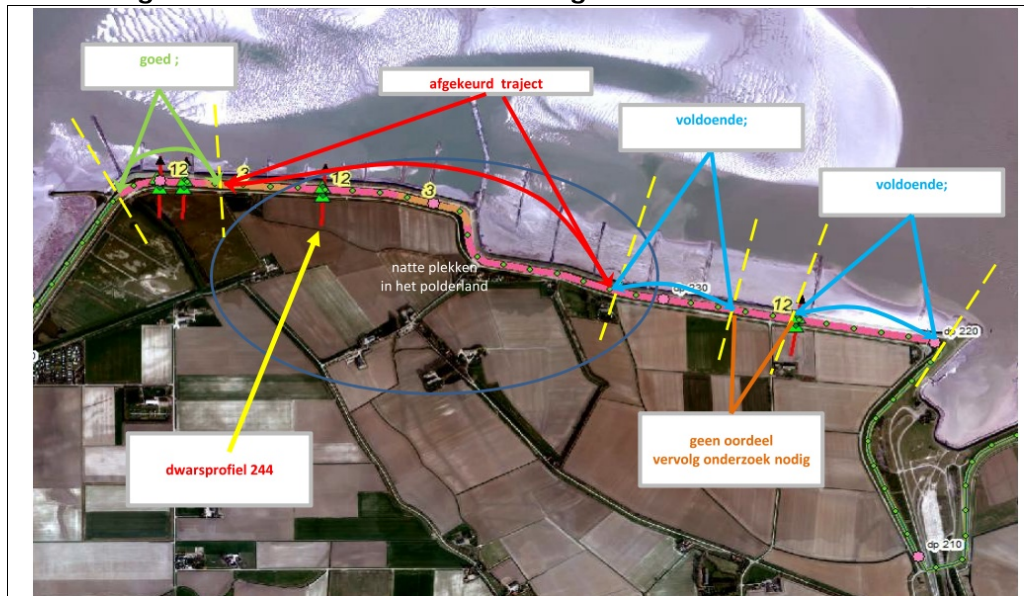
Op basis van deze tegenstrijdigheden is in 2010 het beheerdersoordeel 'nader onderzoek' tot stand gekomen. In Afbeelding 1.1 is het veiligheidsoordeel langs het dijkvak weergegeven.

Afbeelding 1.1. Veiligheidsoordeel toetsing 2010



Naar aanleiding van het oordeel zijn lokaal metingen uitgevoerd om in de verlengde derde toetsronde [ref. 6.] een definitieve uitspraak te kunnen doen of de waargenomen kwel daadwerkelijk een pipingprobleem is. Daarbij is door het waterschap tevens gebruik gemaakt van nieuwe kennis, zoals is vastgelegd in het Onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen (ORZW) [ref. 1.] en het Technisch rapport grondmechanisch schematiseren bij dijken (TRGS) [ref. 3.]. Het resultaat van de verlengde derde toetsronde is weergegeven in de volgende afbeelding.

Afbeelding 1.2. Beheerdersoordeel verlengde derde toetsronde



1.1.2 *Dijkpaal dp244*

Voor de uitwerking van de casus is dp244 aangehouden. Deze raai bevindt zich op het afgekeurde traject en wordt gekenmerkt door de ligging nabij een diepe geul en de afwezigheid van een voorland. Daarnaast zijn er peilbuismetingen beschikbaar bij deze raai.

1.1.3 *Informatiebronnen*

Een inventarisatie van de beschikbare informatie is gedaan met behulp van de checklist van de werkwijzer. Hieruit is geen aanvullende informatie naar voren gekomen.

1.1.4 *Uitgangspunten uit de toetsing*

De geometrische en geotechnische uitgangspunten voor de verlengde derde toetsronde zijn gebaseerd op de toetsing uit 2010, aangevuld met sonderingen en boringen. Daarnaast zijn er ten behoeve van de verlengde derde toetsronde peilbuisresponsmetingen uitgevoerd om de geohydrologische uitgangspunten aan te kunnen scherpen en een beter inzicht te krijgen in het verloop van de stijghoogte in het watervoerende pakket. De hydraulische uitgangspunten zijn bepaald op basis van de Hydraulische randvoorwaarden 2006 (HR2006) [ref. 5.].

1.2 **Verzamelen feiten**

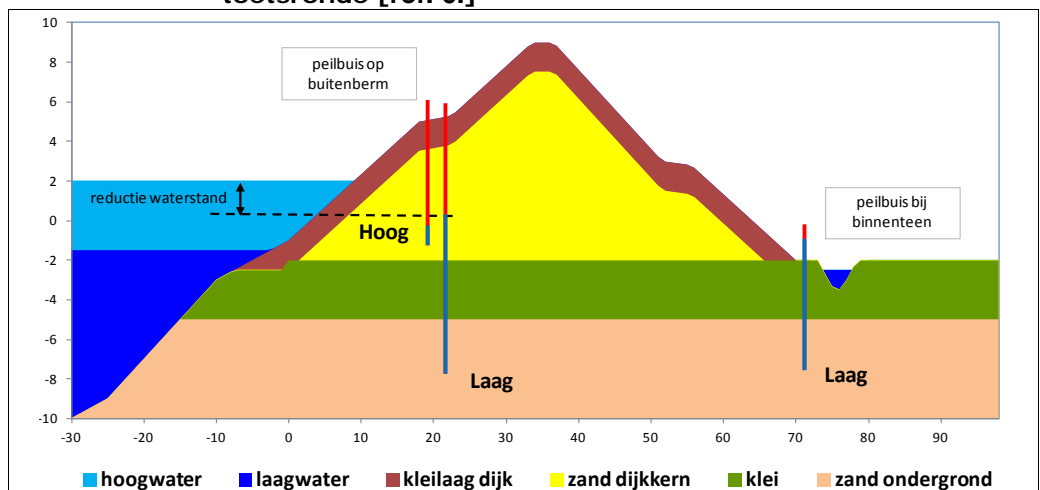
In bijlage I van de werkwijzer is een overzicht gegeven van bronnen die mogelijk aanvullende informatie leveren op de toetsing. Het waterschap heeft voor de verlengde derde toetsronde een groot deel van deze bronnen geraadpleegd en ver-

werkt in de analyses. Voor de uitwerking van deze casus zijn geen aanvullende feiten ten opzichte van de verlengde derde toetsronde verkregen.

1.3 Schematisering

De dijk ter plaatse van dp244 betreft een schaaldijk met zandkern met aan de binnenzijde een teensloot. De natuurlijke ondergrond bestaat uit een circa 3 m dikke slecht doorlatende deklaag op een dik zandpakket (eerste watervoerende pakket). Ter plaatse van de sloot voldoet de deklaag niet aan het opbarstcriterium. In de volgende afbeelding is een algemene schematisatie van een dwarsdoorsnede gegeven die gebruikt is in de verlengde derde toetsronde.

Afbeelding 1.3. Algemene schematisatie beschouwde locaties verlengde toetsronde [ref. 6.]



1.4 Benoemde kwelwegen

In de verlengde toetsronde is zowel de buitenteen als de locatie van de peilbuis ter plaatse van het buitentalud als intredepunt beschouwd. Deze laatste is een rekenkundig intredepunt en is toegelicht onder stap 3.

De volgende drie uittredepunten zijn in de toetsing beschouwd: binnenteen, teensloot en achterland. De teensloot was in de verlengde derde toetsronde het maatgevende uittredepunt.

2 Begrijpen

2.1 Effect overstap naar nieuw toetskader

2.1.1 Toetsmethoden en historie

In de verlengde derde toetsronde is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van nieuwe kennis, zoals vastgelegd in het ORZW en het TRGS. Deze rapporten beschrijven de huidige staat van kennis en lopen (deels) voor op het vigerende toetsinstrumentarium.

De door Waterschap Scheldestromen ontwikkelde methode, om het effect van het verloop van de buitenwaterstand op de veiligheid tegen piping in rekening te brengen, is nieuw en nog niet opgenomen in een toetsvoorschrift of technisch rapport. De toepasbaarheid en juistheid van de methode wordt tijdens het uitwerken van deze casus nog onderzocht. Desalniettemin geeft de casus inzicht in het mogelijke effect van het in rekening brengen van het verloop van de buitenwaterstand.

2.1.2 Hydraulische randvoorwaarden

In de verlengde derde toetsing zijn de HR2006 aangehouden. Het toetspeil voor dp244 is NAP +6,00 m.

Naast het toetspeil ter plaatse van dp244 is het toetspeil ter plaatse van het meetstation van de buitenwaterstand nodig, waarvan de meetdata gebruikt wordt in de responsanalyses met behulp van de peilbuismetingen. In de verlengde derde toetsronde is zowel de data van meetstation Hansweert als Terneuzen gebruikt. In deze casus wordt voor de eenvoud gesproken over het 'buitenwaterstandmeetstation' (BuW-meetstation). Het bijbehorende toetspeil is NAP +5,80 m.

2.2 Verken aanscherpingmogelijkheden

De verkenning van de aanscherpingmogelijkheden is opgesplitst in:

- A.1 hydraulische randvoorwaarden;
- A.2 invloed tijdsafhankelijkheid;
- B.1 geometrie;
- B.2 bodem- en geohydrologische schematisatie;
- C.1 bepaling (theoretisch) intredepunt;
- C.2 bepaling uittredepunt;
- C.3 beschouwing kwelweglengte.

2.2.1 A.1 Hydraulische randvoorwaarden

Ten opzichte van de verlengde derde toetsronde zijn er geen aanscherpingmogelijkheden in beeld voor de buitenwaterstand (NAP +6,00 m) en het slootpeil (NAP +0,70 m).

Aanscherping buitenwaterstand en slootpeil

Op het moment van uitwerking van deze casus is de HR2006 vigerend voor de maatgevende buitenwaterstand. Voor een wettelijke toetsing is zonder een uitgebreide probabilistische beschouwing een aanscherping van het toetspeil niet mogelijk.

Door het ontbreken van aanvullende informatie is het slootpeil uit de verlengde derde toetsronde overgenomen (NAP +0,70 m). Mogelijk kan een analyse van de watersysteem ter plaatse van het achterland leiden tot een onderbouwing van een gunstiger slootpeil/polderpeil tijdens maatgevende omstandigheden. Deze analyse is niet beschikbaar.

2.2.2 A.2 Invloed tijdsafhankelijkheid

De aandrijvende kracht voor het pipingproces is een stijghoogteverschil over een slecht doorlatende laag. De huidige rekenmodellen voor grondwaterstroming in combinatie met piping zijn gericht op stationaire stromingssituaties en gaan uit van een 'constante' buitenwaterstand. Kenmerkend voor een stationaire stromingssituatie is dat de stroming volledig is ontwikkeld; er is evenwicht tussen de hydraulische belasting en de hydraulische weerstand.

