

Pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer

Onderzoeksvragen 7 en 11: Piping en kwel

projectnummer 0413509
definitief revisie 04
14 september 2023

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Onderzoeksvragen en eisen	2
1.2.1	Onderzoeksvragen	2
1.2.2	Eisen	3
1.3	Doel onderzoeksvragen	3
1.4	Invulling onderzoek en proeven	3
2	Definities en criteria	4
2.1	Definities	4
2.2	Criteria	5
3	Analyse fenomenologie	7
3.1	Piping	7
3.2	Eis uittredepunt	8
3.3	Heave criterium	8
3.4	Terugschrijdende erosie bij JLD-Dijkstabilisator	10
3.4.1	Maatgevende locatie terugschrijdende erosie	11
3.4.2	Meerdere watervoerende lagen	11
3.5	Indringing	12
4	Uitwerking pilotlocaties	15
4.1	Geohydrologische situatie	15
4.1.1	Broek in Waterland	15
4.1.2	Purmerend	17
4.1.3	Watergraafsmeer	19
4.1.4	Samenvatting geschiktheid onderzoekslocaties	22
4.2	Uitgevoerde interactieproeven Purmerend	24
4.2.1	Inleiding	24
4.2.2	Beschrijving proeven Purmerend	27
4.2.3	Analyse kwel	29
4.2.4	Conclusie uit interactieproeven Purmerend	30
4.3	Grondwatermodellering	31
5	Maatregelen	37
5.1	Inleiding	37
5.2	Onderzoek vooraf	37
5.3	Tijdens uitvoering	38
5.3.1	Temperatuur of infraroodmetingen	38
5.3.2	Uitwerking afdichten boorgaten	41

5.4	Maatregelen achteraf	42
6	Conclusies en aanbevelingen	43
6.1	Algemeen	43
6.2	Definities	43
6.3	Effect van de JLD-Dijkstabilisator op piping en kwel	44
6.4	Praktijkproeven	44
6.5	Ontwerpcontrole	45
6.6	Maatregelen	45
6.6.1	Vorbereidingsfase	45
6.6.2	Uitvoeringsfase	46

Bijlage 1 Thermisch infrarood metingen

Bijlage 2 Case studies

Bijlage 3 Metingen kwel bij interactieproeven

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De JLD-Dijkstabilisator is een nieuwe dijkversterkingsmethode. Voor de ontwerpbaarheid, bewijsbaarheid van deze methode is een pilotproject met praktijkproeven opgezet. De resultaten hiervan hebben als doel (door)ontwikkeling van deze innovatie en het leveren van afdoende onderbouwing voor een ENW-acceptatie.

In een voorgaande fase zijn reeds diverse veldproeven uitgevoerd ten behoeve van de ontwikkeling en onderbouwing van de techniek. Deze veldproeven hebben antwoord gegeven op de meeste vragen rond deze innovatieve techniek maar niet alle vragen zijn hiermee beantwoord.

JLD-Dijkstabilisator



JLD-Dijkstabilisator bestaat uit een LDE (vin-element), klapanker, trekstang en kopplaat. Het klapanker wordt in een diepe zandlaag geplaatst, waardoor de krachten op het LDE-element via de kopplaat en de trekstang worden doorgegeven aan de zandlaag. Door het aanbrengen van de voorspanning op de kopplaat wordt de grond onder de kopplaat op spanning gebracht. Het voordeel van de JLD-Dijkstabilisator is dat dit een actief systeem betreft dat geen vervorming van de dijk nodig heeft voordat het in werking treedt.

Na uitvoeren van de veldproeven is op basis van de postdictie een ontwerpmethodologie opgesteld voor de JLD-Dijkstabilisator. Het onderzoek uitgevoerd in de postdictie en de hierop gebaseerde

ontwerpmethoden zijn voorgelegd aan de ENW. De ENW heeft aangegeven dat het onderzoek en de ontwerpmethode voldoende basis bieden voor verdere ontwikkelingen. Het ENW heeft hierbij wel enkele kennisvragen opgesteld die in de verdere doorontwikkeling beantwoord moeten worden.

In samenwerking met Waterschap Amstel, Gooi en Vecht is besloten een pilotproject uit te voeren. Als pilotproject is gekozen voor de dijkversterking van de Ringdijk te Watergraafsmeer in Amsterdam. Daarbij is een team van JLD Contracting, Antea Group en Deltares betrokken. De kennisvragen van ENW zijn bij aanvang van het pilotproject in Watergraafsmeer gecombineerd met kennisvragen die specifiek gelden voor de pilotlocatie en de dijkversterking van de Ringdijk. In het totaal betreft het negentien onderzoeksvragen die beantwoord worden op basis van het pilot project en aanvullende veldproeven. Voor verder onderzoek en voor de beantwoording van de onderzoeksvragen worden de volgende proeven en het eerder genoemde pilotproject uitgevoerd en gemonitord:

- Voorspanproeven te Purmerend;
- Interactieproef Veen te Broek in Waterland;
- Pilotproject Ringdijk Watergraafsmeer.

1.2 Onderzoeksvragen en eisen

1.2.1 Onderzoeksvragen

Onderzoeksvraag 7

De oorspronkelijke onderzoeksvraag 7 uit het PvA van de Pilot JLD-Dijkstabilisator ringdijk Watergraafsmeer is als volgt geformuleerd:

- Pipingrisico langs het anker (door het inbrengen van het anker met de voorloper) in andere dan zuiver kleiige gronden.

Onderzoeksvraag 7 is op de volgende manier geïnterpreteerd:

- Is er een risico op kwel, en daarmee op piping of heave langs het anker/trekstang door het inbrengen van het anker met de voorloper/drijfstang en hoe groot is dit risico?

Onderzoeksvraag 11

De oorspronkelijke onderzoeksvraag 11 uit het PvA van de Pilot JLD-Dijkstabilisator ringdijk Watergraafsmeer is als volgt geformuleerd:

- Aanwezige wateroverspanning in relatie tot pipingrisico en uitvoerbaarheid

Onderzoeksvraag 11 is op de volgende manier geïnterpreteerd:

- Kan de wateroverspanning in de zandlaag van de ringdijk Watergraafsmeer leiden tot kwel en daarmee tot piping of heave en kan dit een probleem opleveren voor de uitvoerbaarheid?

Bij het plaatsen van het klapanker in een watervoerende zandlaag worden de ondoorlatende lagen erboven doorstoken door het klapanker en de drijfstang waarmee het klapanker wordt aangebracht. Bij de bovenste lagen wordt het gat dat de drijfstang achterlaat weer opgevuld door het LDE dat over de trekstang wordt geplaatst. Onder het LDE wordt het gat niet opgevuld. De trekstang loopt door het LDE en via het gat dat hiervoor benodigd is in het LDE kan wellicht kwel optreden. Onderzoeksvraag 7 en 11 onderzoeken het risico dat bij voldoende stijghoogte in de watervoerende zand langs de trekstang en via het gat in het LDE kwel en/of piping optreedt.

Indringing

Als aanvullende onderzoeksvraag heeft de Technische Commissie het aspect indringing benoemd. Het kan zijn dat door het toepassen van de JLD-Dijkstabilisator er bodemlagen geperforeerd worden. Dit betreft vooral de lagen die doorstoken worden door de drijfstang, maar waar niet een LDE wordt geplaatst om de ruimte op te vullen. Dit risico is het grootst op de overgang tussen de watervoerende lagen en de deklaag. Om aan te tonen dat dit mechanisme niet leidt tot beïnvloeding van de waterhuishouding is deze vraag ook opgenomen.