De belastingsduur tijdens een hoogwater verschilt voor zee- en rivierdijken. Een hoge rivierafvoer houdt in de regel vijf tot tien dagen aan. Bij zeedijken duurt de stormopzet maximaal drie dagen en het getij kent een cyclus van twaalf uur en vijftientig minuten.

De periode van het getij is te kort om een volledig stationaire stroming te ontwikkelen. De niet-stationaire stroming beïnvloedt het stijghoogteverloop in het watervoevende pakket. De waterspanningen bereiken daardoor niet de stationaire waarde tijdens het optreden van het toetspeil. Dit wordt ook wel de tijdsafhankelijke invloed of het tijdsafhankelijke effect genoemd.

Tijdsafhankelijke invloeden op piping en erosie zijn nog onvoldoende onderzocht. Hoewel theoretisch goed onderbouwde rekenmodellen ontbreken om de invloed van fluctuaties op het erosieproces af te schatten, kan bij sterke demping nabij het uit-tredpunt overwogen worden om slechts een deel van de getijamplitude in rekening te brengen bij de berekening van het aanwezige verval over de waterkering.

In de verlengde derde toetsronde is het tijdsafhankelijke effect in rekening gebracht.

Keuze methode

Verschillende methoden zijn voorhanden om het stijghoogteverloop in het watervoevende pakket te schematiseren op basis van peilbuismetingen, zoals een statistische (frequentie) analyse, analytische beschouwing of met behulp van een gevalideerd numeriek model (zoals Plaxflow). Een aantal methoden is beschreven in het Technisch rapport waterspanningen bij dijken (TRWD) [ref. 7.].

Waterschap Scheldestromen heeft in de verlengde derde toetsronde een eigen methode ontwikkeld om de respons onder maatgevende omstandigheden te voorspellen. Deze methode is toegepast in de voorliggende casus.

Afweging keuze methode

In het TRWD zijn verschillende voorbeelden uitgewerkt van de beschikbare methoden. De ontwikkelde methode door het waterschap is niet opgenomen in het TRWD. De casus is een goede gelegenheid om de methode toe te lichten.

Aanbevolen wordt om (in tegenstelling tot deze casus) per onderzoekslocatie meerdere methoden toe te passen en met elkaar te vergelijken. Niet elke methode geeft een voldoende betrouwbaar resultaat voor de specifieke locatie. Daarnaast geeft het vergelijken van meerdere methoden meer vertrouwen (betere onderbouwing) van gemaakte keuzes.

Beschrijving methode

In 2013 zijn ter plaatse van dp244 waterspanningresponsmetingen uitgevoerd aan de buitenzijde (buitentalud) en binnenzijde (binnentalud). Deze metingen zijn gebruikt om een reductie van het stijghoogteverloop onder de dijk te voorspellen. De denkstappen en analyse zijn in deze casus toegepast en (beperkt) aangescherpt, voor de metingen aan de buitenzijde. Een vergelijkbare analyse is gedaan voor de waterspanningresponsmetingen aan de binnenzijde, waarvan de analyse is bijgevoegd in bijlage I.

In de methode worden peilbuismeetreeksen opgedeeld in een quasi-statisch (gemiddeld) deel en een dynamisch deel. Deze aanpak is gestoeld op het idee dat respons op een langdurige waterstandverhoging ($t \sim t_{\text{storm}}$) groter is dan de respons op een kortstondige waterstandverhoging ($t \sim t_{\text{getij}}$).

Het analyseren van de quasi-statische respons heeft als doel het vaststellen van de gevolgen van een langdurige stormopzet. Het in kaart brengen van de dynamische respons is gericht op de gevolgen van kortstondige fluctuaties. De methode heeft de volgende beperkingen:

- buitenwater dient gedurende de meetperiode frequent aan de teen van de dijk te staan (in voorliggende casus is dat gedurende elke getijcyclus het geval);
- bekend moet zijn of gedurende de meetperiode sprake is van opbarsten/opdrijven, om ontspanning ter plaatse van het achterland te kunnen uitsluiten (vanwege de geometrie, bodemopbouw en gemeten waterspanningen gedurende de meetperiode mag hiervan worden uitgegaan).

De volgende acties zijn doorlopen:

- actie 1: bepalen statische en dynamische component;
- actie 2: wegnemen faseverschuiving voor optimale correlatie;
- actie 3: bepalen statische respons (optimaal verschoven);
- actie 4: bepalen dynamische respons (optimaal verschoven);
- actie 5: bepalen statische en dynamische respons onder toetsomstandigheden;
- actie 6: in rekening brengen tijdsafhankelijke effect in pipingbeoordeling.

Actie 1: Bepalen statische en dynamische component

De quasi-statische respons is verkregen door het middelen van de peilbuismeting en de buitenwaterstand over een referentieperiode (T_{ref}). Voor referentieperiode is een periode van drie dagen (zes getijden) aangehouden.

Afweging referentieperiode

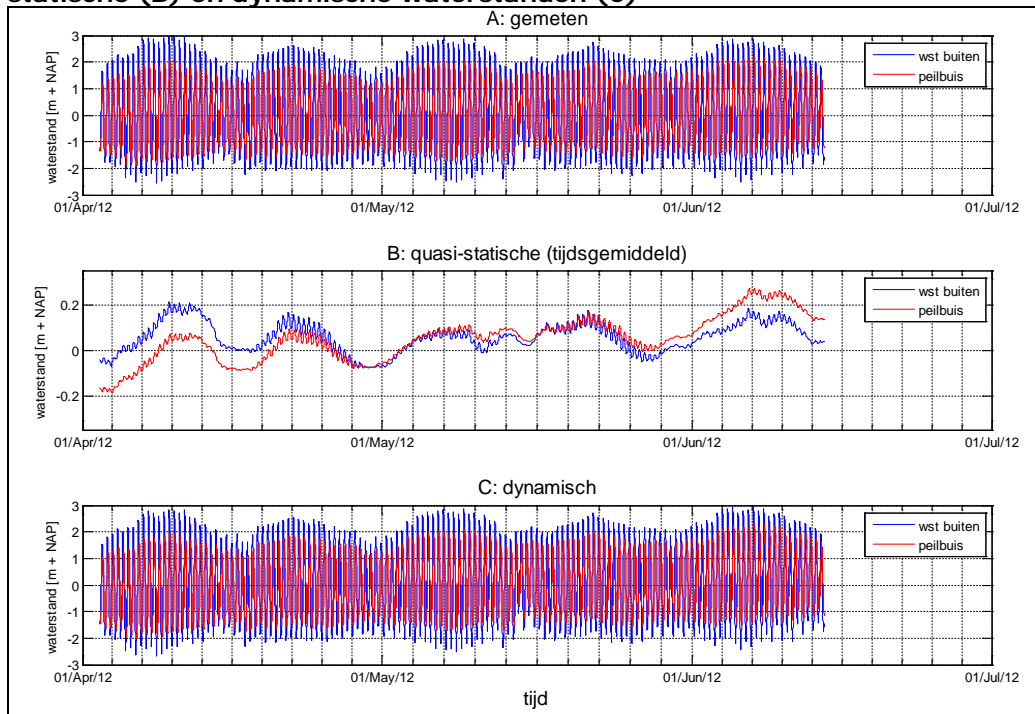
De keuze van de duur van de referentieperiode is enigszins arbitrair. In de verlengde derde toetsronde is de keuze onder andere gemaakt op basis van een advies van Deltares en de doorlatendheden van het zand. Bij een grote invloed van het tijdsafhankelijke effect op de pipinganalyse moet een gevoeligheidsanalyse het effect van de keuze inzichtelijk maken.

De dynamische waterstand volgt uit:

$$\text{dynamische waterstand} = \text{totale waterstand} - \text{quasi-statische waterstand}$$

In Afbeelding 2.1 zijn de quasi-statische en dynamische waterstanden weergegeven.

Afbeelding 2.1 Gemeten waterstanden (A) met de daaruit verkregen quasi-statische (B) en dynamische waterstanden (C)

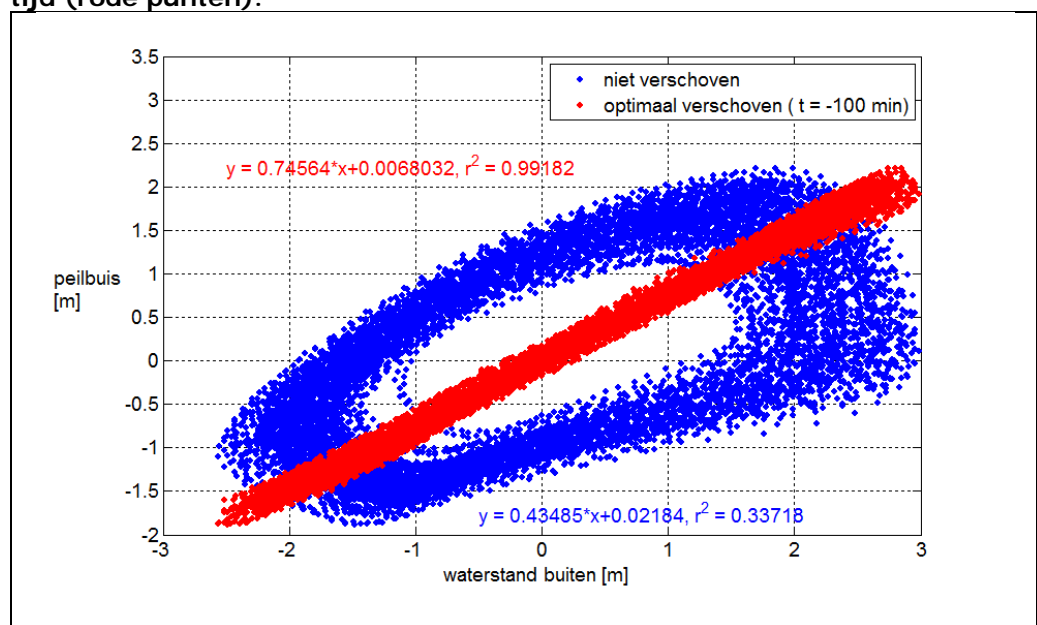


Actie 2: Wegnemen faseverschuiving voor optimale correlatie

De pieken en dalen van de peilbuismetingen en de buitenwaterstand (op basis van data van het BuW-meetstation) vallen in de tijd niet samen (Afbeelding 2.2). Dit kan komen door het afstandsverschil tussen het BuW-meetstation en de onderzoekslocatie (voor de casus hemelsbreed circa 14 km), maar doorgaans wordt dit met name veroorzaakt door de infiltratievertraging tussen de buiten- en binnenzijde van de kering.

De faseverschuiving is geneutraliseerd door de datapunten van de peilbuismetingen te verschuiven in de tijd ten opzichte van de buitenwaterstand, waardoor een betere (lineaire) correlatie ontstaat tussen peilbuismeting en de buitenwaterstand (rode datapunten in Afbeelding 2.2). Een goede correlatie is in deze casus gevonden met een verschuiving van 100 minuten. De dynamische relatie tussen de buitenwaterstand en de peilbuismeting volgt nu uit een lineaire trendanalyse.

Afbeelding 2.2 Relatie tussen buitenwaterstand en peilbuismeting zonder verschuiving in de tijd (blauwe punten) en met optimale verschuiving in de tijd (rode punten).



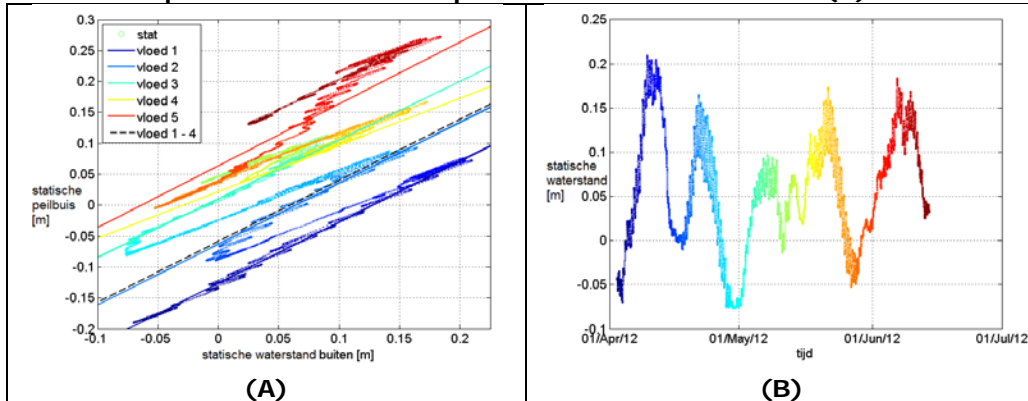
Actie 3: Bepalen quasi-statische respons (optimaal verschoven)

De quasi-statische respons blijkt in de verlengde toetsronde niet eenduidig te bepalen. Bij elke getijdencyclus is het verloop anders (Afbeelding 2.3A en Tabel 2-1). Het lijkt erop dat de respons groter is als de waterstand terugkomt van een hoge waarde. De belastinggeschiedenis is daarom van belang, met het gevolg dat een langere meetreeks gewenst is. Tevens blijkt er een sterkere respons tijdens belasten dan tijdens ontlasten.

In de verdere uitwerking van de analyse is gekozen voor een (beperkte) aanpassing van de gehanteerde methode door Waterschap Scheldestromen. In de casus is alleen de respons ten gevolge van een stijgende waterstand beschouwd (en dus niet de dalende tak). Ten behoeve van de extrapolatie is de gemiddelde helling en maximale offset van de lineaire trendanalyses in Afbeelding 2.3A toegepast (dik gedrukte waarden in Tabel 2-1).

Opgemerkt wordt dat de helling gemaximaliseerd is op 1,000 (vloed 5 in Tabel 2-1), omdat het voor een responsfunctie niet realistisch is dat de stijging in de peilbuis sneller verloopt dan de stijging van de buitenwaterstand.

Afbeelding 2.3 Quasi-statisch verloop van de peilbuismeting (A) en het bijbehorende quasi-statische verloop van de buitenwaterstand (B).



Tabel 2-1 Helling (a) en constante (b) voor relatie buitenwaterstand (H_{wst}) en quasi-statisch respons ($H_{pb} = a * H_{wst} + b$)

getij	a	b
vloed 1	0,987	-0,126
vloed 2	0,983	-0,063
vloed 3	0,947	0,011
vloed 4	0,755	0,022
vloed 5	1,000	0,064
gemiddeld vloed 1 - 4	0,986	-0.057

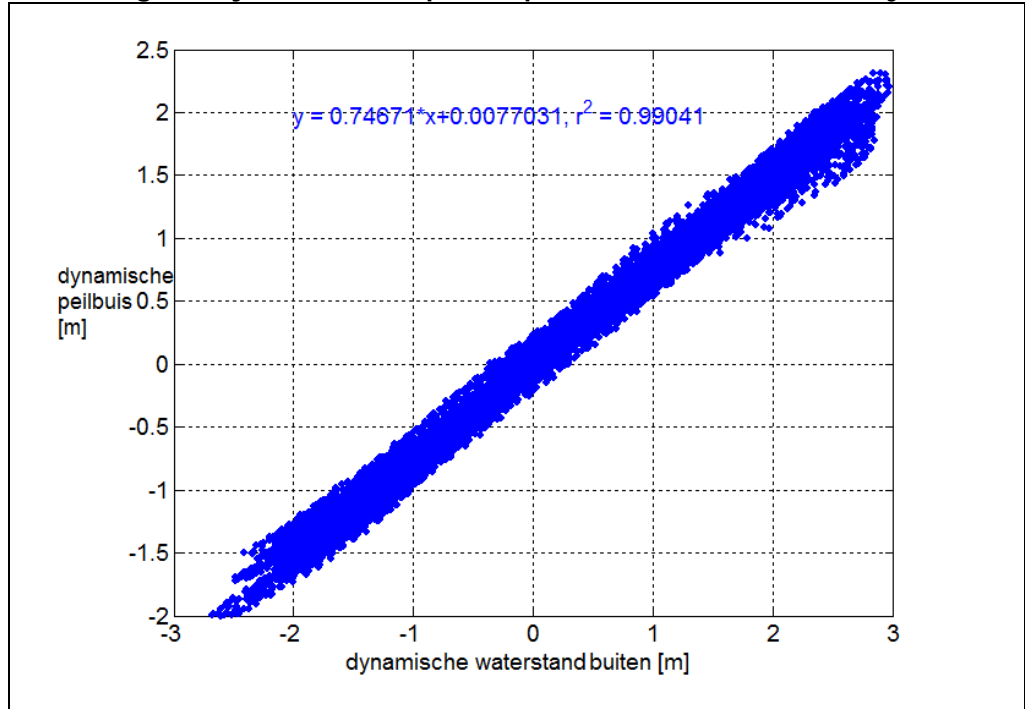
Afweging quasi-statische respons

Voor de quasi-statische respons is uitgegaan van $a = 0,986$ en $b = 0,064$. Het is mogelijk conservatief door uit te gaan van de maximale offset. Het effect van deze keuze is een toename van ongeveer 0,1 m op het verval. Op basis van de beschikbare informatie is het echter niet veilig om de ‘gemiddelde’ relatie aan te houden. Een statistische analyse over meerdere responsfuncties kan een betrouwbaarder resultaat opleveren. Hiervoor is echter een langere meetreeks nodig.

Actie 4: Bepalen dynamische respons (optimaal verschoven)

De dynamische respons is rechtsreeks te bepalen en geeft een goede correlatie tussen de peilbuismeting en buitenwaterstand en volgt uit een lineaire trendanalyse (Afbeelding 2.4).

Afbeelding 2.4 Dynamische respons, optimaal verschoven in de tijd



De volgende twee relaties zijn afgeleid:

Quasi-statisch: $H_{pb} = 0,986 * H_{wst,stat} + 0,064$

Dynamisch: $H_{pb} = 0,747 * H_{wst,dyn} + 0,008$

In Bijlage I is de analyse tevens uitgevoerd voor de respons ter plaatse van het binnentalud bij dp244. De resultaten van deze analyse zijn:

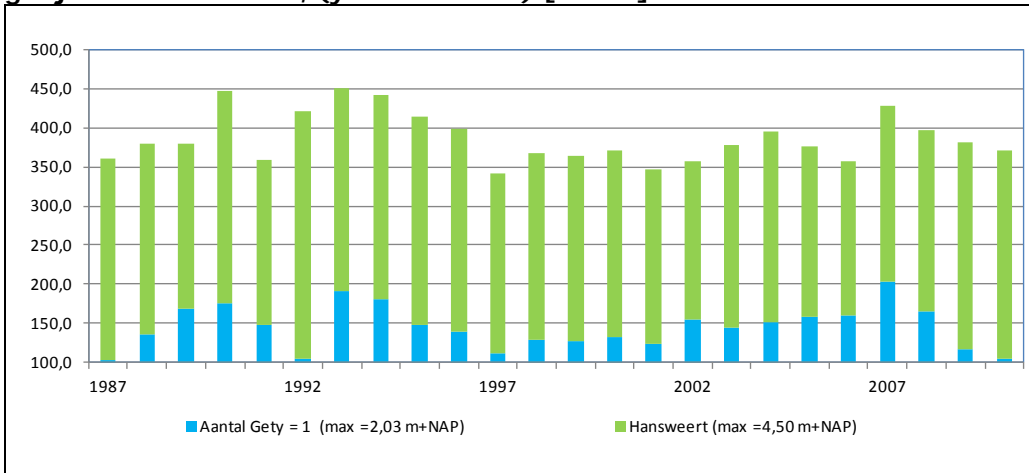
Quasi-statisch: $H_{pb} = 0,769 * H_{wst,stat} + 0,202$