1.2.2 Eisen

Onderzoeksvraag 7 en 11

De contracteis is:

- Onderzoeksvraag 7 E6.1: Het systeem moet de dijkveiligheid op het gebied van macrostabiliteit kunnen opwaarderen tot een vereist niveau. De kennisvragen die omtrent de werking van het systeem zitten, moeten in voldoende mate uitgewerkt worden zodat het systeem kan worden ontworpen.
 - In de DO-fase moet worden aangegeven hoe het aanvullende risico dat wordt veroorzaakt (op piping) door de installatie van het anker (ten behoeve van macrostabiliteit) voldoende kan worden ondervangen.
 - In UO dient aangegeven te worden hoe met eventuele wateroverspanningen in het eerste watervoerende pakket wordt omgegaan tijdens het plaatsen van de ankers. Aangegeven moet worden hoe met de wateroverdruk wordt omgegaan op het moment van het trekken van de drijfstang, voorafgaande aan het plaatsen van het LDE en wat voor een maatregelen er eventueel kunnen worden genomen om nadelige effecten te mitigeren.
 - In Realisatie fase dient met een monitoring of visuele inspectie de uitgangspunten uit het DO te worden geverifieerd.

1.3 Doel onderzoeksvragen

Het doel van de uitwerking van de onderzoeksvragen is om de risico's op kwel, piping en heave te bepalen. Een vervolgoel is om maatregelen vooraf, tijdens uitvoering of na plaatsing van de stabilisatoren te benoemen, zodat het fenomeen piping altijd kan worden voorkomen. Om deze doelen te bereiken, is bureauonderzoek uitgevoerd en is bij de interactieproeven op het optreden van kwel gelet.

1.4 Invulling onderzoek en proeven

In deze rapportage zijn de aanpak en resultaten voor de onderzoeksvragen betreffende kwel en piping opgenomen. De eerste stap betreft het vastleggen van definities en criteria. In de fenomenologische analyse (hoofdstuk 3) is verder ingegaan op het risico op piping in het algemeen en bij de pilotgebieden in het bijzonder.

De pipingrisico's zijn middels interactieproeven en modelberekeningen verder in beeld gebracht in hoofdstuk 4. Vervolgens is in hoofdstuk 5 ingegaan op mogelijke maatregelen die getroffen kunnen worden. Hoofdstuk 6 bevat tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 Definities en criteria

2.1 Definities

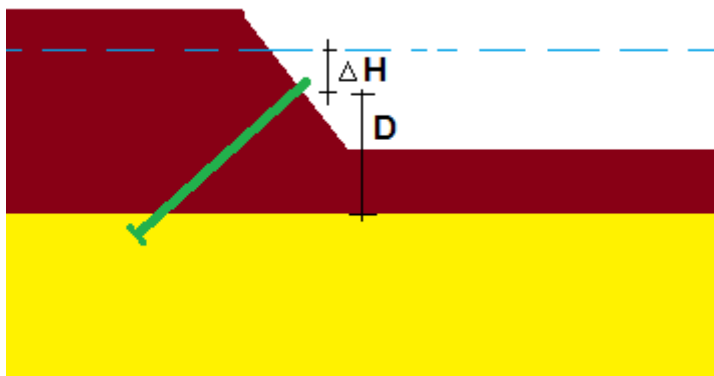
Bij deze onderzoeksvragen zijn de volgende definities gehanteerd.

Kweldruk betreft het stijghoogteverschil tussen de hogere druk (stijghoogte) en de lagere freatische grondwaterstand die een verticale stroming naar boven veroorzaakt.

Kwel betreft een verticale stroming van grondwater naar boven als gevolg van de kweldruk, waarbij er uitstroming van grondwater aan maaiveld, in een sloot of in een bouwput optreedt. De stijghoogte ligt hierbij dus hoger dan het maaiveld, het waterpeil van de sloot of de bodem van de bouwput.