Dynamisch: $H_{pb} = 0,603 * H_{wst,dyn} + 0,218$

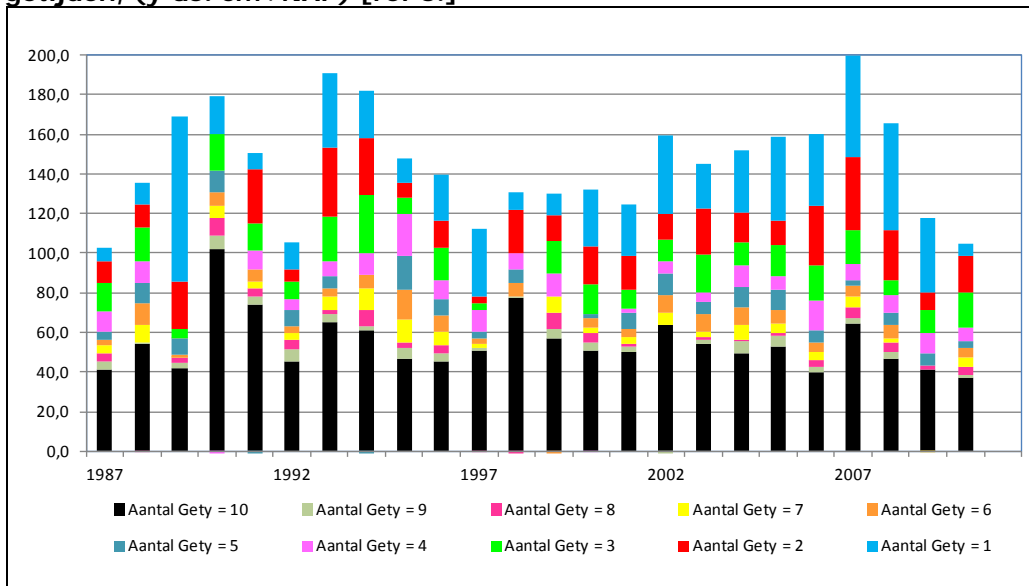
Stap 5: Bepalen quasi-statische en dynamische respons onder maatgevende omstandigheden

Voor het bepalen van de gemiddelde opzet van het buitenwater zijn de gemeten waterstanden (1987-2010) voor het BuW-meetstation beschouwd. In Afbeelding 2.5 is de maximale waterstand per jaar gegeven en de maximale gemiddelde waterstand met een middeling over één getij. De maximale gemiddelde waterstand per jaar over 1 tot 10 getijden is gepresenteerd in Afbeelding 2.6. De afbeeldingen zijn integraal overgenomen uit het toetsrapport van de verlengde derde toetsronde.

Afbeelding 2.5 Jaarmaxima waterstand en gemiddelde waterstand over 1 getij voor 1987- 2010, (y-as: cm+NAP) [ref. 6.]

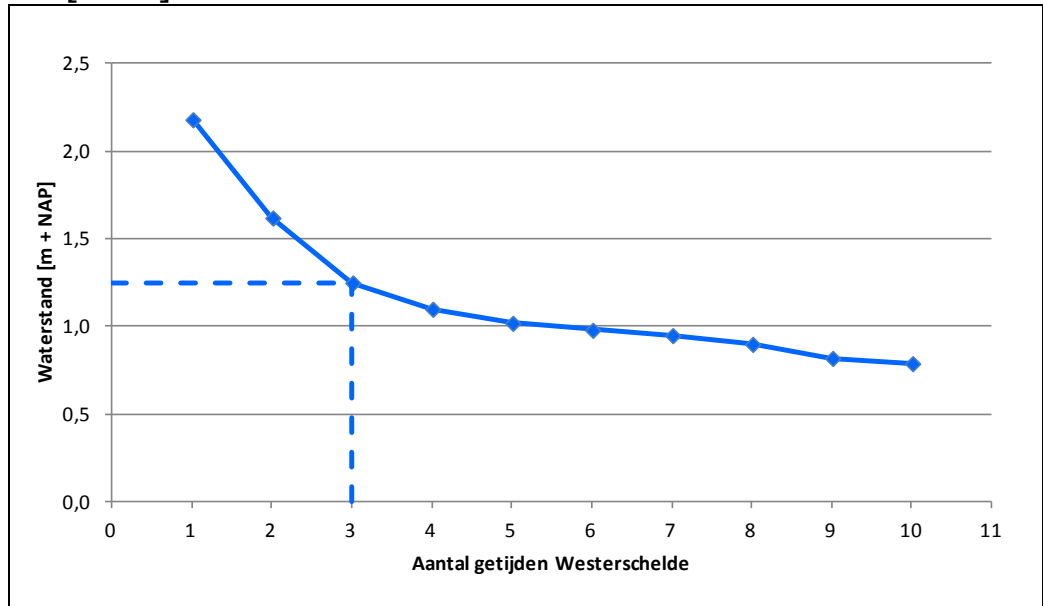


Afbeelding 2.6 Verloop jaarmaxima gemiddelde waterstand over 1 tot 10 getijden, (y-as: cm+NAP) [ref. 6.]



In Afbeelding 2.7 zijn de maxima van de gemiddelde waterstanden met een middeling over 1 tot 10 getijden weergegeven.

Afbeelding 2.7 Verloop maxima gemiddelde waterstand over 1 tot 10 getijden [ref. 6.]



In Afbeelding 2.7 is een knikpunt te zien bij de middeling over drie getijden. Dit punt is net als in de verlengde derde toetsronde gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde waterstand tijdens maatgevende omstandigheden. De bijbehorende waterstand is NAP +1,25 m.

Afweging gemiddelde waterstand tijdens maatgevende omstandigheden

In deze casus is de waterstandrespons van het quasi-statische deel gebaseerd op een middeling over 6 getijden. Het is daarmee conservatief om uit te gaan van 3 getijden voor de bepaling van gemiddelde waterstand tijdens maatgevende omstandigheden. Deze werkwijze is gelijk aan de werkwijze in de verlengde derde toetsronde.

De waterstand onder maatgevende omstandigheden is ter plaatse van het BuW-meetstation NAP +5,80 m. Samen met de bepaalde gemiddelde waterstand van NAP +1,25 m bedraagt de dynamische bijdrage aan de waterstand $5,80 - 1,25 = 4,55$ m. De bijdrage van het quasi-statische en het dynamische deel is opgenomen in de volgende tabel.

Tabel 2-2 Resultaat quasi-statische en dynamische bijdrage

locatie peilbuis	quasi - statisch [m+NAP]	dynamisch [m]	totaal [m+NAP]
buiten	$0,986 \cdot 1,25 + 0,064 = 1,30$	$0,747 \cdot 4,55 + 0,008 = 3,41$	4,70
binnen	$0,769 \cdot 1,25 + 0,202 = 1,16$	$0,603 \cdot 4,55 + 0,218 = 2,75$	4,12

Aanscherping stijghoogte eerste watervoerende pakket

In de verlengde derde toetsronde is de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket berekend met een nieuw ontwikkelde methode. Hierdoor zijn een aantal conservatieve keuzes gemaakt. Mogelijk biedt een vergelijking met een numeriek model of een statistische analyse een onderbouwing om de conservatieve aannamen aan te scherpen. Dit is alleen zinvol indien het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke effect bijdraagt aan een scherpere beoordeling van de veiligheid tegen piping (actie 6).

Actie 6: In rekening brengen tijdsafhankelijke effect in pipingbeoordeling

Op basis van de extrapolatie van de peilbuismetingen is de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket ter hoogte van het buitentalud berekend (NAP +4,70 m). In de verlengde derde toetsronde is het tijdsafhankelijke effect in rekening gebracht door in de pipinganalyse het verval gelijk te nemen aan het verschil tussen deze stijghoogte en de waterstand ter plaatse van het uittredepunt. De bijbehorende aanwezige kwelweglengte is hierbij gelijk aan de afstand tussen de peilbuis aan de buitenzijde en het uittredepunt (Afbeelding 3.1). Hierop wordt teruggekomen in paragraaf 2.2.5.

Aanscherping tijdsafhankelijke effect

De door het waterschap gebruikte methode, om het tijdsafhankelijke effect in rekening te brengen, leidt voor deze locatie niet tot een aanscherping van het toetsoordeel. Het positieve effect van de lagere stijghoogte (NAP +4,70 m in plaats van NAP +6,00 m) wordt te niet gedaan door de kortere beschouwde kwelweg (lengte 48,2 m in plaats van 83,0 m).

Er zijn andere methoden om het tijdsafhankelijke effect in rekening te brengen. Bijvoorbeeld door de stijghoogte ter plaatse van de buitenteen (intredepunt) te schatten op basis van de responsmetingen. Op deze manier kan het verval over de waterkering (buitenteen tot uittredepunt) verkleind worden. Een andere methode is het beschouwen van de gradiënt van het stijghoogteverloop ter plaatse van het uittredepunt. Hiervoor is een beschouwing met een gevalideerd geohydrologisch model nodig (bijvoorbeeld Plaxflow, gevalideerd op basis van peilbuismetingen).

Andere methoden zullen voor deze locatie niet leiden tot een aanscherping, omdat het een schaaldijk betreft op een zandige ondergrond. De demping in het watervoerende pakket is daardoor relatief klein.

2.2.3 B.1 Geometrie

Het dwarsprofiel volgt uit een inmeting van het waterschap en is weergegeven in Afbeelding 3.1. Dit dwarsprofiel is aangehouden in de uitwerking van de casus.

Aanscherping geometrie

Op basis van de beschikbare gegevens is een aanscherping niet mogelijk. Een gedetailleerde inmeting van het buitentalud (onderwater) en teensloot kan mogelijk leiden tot aanscherping.

2.2.4 B.2 Bodem en geohydrologische schematisatie

Ter plaatse van Molenpolder zijn de volgende geotechnische en geohydrologische gegevens beschikbaar in het DINOloket:

- geotechnisch lengteprofiel;
- veldonderzoek:
 - 25x boormonsterprofielen;
 - 1x boorgatmeting;
 - 17x sonderingen;
 - 2x peilbuismetingen binnen dwarsprofiel 244;
 - 2x peilbuismetingen in het achterland.

De meest recente gegevens zijn verkregen uit de verlengde derde toetsronde. Deze gegevens zijn tevens beschikbaar via het DINOloket.

Laagopbouw van dijk en ondergrond (a)

Het geotechnische lengteprofiel geeft tussen dp223 en dp237 een afwisselend beeld ten aanzien van de aanwezigheid van een afsluitende kleilaag. Tussen dp210 en dp249 is een oude geul aanwezig. Tijdens de formatie van Duinkerke is deze geul aangezand en deels afgedekt met een kleilaag.

Voor het bepalen van de laagopbouw is gebruik gemaakt van de rapportage verlengde derde toetsronde. De dikte van de slecht doorlatende laag is ter hoogte van dp244 gemiddeld 3 m dik. Aan de buitenzijde wordt deze laag doorsneden door de geul. Ter plaatse van de teensloot is de bodemopbouw gegeven in de volgende tabel.

Tabel 2-3 Bodemopbouw ter plaatse van sloot

grondsoort	van [m+NAP]	tot [m+NAP]
zand	(slootbodem) 0,25	-0,35
klei (deklaag)	-0,35	-1,55
zand	-1,55	verkende diepte

De dikte van de onderliggende zandlaag is volgens VNK 54,4 m. In de verlengde derde toetsronde is deze afgerond op 54 m. De watervoerende zandlaag is geschematiseerd als één zandpakket.