Piping is het verschijnsel dat onder een waterkering een holle (pijpvormige) ruimte ontstaat doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt. Om het risico op piping te controleren bestaat de eenvoudige toets zoals benoemd in het WBI2017, maar ook in leidraad toetsen regionale keringen 2015. Hieruit volgt dat piping alleen een risico is wanneer aan alle onderstaande punten wordt voldaan:

- 1) Er is geen sprake van een zanddijk op een zandondergrond; in deze situatie kunnen er geen kanaaltjes ontstaan.
- 2) Er is sprake van een intredepunt. Het buitenwater staat in contact met een watervoerend pakket.
- 3) Er is sprake van een uitredepunt. Het watervoerend pakket staat in verbinding met het achterland, eventueel door het optreden van opbarsten.
- 4) Er treedt heave op; de wateroverdruk is dusdanig dat de zandkorrels vanuit het pakket naar boven worden getransporteerd langs het LDE. Het potentiële uitredepunt is de bovenkant van het LDE.
- 5) De stroomsnelheid is dusdanig dat er terugschrijdende erosie plaats vindt.



Figuur 2-1: Parameters voor piping en heave bij een JLD-Dijkstabilisator

Heave is de situatie waarbij zand onstabiel wordt (drijfzand) door naar boven stromend water.

Het optreden van heave is op voorhand uit te sluiten als:

- 1) Het hoogteverschil tussen stijghoogte en uittredepunt (ΔH) kleiner is dan 1,0x de verticale afstand ($1,0 * D$).
Dus $\Delta H < 1,0 * D$.
- 2) In verband met veiligheidsfactoren geldt voor bovenstaande dat we formeel toetsen aan een 2x zo strenge norm. Dus $\Delta H < 0,5 * D$. In OI2014v4 is aanbevolen om voor objecten anders dan kwelschermen te werken met 0,3D. Deze is hier dan ook aangehouden.

Indringing betreft de situatie waarbij door het toepassen van de JLD-Dijkstabilisator er bodemlagen geperforeerd worden en de waterspanning in deze lagen wijzigt. De indringingslengte, waarin de toegenomen waterspanning merkbaar is, is de hoogte waarover de waterspanningsvariatie in het watervoerende pakket van betekenis is voor de waterspanningen in de deklaag.

Anders dan zuiver kleiige grond

Bij de onderzoeksvragen wordt gefocust op 'anders dan zuiver kleiige grond'. Gezien de achtergrond van de onderzoeksvraag, concluderen wij dat het gaat om grondsoorten waarbij het boorgat / gat van de drijfstang niet snel instort. Het gaat dus om een grondsoort met een beperkte plasticiteit. Onvoldoende plasticiteit geldt hier als grond met een erosieklasse 3 of slechter. Dit omvat zand, veen, venige klei, zandige klei, kleiig zand, leem, keileem, puin e.d. Een dergelijke grond moet in een aanzienlijke hoeveelheid aanwezig zijn.

GHG: gemiddeld hoge grondwaterstand

GG: gemiddelde grondwaterstand

GLG: gemiddeld lage grondwaterstand

2.2 Criteria

Uittredend grondwater (kwel) kan hinderlijk zijn, bijvoorbeeld doordat het maaiveld drassig wordt. Echter, bij deze onderzoeksvragen gaat het niet om overlast of hinder, maar om effecten waarbij de dijkveiligheid in gevaar kan komen.

Piping en heave

Als criterium is daarom gehanteerd dat én macrostabiliteit niet in gevaar mag komen én dat piping en heave uitgesloten kunnen worden. Hieronder is een beknopte versie van het beoordelingsspoor opgenomen.

Voor het uitsluiten van effecten op macrostabiliteit is het volgende toetscriterium toegepast:

- Of uitsluiten van kwel middels onderstaand toetscriterium.
- Of ontwerpen op conservatieve uitgangspunten, zoals een grondwaterstand tot aan het maaiveld rondom de kopplaat.
- Of uitsluiten van kwel middels empirisch bewijs dat er geen kwel langs de JLD-Dijkstabilisator optreedt.
- Of de impact van eventuele kwel empirisch gemeten, meenemen in het ontwerp.