Afweging dikte deklaag en watervoerende pakket

De bodemopbouw ter plaatse van de teensloot is gelijk genomen aan de Tabel 2-3, omdat deze gebaseerd is op de meest recente boringen (uitgevoerd door Fugro in 2011).

Over de dikte van de onderliggende zandlaag is geen aanvullende informatie gevonden. De dikte is gelijk gehouden aan de verlengde derde toetsronde op 54 m. In stap 2.3 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op deze aanname.

Volumegewicht (b)

Voor de volumegewichten is gebruik gemaakt van de volgende waarden, conform de verlengde derde toetsronde:

- $\gamma_w = 10,085 \text{ kN/m}^3$;
- $\gamma_g \text{ (zand)} = 17,5 \text{ kN/m}^3$;
- $\gamma_g \text{ (deklaag)} = 15,12 \text{ kN/m}^3$.

Afweging volumegewicht

Een vergelijking van bovenstaande waarden met globale grondeigenschappen uit de Leidraad zee- en meerdijken [ref. 6.] (Tabel 2-4) laat zien dat de waarde voor de deklaag tussen typische waarden voor klei en veen in zit en de waarde voor zand relatief laag is. Door het ontbreken van aanvullend grondonderzoek zijn dezelfde waarden als de toetsing aangehouden. Mochten de waarden kritiek zijn, dan kan er gericht aanvullende geotechnische veld- en laboratoriumonderzoeken uitgevoerd worden. In deze casus is duidelijk sprake van opbarsten waardoor aanvullend grondonderzoek niet tot een ander resultaat zal leiden.

Tabel 2-4 Globale grondeigenschappen (bron: Leidraad zee- en meerdijken, Basisrapport)

grondsoort	volumiek gewicht [kN/m ³]	wrijvingshoek [°]	doorlatendheid [m/s]
Zand	19 - 21	30 - 38	> -10-5
Klei	16 - 19	20 - 30	10-8 - 10-6
Veen	10 - 11	15 - 25	10-8 - 10-5

Korrelgrootteverdelingen (c)

Uit de dataverzameling van de derde toetsronde blijkt dat ter plaatse van dp244 de d_{70} varieert tussen 110 μm en 170 μm . In VNK en de verlengde derde toetsronde is voor d_{70} 120 μm aangehouden. Deze is overgenomen in de casus.

Afweging waarde d_{70}

In de derde toetsronde lijkt de toegepaste d_{70} ten opzichte van de proevenverzameling conservatief gekozen. Op basis van een uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt de d_{70} relatief weinig invloed te hebben op het eindresultaat. Daarom is 120 μm toegepast in de casus.

Opgemerkt wordt dat de formule van Sellmeijer gefit is op een range van d_{70} -waarden van 150 tot 500 μm . De toegepaste d_{70} valt dus buiten het geldigheidsgebied van de formule. Dit is een aandachtspunt voor de gevoeligheidsanalyse.

Doorlatendheid (d)

In de verlengde derde toetsronde zijn de volgende waarden gevonden:

- uit proevenverzameling: $3 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- gewogen doorlatendheid methode VNK: $4,75 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- in verlengde derde toetsronde: $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

In de casus is een doorlatendheid van $5 \cdot 10^{-5}$ m/s aangehouden.

Afweging doorlatendheid

De doorlatendheid is tevens bepaald op basis van een methode die gebaseerd is op een analyse van de korrelgrootteverdeling overeenkomstig met bijlage B8 van het ORZW. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Kozeny-Carman vergelijking waarmee de doorlatendheid bepaald wordt met behulp van het specifiek oppervlak van de grond.

Aangezien niet de hele korrelgrootteverdeling bekend is, is een schatting gemaakt van de boven en ondergrenzen van de verdeling. Een bereik van de doorlatendheid is hiermee bepaald tussen $1 \cdot 10^{-4}$ m/s en $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (bijlage III). Hierin is een eventuele kleifractie buiten beschouwing gelaten welke de doorlatendheid reduceert. Het bepalen van de doorlatendheid op basis van de gehele korrelgrootteverdeling is een kans voor een verdere optimalisatie.

Configuratie van constructieve elementen in de omgeving van de dijk (e)

In de directe omgeving van de dijk zijn geen constructieve elementen opgenomen in de dijk. De meest dichtbijzijnde bebouwing in het achterland ligt op 80 m afstand van dp244.

Aanscherping bodem en geohydrologische schematisatie

Op basis van de beschikbare gegevens is alleen een aanscherping mogelijk van de doorlatendheid.

2.2.5

C.1 Bepaling (theoretisch) intredepunt

In de verlengde derde toetsronde zijn twee intredepunten beschouwd; ter plaatse van de buitenteen (snijpunt watervoerend pakket en geëxtrapoleerde helling buitentalud) en de peilbuislocatie aan de buitenzijde. De buitenteen ligt op 47,1 m uit de kruinlijn. De peilbuis aan de buitenzijde bevindt zich op een horizontale afstand van

12,3 m uit de kruinlijn (Afbeelding 3.1). Beide intredepunten zijn beschouwd in de casus.

Aanscherping intredepunt

Er worden geen aanscherpingmogelijkheden gezien voor het intredepunt. Het is een logische keuze van het waterschap om het intredepunt ter plaatse van de buitenteen te leggen, omdat het een schaaldijk betreft. Het fictieve intredepunt ter plaatse van de peilbuis ligt minder voor de hand.

Een 'theoretisch' intredepunt wordt meestal gedefinieerd buitenwaarts van de kering (en buitenteen) om een deel van het voorland in rekening te kunnen brengen. In de casus is echter geen voorland aanwezig. De stijghoogte in het watervoerende pakket is ter plaatse van de peilbuis onder maatgevende omstandigheden relatief goed bekend (paragraaf 2.2.2). Het waterschap heeft ervoor gekozen om het tijdsafhankelijke effect in rekening te brengen door het intredepunt (in gedachte) naar binnen te verleggen. Voor de casus is aangenomen dat deze methode juist is. Hier wordt nog nader onderzoek naar gedaan.

2.2.6 Bepaling uittredepunt

Op basis van §5.2.4, §5.3.2, §6.2.1.1 en §8.6.2 van het ORZW zijn de volgende locaties voor het uittredepunt bepaald in de verlengde derde toetsronde: binnenteen, teensloot en achterland. De bijbehorende afstanden tot kruinlijn zijn daarbij respectievelijk -24,8, -35,9 en -40,0 m. Het uittredepunt ter plaatse van de teensloot bleek in alle analyses maatgevend en is als uittredepunt genomen voor de casus. Net als in de derde toetsronde is het niveau van de slootbodem aangenomen op NAP +0,25 m.

Aanscherping uittredepunt

Op basis van de beschikbare data is geen aanscherpingmogelijkheid gevonden voor de bepaling van het uittredepunt.

2.2.7 Beschouwing kwelweglengte

In de verlengde derde toetsronde zijn de volgende punten meegenomen in de pipingbeoordeling:

- weerstand van het opbarstkanaal;
- effect dikte van het watervoerende pakket (deels verdisconteerd in de peilbuisanalyses en deels middels een gevoeligheidsanalyse);
- heavecriterium. Voordat de toets op piping is uitgevoerd, is eerst gecontroleerd of voldaan wordt aan het heavecriterium over het opbarstkanaal.

Aanscherping kwelweglengte

Op basis van de beschikbare data is geen aanscherpingmogelijkheid gevonden.

2.3 Uitvoeren gevoeligheidsanalyse

Aanscherping lijkt mogelijk door de doorlatendheid van de watervoerende laag nader te beschouwen. Een lagere doorlatendheid heeft een positief effect op de benodigde kwelweglengte. Tevens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de dikte van de watervoerende laag (vanwege de grote onzekerheid van de aangenomen waarde).

Afwegingen keuze parameters gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd op de doorlatendheid en dikte van het watervoerende pakket. Voor de doorlatendheid zijn aanscherpingsmogelijkheden geconstateerd. Voor de dikte van het watervoerende pakket is gekozen, omdat de onderbouwing van de gehanteerde waarde in de toetsing niet kon worden achterhaald.

Veiligheidsfactoren

Ten behoeve van het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyses dienen de veiligheidsfactoren bepaald te worden. In de verlengde derde toetsronde zijn de volgende veiligheidsfactoren afgeleid:

- γ_b (schematiseringsfactor) = 1,01;
- γ_n (betrouwbaarheidsindex afhankelijke veiligheidsfactor) = 1,325.

In voorliggende casus zijn deze factoren overgenomen

Afweging veiligheidsfactoren

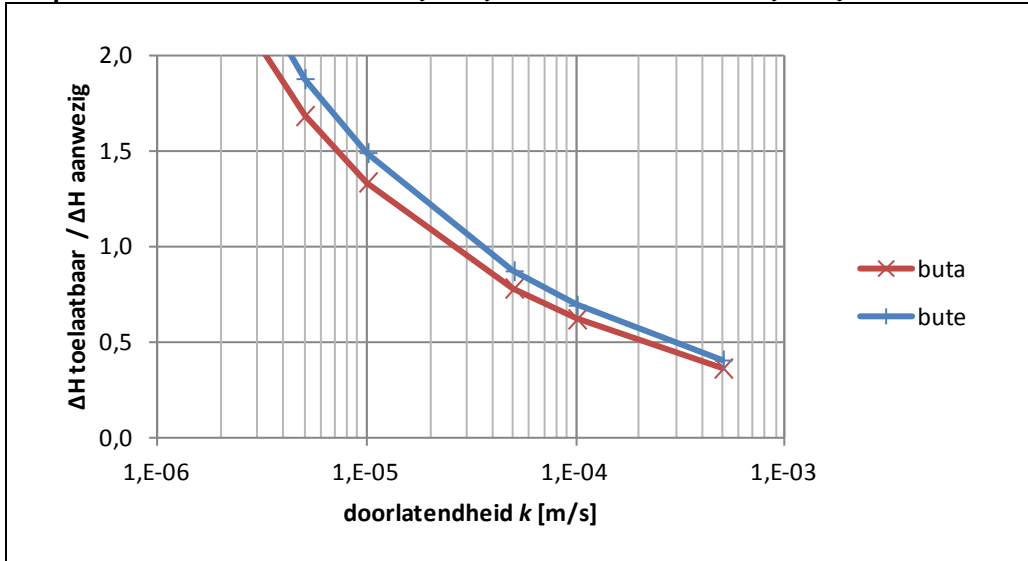
Een schematiseringsfactor van 1,01 is de minimale waarde conform TRGS. In voorliggende casus is de schematiseringsfactor niet opnieuw afgeleid, maar overgenomen uit de toetsing. Voor voorbeelden van de afleiding van de schematiseringsfactor wordt verwezen naar de andere casussen bij de werkwijzer. Opgemerkt wordt dat een lage schematiseringsfactor niet per definitie leidt tot een scherpere beoordeling. Om een lage schematiseringsfactor te mogen toepassen, is mogelijk een te conservatieve schematisatie van de werkelijkheid nodig.