Voor het uitsluiten van kwel is het volgende toetscriterium toegepast:

$$\Delta H < 0$$

Hierbij is:

ΔH	Kweldruk / wateroverdruk	[m]
------------	--------------------------	-----

Voor het uitsluiten van piping en heave is het volgende toetscriterium toegepast:

$$\Delta H - 0,3D < 0$$

Hierbij is:

ΔH	Kweldruk / wateroverdruk	[m]
D	Dikte deklaag	[m]

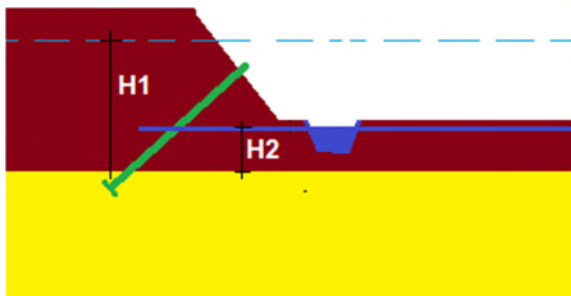
Indringing

Het criterium indringing bestaat uit de volgende stappen:

- Uitsluiten dat kwel langs het LDE mogelijk is. Vooral nog wordt dit conservatief ingestoken. Dat betekent dat kwel langs het LDE niet uitgesloten wordt. Dus wordt vervolgd in dit stappenplan.
- Bepalen van de stijghoogte in de zandlaag, daar waar het klapanker deze raakt (H1) ten tijde van maatgevende omstandigheden (zie schematische weergave in figuur 2-2).
- Bepalen van de grondwaterstand in de deklaag, daar waar het LDE eindigt in de deklaag / ligging van de kopplaat (H2) ten tijde van maatgevende omstandigheden.

Perforatie kan conform het eerste punt niet worden uitgesloten. Echter kan de negatieve invloed van perforatie (verhogen van de grondwaterstand) worden uitgesloten als geldt:

$$H1 < H2$$



Figuur 2-2: Parameters voor indringing bij een JLD-Dijkstabilisator

Wateroverlast ten gevolge van kwel

Wateroverlast als gevolg van een (te) groot kweldebiet is gedefinieerd als die situatie waarbij de grondwaterstanden noemenswaardig worden verhoogd. Dit kweldebiet is gerelateerd aan de eisen die worden gesteld aan golfoverslag en de invloed daarvan op de grondwaterstand in de dijk voor andere faalmechanismes zoals macrostabiliteit.

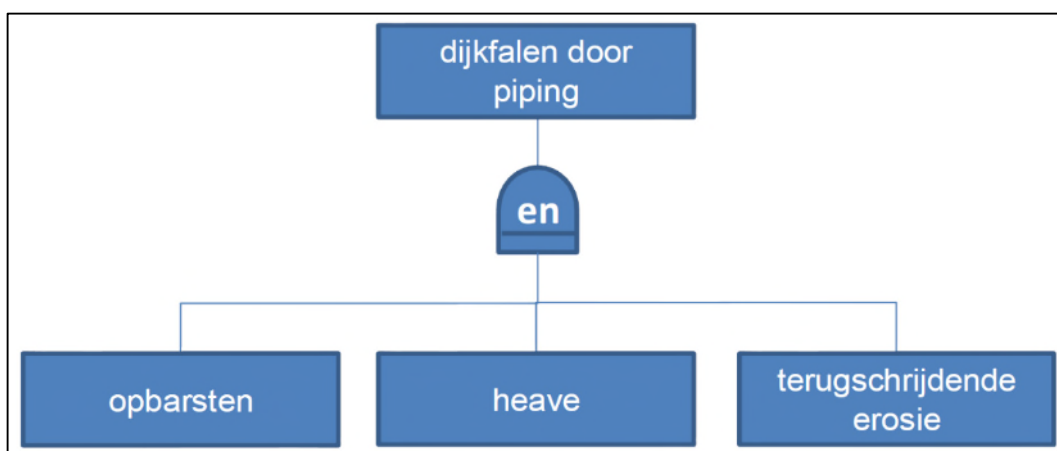
Hier is wateroverlast gedefinieerd als een kweldebiet groter dan 0,1 l/s/m. Bij een h.o.h.-afstand van 1 m van de JLD-Dijkstabilisatoren betekent dat een maximaal kweldebiet van 0,1 l/s per JLD-Dijkstabilisator. Er is gekozen als maximaal acceptabel kweldebiet de waarde van 0,1 l/s/m. Bij deze waarde kan conform de vigerende richtlijnen de invloed op macrostabiliteit met zekerheid uitgesloten worden.

3 Analyse fenomenologie

3.1 Piping

Piping bestaat formeel uit het faalmechanisme stabiliteit piping en heave (STPH). Dit is o.a. beschreven in Deltares (2018)¹.

Het optreden van piping omvat drie deelmechanismes. Deze zijn tevens weergegeven in figuur 3-1. Dit zijn: opbarsten, heave en terugschrijdende erosie. Deze laatste is formeel “interne erosie” waarvan terugschrijdende erosie een van de vier verschijningsvormen is. De andere drie verschijningsvormen zijn voor Nederland niet van toepassing.



Figuur 3-1: Foutenboom faalmechanisme piping met een deklaag achter de dijk.

Bovenstaand figuur is een versimpelde weergave. De vigerende leidraden geven het volgende overzicht van voorwaarden waaraan voldaan moet worden voordat er sprake kan zijn van piping:

1. Er is sprake van een zandige laag die wordt afgedekt door een cohesieve laag;
2. Er moet een intredepunt zijn [LTRK2015, blz. 89 par 1.3];
3. Er moet een uittredepunt zijn. [LTRK2015, blz. 89 par 1.3];
4. Dit uittredepunt mag niet voldoen aan het opbarstcriterium. [n.v.t. bij JLD-Dijkstabilisator];
5. Er moet heave optreden bij het uittredepunt;
6. Er moet terugschrijdende erosie plaatsvinden.

Criterion: Beoordelen middels Sellmeijer, horizontale afstand baseren op uittredepunt.

Extra eisen voordat sprake is van piping bij JLD-Dijkstabilisator:

7. Er is bij de JLD-Dijkstabilisator een punt waar kwel uit kan treden (uittredepunt).
Criterion: hoogte uittredepunt relateren aan stijghoogte/extrapolatie bij MHW. Aanwezigheid uittredepunt e.v.t. te verifiëren middels metingen.
8. De uitstroom bij het uittredepunt moet dusdanig hoog zijn dat er heave op treedt welke sterk genoeg is de zanddeeltjes mee te voeren tot aan de bovenzijde van het LDE.
Criterion1: $\Delta H - 0,3D > 0$.
Criterion2: geen risico op opbarsten in de teensloot of het achterland

¹ Deltares 2018: Fenomenologische beschrijving; faalmechanismes WBI; revisie definitief C3; hoofdstuk 4: piping

3.2 Eis uittredepunt

Een van de voorwaarden voor het optreden van piping is de aanwezigheid van een uittredepunt. In deze paragraaf is het effect van de JLD-Dijkstabilisator op het aanwezig zijn van een uittredepunt geanalyseerd. Dit is onzeker, hier kan gekozen worden voor een conservatieve benadering, bijvoorbeeld dat deze aanwezig is tot het tegendeel bewezen is. De tweede check is of het uittredepunt te hoog/te laag ligt ten opzichte van de waterstand. Aangezien de JLD-Dijkstabilisator vaak op 1/3 à 2/3 van de hoogte van het talud wordt aangelegd, ligt deze beduidend hoger dan delen van de dijk zoals de teen of de teensloot. Bij een lokale bepaling van de stijghoogte middels peilbuizen of middels een geavanceerde stijghoogte benadering (Mseep, of waterspanningen na opbarsten van de teensloot), moet vervolgens nog de waterstand onder maatgevende omstandigheden worden bepaald.