De partiële weerstandsfactor heeft een vaste waarde voor deze doorsnede en is daarom aangehouden.

Doorlatendheid watervoerende laag

De doorlatendheid van de watervoerende laag blijkt van grote invloed te hebben op de veiligheid. In Afbeelding 2.8 is de doorlatendheid van de watervoerende laag uitgezet tegen de verhouding ΔH toelaatbaar en ΔH aanwezig. Voor ΔH toelaatbaar / ΔH aanwezig groter dan 1,0 geldt dat voldaan wordt aan het pipingcriterium met behulp van formule 7.3 uit het ORZW. Bij een geringe verlaging van de doorlatendheid (van $5 \cdot 10^{-5}$ tot $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) wordt aan het pipingcriterium voldaan. Een nadere analyse van de doorlatendheid is daarom van meerwaarde om het pipingoordeel beter te onderbouwen.

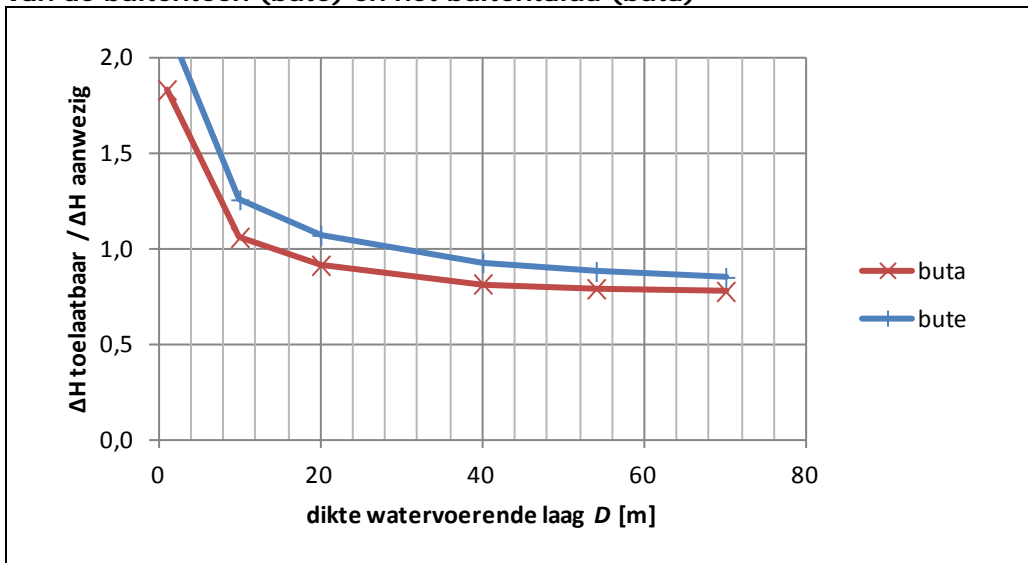
Afbeelding 2.8 Gevoeligheidsanalyse doorlatendheid watervoerendpakket ter plaatse van de buitenteen (bute) en het buitentalud (buta)



Dikte watervoerende laag

Pas bij een grote (> 30 m) reductie van de dikte van het zandpakket (Afbeelding 2.9) blijkt de stabiliteit voldoende te zijn. Geringe variaties (~ 10 m) ten opzichte van de huidige aangenomen dikte van het zandpakket (54 m) hebben weinig invloed op de stabiliteit.

Afbeelding 2.9 Gevoeligheidsanalyse dikte watervoerend pakket ter plaatse van de buitenteen (bute) en het buitentalud (buta)



2.4 Uitvoeren aanvullend onderzoek

Aanvullend onderzoek naar de doorlatendheid van het watervoerende pakket lijkt nuttig. Uit de gevoeligheidsanalyse van de doorlatendheid blijkt dat met de huidige aanname voor de doorlatendheid de vereiste veiligheid niet behaald wordt. Op basis van de huidige kennis van de korrelgrootteverdeling is een inschatting te maken voor de doorlatendheid. Mogelijk kan deze omlaag worden bijgesteld.

3 Beslissen

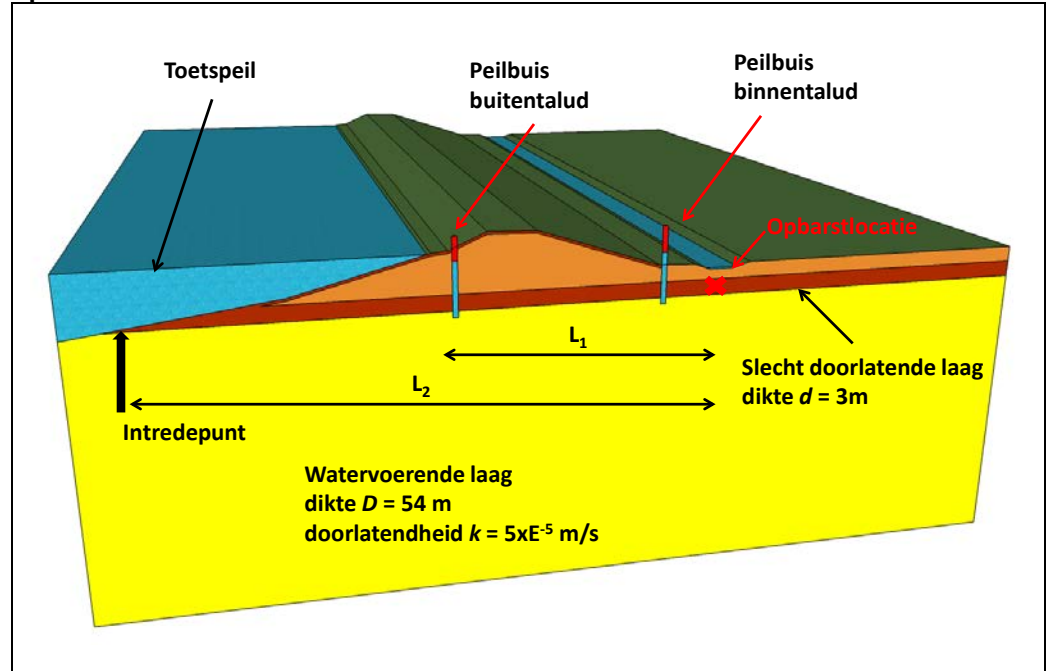
3.1 Definitieve schematisering in deelvakken

In de verlengde derde toetsronde zijn de meest recente en meest uitgebreide beschikbare gegevens toegepast en deze zijn gehandhaafd in voorliggende casus. Verdere aanscherping is eventueel mogelijk door nader onderzoek te doen naar de doorlatendheid van het watervoerende pakket. Voor de verdere uitwerking van deze casus is aangenomen dat het aanvullende onderzoek niet tot een andere beoordeling leidt.

De definitieve schematisering ter plaatse van dwarsprofiel dp244 is weergegeven in Afbeelding 3.1, waarin:

- L1 (m)	48,20
- L2 (m)	83,00
- toetspeil (m+NAP)	6,00
- stijghoogte peilbuis buitentalud (m+NAP)	4,70
- slootpeil (m+NAP)	0,70
- dikte deklaag t.p.v. teensloot (m)	1,80

Afbeelding 3.1 Overzicht geometrie en kwelweglengtes binnen dwarsprofiel dp244



3.2 Definitieve selectie te controleren kwelwegen per deelvak

In de verlengde derde toetsronde is de extra weerstand in het opbarstkanaal (0,3d-regel) in rekening gebracht bij het toepassen van de ongedempte buitenwaterstand. In voorliggende analyses is deze extra weerstand tevens meegenomen.

De definitieve selectie van de te controleren kwelwegen (L_1 en L_2) is weergegeven in Afbeelding 3.1.

3.3 Uitvoeren kwelweganalyse

Naar aanleiding van de grondmechanische parameterisatie en de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden is getoetst op heave (vergelijking 7.1 ORZW), opbarsten (vergelijking 7.2 ORZW) en piping (vergelijking 7.3 ORZW). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-1 en een overzicht van de berekeningen is weergegeven in bijlage III.

Tabel 3-1 Technisch oordeel heave, opbarsten en piping dp244

mechanisme	sloot
heave (7.1 ORZW)	voldoet niet
opbarsten (7.2 ORZW)	voldoet niet
piping (7.3 ORZW)	voldoet niet

Invloed tijdsafhankelijke effect

Het in rekening brengen van het tijdsafhankelijke effect leidt in de voorliggende casus niet tot een reductie van de benodigde kwelweglengte. De belangrijkste oorzaken zijn:

- waterkering is een schaaldijk (geul direct voor de waterkering) op een dik watervoerend pakket (circa 50 m). Hierdoor is er een sterke respons van de peilbuizen op de buitenwaterstand en een beperkte demping richting het achterland;
- gebruikte methode om het stijghoogteverloop te schatten houdt geen rekening met eventueel opbarsten/opdrijven van het achterland (met mogelijke afname van de waterspanningen tot gevolg).

3.4 Vaststellen aard en omvang, aanbevelingen

Uit de toetsing blijkt dat zowel op heave, opbarsten als piping dp244 niet voldoet. De schaaldijk ter plaatse van dp244 biedt een goede mogelijkheid tot binnenwaartse versterkingen.

4 Doen

4.1 **Beoordeel restrisico en bijdrage noodmaatregelen**

De gevoeligheidsanalyse van de kwelweglengte laat zien dat in de huidige situatie ruim niet voldaan wordt aan de veiligheids-eisen tegen piping. Het risico wordt te groot geacht om effectief noodmaatregelen te implementeren.

4.2 **Keuze en implementatie maatregel**

Mogelijke maatregelen om te voldoen aan het opbarst- en/of pipingcriterium zijn:

- verlengen horizontale kwelweg;
- voorkomen opbarsten kleilaag binnen kritieke kwelweglengte;
- verlengen verticale kwelweg;
- verkleinen verval;
- voorkomen uitspoelen zand.

4.3 **Informatie en afwijking uitvoering vastleggen**

In het kader van de voorliggende casus is deze stap niet verder uitgewerkt.

4.4 **Beheer**

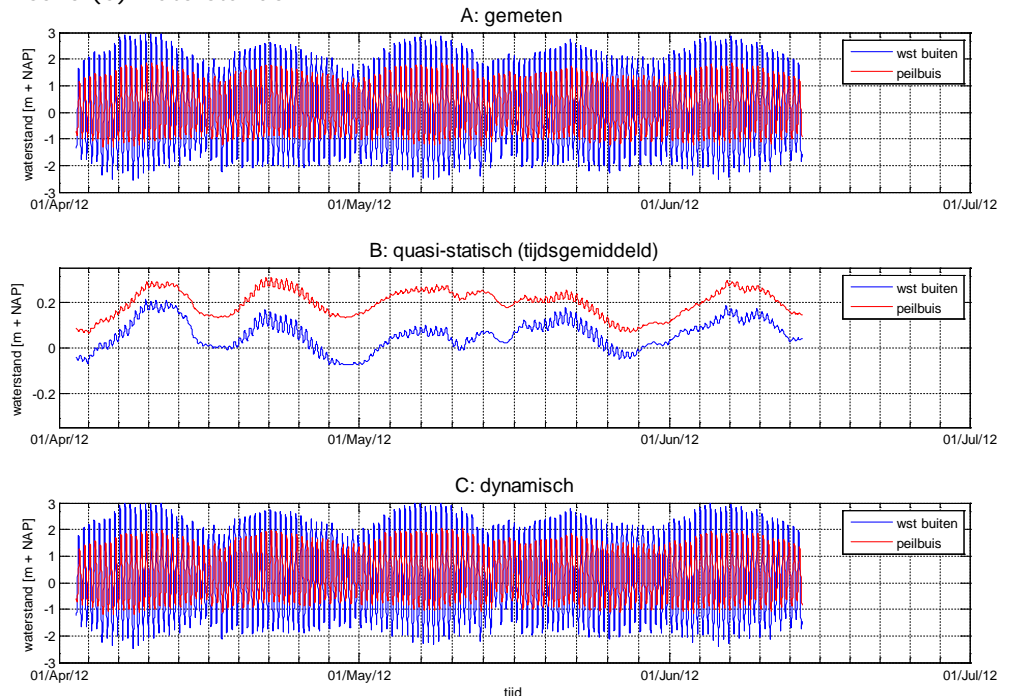
In het kader van de voorliggende casus is deze stap niet verder uitgewerkt.

5 Referenties

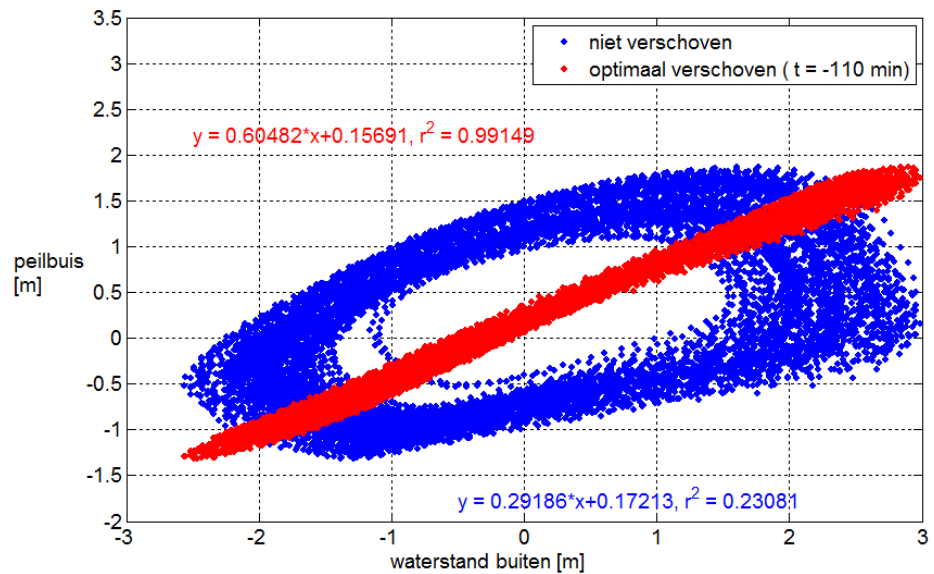
1. Carrier III, W. David. "Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 129.11 (2003): 1054-1056.
2. Deltares (2012). Onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen, 1202123-003.
3. ENW (2012). Technisch rapport grondmechanisch schematiseren bij dijken.
4. Ministerie Verkeer en Waterstaat (2007). Voorschrift toetsen op veiligheid, Primaire waterkeringen (VTV2006).
5. Ministerie Verkeer en Waterstaat (2007). Hydraulische randvoorwaarden, Primaire waterkeringen, Voor de derde toetsronde 2006-2011 (HR2006).
6. TAW (1999). Leidraad zee- en meerdijken.
7. TAW (2004). Technisch rapport waterspanningen bij dijken.
8. Waterschap Scheldestromen (2013). Rapportage verlengde derde toetsing, onderdeel dijken, versie 4.

Bijlage I Analyse peilbuisresponsmetingen binnentalud

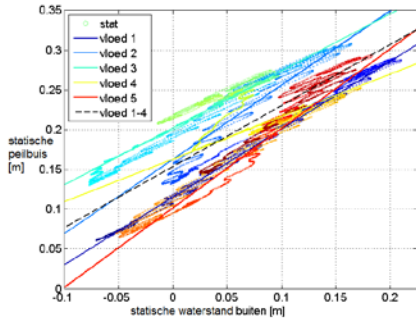
Gemeten waterstanden (A) met de daaruit verkregen quasi-statische (B) en dynamische (C) waterstanden.



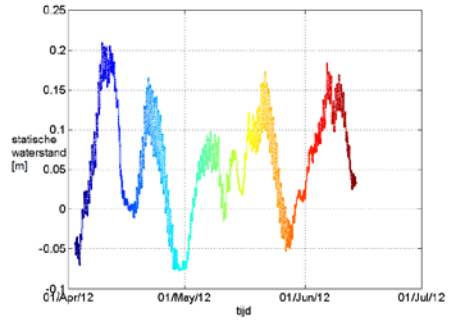
Relatie tussen buitenwaterstand en peilbuismeting zonder verschuiving in de tijd (blauwe punten) en met optimale verschuiving in de tijd (rode punten).



Quasi-statisch verloop van de peilbuismeting (A) en het bijbehorende quasi-statische verloop van de buitenwaterstand (B)



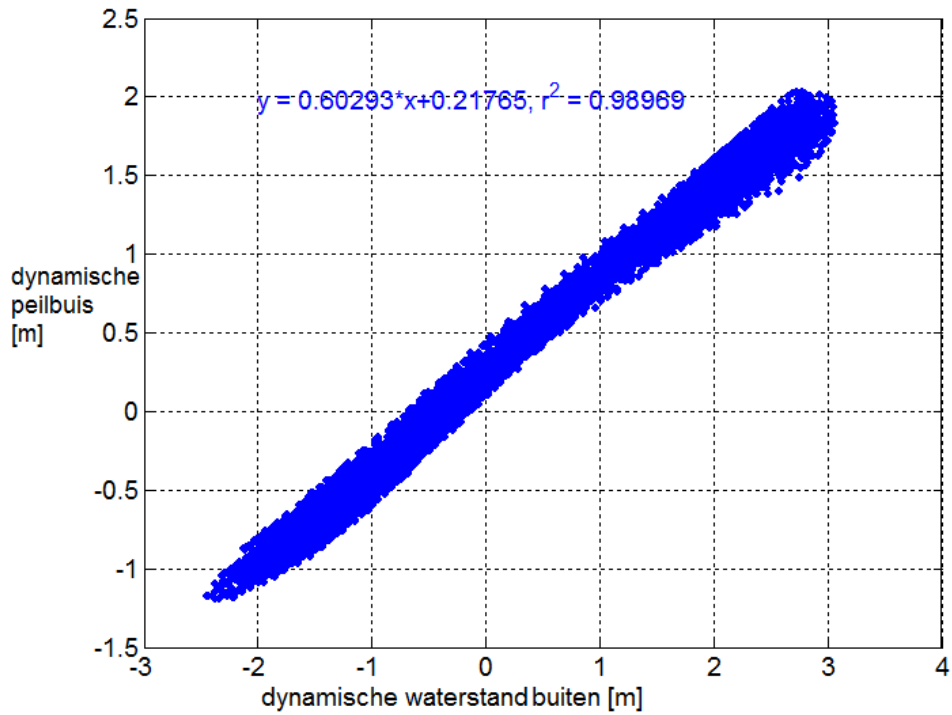
(A)



(B)

Getij	a	b
Vloed 1	0,854	0,115
Vloed 2	0,935	0,162
Vloed 3	0,718	0,202
Vloed 4	0,533	0,163
Vloed 5	1,000	0,101
Gemiddeld vloed 1 -4	0,769	0,154

Dynamische respons peilbuis binnentalud, optimaal verschoven in de tijd.

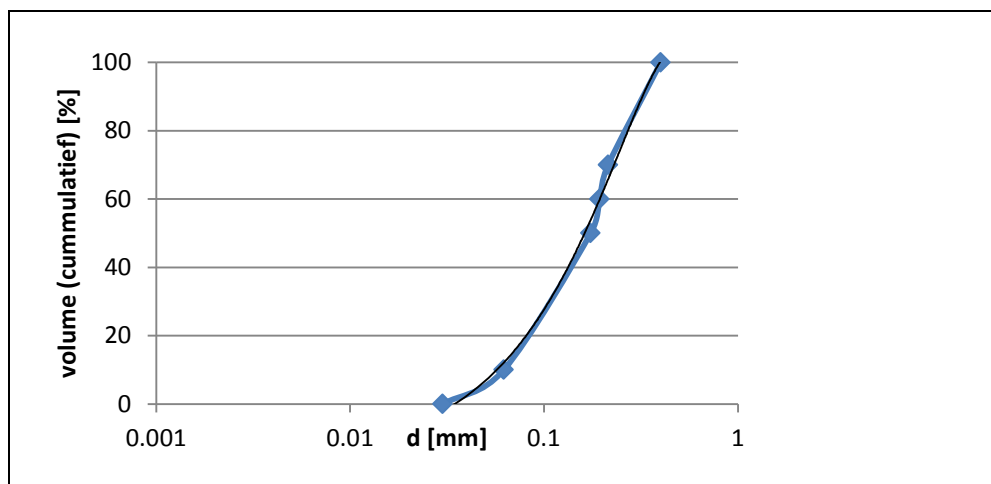


Bijlage II Doorlatendheidsanalyse

Korrelgrootteverdeling 1

Korrelgrootteverdeling uit appendices verlengde derde toetsronde				
ρ_s	2650	kg/m ³		
Size (mm)	Passing cum	Volume bin	S	X S
0,4	100			
0,214	70	0,3	11,46	3,44
0,193	60	0,1	12,71	1,27
0,174	50	0,1	14,10	1,41
0,062	10	0,4	39,56	15,82
0,03	0	0,1	81,76	8,18
			m ² /kg	30,12