Dit criterium voor het uitsluiten van uitredend water dient bepaald te worden middels onderstaande formule:

$$0 > \Delta\phi = h_{exit} - (\phi_{exit,dagelijks} + r_{exit} \cdot (h_{MHW} - h_{dagelijks}))$$

Hierin is:

$\Delta\phi$	Stijghoogteverschil over de deklaag	[m]
h_{exit}	Hoogte van het uittredepunt	[m+NAP]
$\phi'_{exit, dagelijks}$	Stijghoogte ter plaatse van het uittredepunt onder dagelijkse omstandigheden	[m+NAP]
r_{exit}	Responsfactor van de stijghoogte op de buitenwaterstand.	[-]
h_{MHW}	Waterstand onder maatgevende omstandigheden, of bij primaire keringen waterstand bij een herhalingstijd gelijk aan de norm	[m+NAP]
$h_{dagelijks}$	Waterstand onder dagelijkse omstandigheden,	[m+NAP]

Merk op:

Dit is een aanpassing van OI2014v4 formule 4.6. De formule van OI2014v4 is alleen geldig als de stijghoogte onder normale omstandigheden gelijk is aan het maaiveld / aanleghoogte van de JLD-Dijkstabilisator.

3.3 Heave criterium

Het heave criterium stelt dat zand verticaal meegevoerd kan worden door een opening. Daarvoor moet een zekere minimumsnelheid aanwezig zijn. Deze minimumsnelheid wordt in algemeenheid uitgedrukt in een verticaal verhang. Binnen de richtlijnen die in de tijd zijn opgesteld geldt een scala aan waarden. Deze zijn weergegeven in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Heave criterium per richtlijn

Bron	Criterium	Parameter	Heave criterium	Opmerking
VTV2006; blz. 141	Heave		0,5 x D	
LRTK2015, blz. 91	Heave	n = 37 – 43%	0,9 á 1,1 x D	
OI2014v4, blz. 27	Heave-deklaag		0,3 x D	$\gamma_{he} = 1,0$ tot 1,4
OI2014v4, blz. 27	Heave-zandlaag ^[1]		0,5 x D	
ORZW, blz. 59	Heave, metingen		0,6 D	
ORZW, blz. 59	0,3 D regel van Sellmeijer		0,3 D	
Aangehouden waarde			0,3 D	$\gamma_{he} = 1,0$

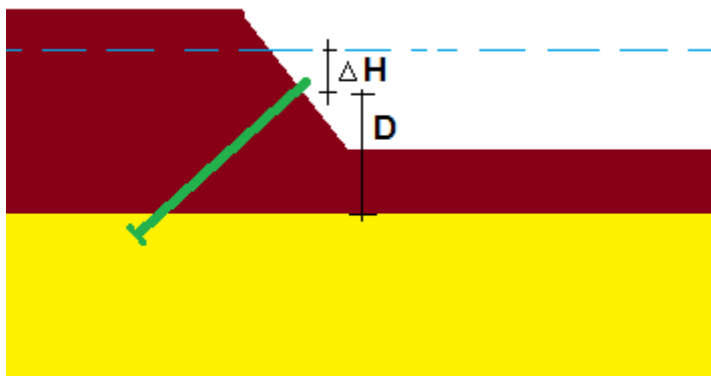
[1] OI2014v4 stelt het volgende: “Het verschil tussen kwelscherm en deklaag is dat bij een kwelscherm altijd een verticaal pad moet ontstaan door het aanwezige zand. Dit vergt fluidisatie van het zandpakket benedenstrooms van het kwelscherm, waarvoor de benodigde gradiënt circa 1 is. Dit resulteert met een veiligheidsfactor van 2 in een kritiek verhang van 0,5. Bij een deklaag wordt de ontstane scheur gevuld met een vloeibaar zand-water mengsel: deze is in beginsel vrijwel nooit volledig gevuld met gepakt zand. Hierdoor kan de watersnelheid door de deklaag dermate groot worden dat het gat min of meer wordt schoongespoeld, wat resulteert in een kleiner kritiek verhang van 0,3.”