Geel: geschatte waarde minimum korrelgrootte gebaseerd op curve korrelgrootteverdeling (grafiek onder)



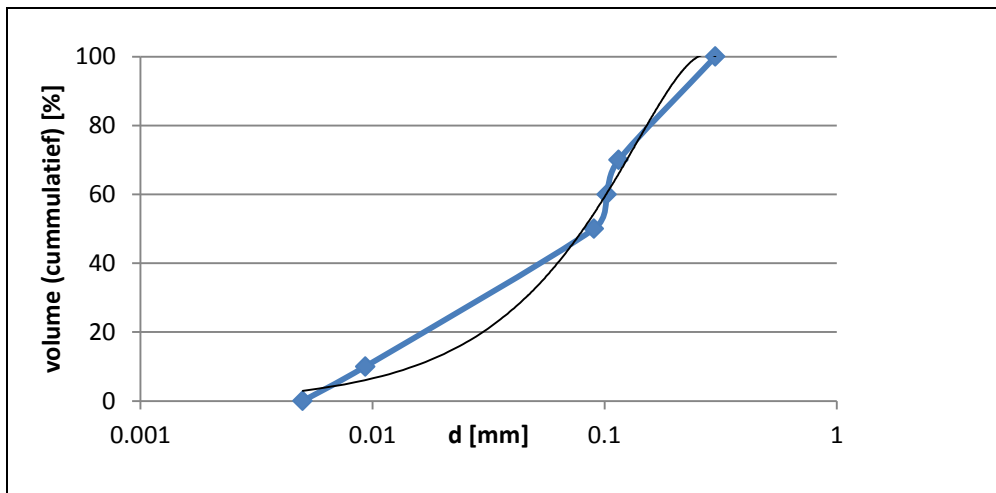
Resultaat Kozeny-Carman vergelijking [ref. 8].

SF	6,5	-	vormfactor
μ_w	1,00E-03	Ns/m ²	
g	9,81	m/s ²	
ρ_w	1000	kg/m ³	
D_R	2,65	-	
C_{KC}	0,2		
ϕ_s	0,55		e: 0,30123967
k	9,28E-05	m/s	

Korrelgrootteverdeling 2

Korrelgrootteverdeling uit appendices verlengde derde toetsronde					
ρ_s	2650	kg/m ³			
Size (mm)	Passing cum	Volume bin	S		X S
0,3	100				
0,115	70	0,3	21,33		6,40
0,102	60	0,1	24,05		2,40
0,09	50	0,1	27,25		2,73
0,0093	10	0,4	263,75		105,50
0,005	0	0,1	490,57		49,06
				m ² /kg	166,08

Geel: geschatte waarde minimum korrelgrootte gebaseerd op curve korrelgrootteverdeling (grafiek onder)



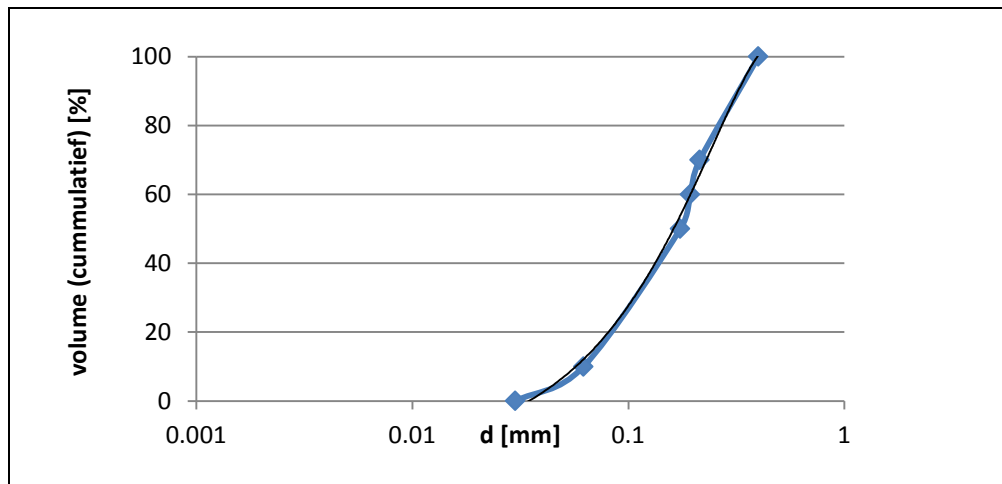
Resultaat Kozeny-Carman vergelijking [ref. 8].

SF	6,5	-	vormfactor
μ_w	1,00E-03	Ns/m ²	
g	9,81	m/s ²	
ρ_w	1000	kg/m ³	
D_R	2,65	-	
C_{KC}	0,2		
ϕ_s	0,55	e:	0,30123967
k	3,05E-06	m/s	

Korrelgrootteverdeling 3

Korrelgrootteverdeling uit appendices verlengde derde toetsronde				
ρ_s	2650	kg/m ³		
Size (mm)	Passing cum	Volume bin	S	X S
0,2	100			
0,166	70	0,3	14,78	4,43
0,145	60	0,1	16,92	1,69
0,126	50	0,1	19,47	1,95
0,065	10	0,4	37,74	15,09
0,04	0	0,1	61,32	6,13
			m ² /kg	29,30

Geel: geschatte waarde minimum korrelgrootte gebaseerd op curve korrelgrootteverdeling (grafiek onder)



Resultaat Kozeny-Carman vergelijking [ref. 8].

SF	6,5	-	vormfactor
μ_w	1,00E-03	Ns/m ²	
g	9,81	m/s ²	
ρ_w	1000	kg/m ³	
D_R	2,65	-	
C_{KC}	0,2		
ϕ_s	0,55	e:	0,30123967
k	9,81E-05	m/s	

Bijlage III Berekeningen

	parameter	waarde	eenheid
Geo-metrie	X pb buitentalud	12,3	m
	X buitenteen	47,1	m
	X pb binnentalud	-25,9	m
	X uittredepunt	-35,9	m
HR	MHW	6,00	m+NAP
	H buta	4,70	m+NAP
	H bita	4,12	m+NAP
	H uittredepunt (o.b.v. lineaire extrapolatie, excl. invloed opdrijven)	3,97	m+NAP
	Polderpeil	0,70	m+NAP
Bodem-opbouw	MV	0,25	m+NAP
	onderkant zand	-0,35	m+NAP
	onderkant deklaag	-1,55	m+NAP
	d (effectieve laagdikte)	1,80	m
	D (karakteristieke waarde dikte zandpakket)	54,00	m
Materialieigenschappen	k (specifieke doorlatendheid)	5,00E-05	m/s
	d _{70m} (ref t.o.v. schaalproeven)	2,08E-04	m
	d ₇₀ (70% percentief PSD)	1,20E-04	m
	Y _g (zand)	17,50	kN/m ³
	Y _g (deklaag)	15,12	kN/m ³
	Y _{water} (zeewater)	10,085	kN/m ³
	Y _p (volumegewicht zand)	26,00	kN/m ³
	Y _{water} (factor F1)	9,81	kN/m ³
	Y' _p (schijnbaar volumiegewicht zandkorrels onder water)	16,19	kN/m ³
overig	Y _n (partiele weestandfactor)	1,325	-
	Y _b	1,000	-
1. Heave-situatie bij ware stijghoogte (stap 2a.1 H7 ORZW)			
	ΔH aanwezig	3,27	m
	d (effectieve laagdikte)	1,80	m
	i _{c;rep} =(ΔH/d)<0,5	1,82	-
	oordeel heave	voldoet niet	

parameter	waarde	eenheid
2. Opbarsten deklaag bij ware stijghoogte (stap 2a.2 H7 ORZW)		
σ_g (grondspanning)	33,18	kPa
σ_w (waterspanning)	55,70	kPa
oordeel opbarsten ($\sigma_g/\sigma_w > 1,2$)	voldoet niet	
3. Toets op piping (2a.3 H7 ORZW) Sellmeijer		
$F_{\text{resistance}}=F_1=(\gamma'_p/\gamma_w)*(\eta*\tan(\theta))$	0,311	-
η (coeff White)	0,25	-
θ	37,00	°
$\tan(\theta)$	0,75	-
v (kinematische viscositeit)	1,33E-06	m ² /s
g	9,81	m/s ²
K (intrinsieke doorlatendheid)	6,78E-12	m ²
L_1 (tot buitentalud)	48,20	m
L_2 (tot buitenteen)	83,00	m
$F_{\text{scale},1}=F_2=d_{70m}/3\sqrt{(\kappa*L_1)}*(d_{70}/d_{70m})^{0.4}$	0,24	-
$F_{\text{scale},2}=F_2=d_{70m}/3\sqrt{(\kappa*L_2)}*(d_{70}/d_{70m})^{0.4}$	0,20	-
$F_{\text{geometry},1}=F_3=0.91*(D/L_1)^{A_1}$	1,00	-
$F_{\text{geometry},2}=F_3=0.91*(D/L_2)^{A_2}$	1,06	-
$A_1 = (0.28/((D/L_1)^{2.8-1}+0.04))$	0,79	-
$A_2 = (0.28/((D/L_2)^{2.8-1}+0.04))$	-0,36	-
D	54,00	m
$\Delta H_{c,1} = L_{\text{binnenteen}} * F_{\text{geometry},1} * F_{\text{resistance},1} * F_{\text{scale},1}$	3,61	m
$\Delta H_{c,2} = L_{\text{buitentalud}} * F_{\text{geometry},2} * F_{\text{resistance},2} * F_{\text{scale},2}$	5,54	m
$\gamma_n * \gamma_b$	1,34	-
$\Delta H_1 - 0,3d = H_{\text{buta}} - W_{\text{stbinnen}} - 0,3d$	3,46	m
$\Delta H_2 - 0,3d = M_{\text{HW}} - W_{\text{stbinnen}} - 0,3d$	4,76	m
$\Delta H_{c,1}/(\gamma_n * \gamma_b)$	2,70	m
$\Delta H_{c,2}/(\gamma_n * \gamma_b)$	4,14	m
oordeel piping L1	voldoet niet	
oordeel piping L2	voldoet niet	
bijbehorende stabiliteitsfactor L1	0,78	-
bijbehorende stabiliteitsfactor L2	0,87	-