Dit onderzoek werkt verder met de meest conservatieve beschikbare rekenregel, namelijk 0,3D als Heave-criterium. Dit criterium is dan ook bepaald middels onderstaande criterium/formule:

$$0 > \Delta\phi - 0,3D$$

Hierin is:

$\Delta\phi$ Stijghoogteverschil over de deklaag [m]
 D Deklaag dikte, gemeten verticaal ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator [m]

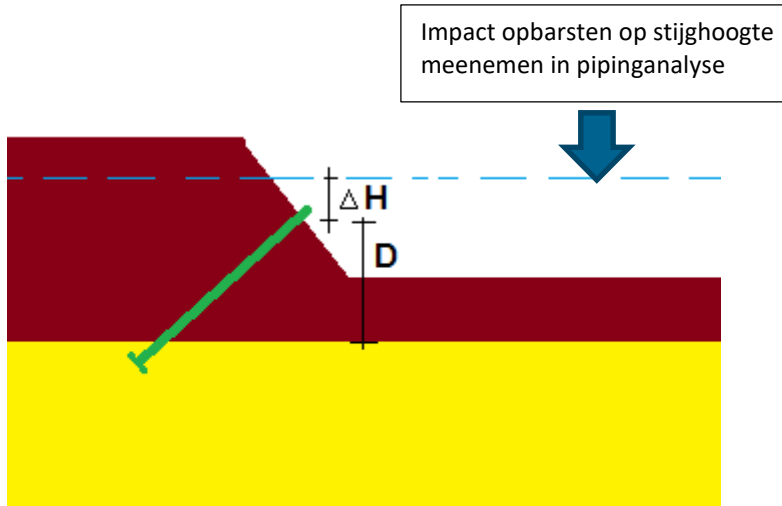


Figuur 3-2: Parameters voor piping en heave bij een JLD-Dijkstabilisator

Merk op dat bovenstaand criterium een conservatief criterium is. Bij een slootbodem kan het mechanisme opbarsten leiden tot een verbreding van een zandmeevoerende wel. Omdat bij een JLD-Dijkstabilisator geen sprake is van opbarsten, kan de ruimte dan ook niet verbreden. Er is dus ook minder ruimte voor de waterstroom, deze zal dan ook een lagere stroomsnelheid hebben, dus minder zandmeevoerend zijn.

Het heave criterium kan alleen overschreden worden als er voldoende overdruk is. Dit is alleen het geval als er geen sprake is van opbarsten. Dit geldt én voor de locatie van de JLD-Dijkstabilisator én voor alle delen in het achterland. Aangezien het achterland vaak lager ligt, is het risico op opbarsten in het achterland ook groter. Indien er opbarsten in het achterland

optreedt dient de invloed daarvan op de stijghoogte mee te worden genomen in de analyse voor piping langs de JLD-Dijkstabilisator.



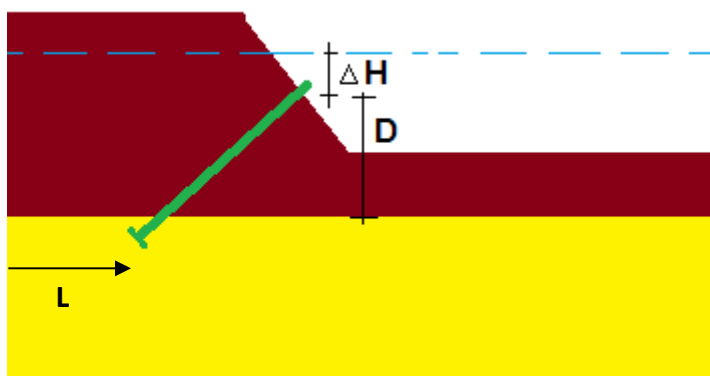
Figuur 3-3: Parameters voor piping en heave bij een JLD-Dijkstabilisator

3.4 Terugschrijdende erosie bij JLD-Dijkstabilisator

Als wordt voldaan aan de eerste criteria, dan dient een toets op terugschrijdende erosie gedaan te worden voor de JLD-Dijkstabilisator.

Dit volgt alle rekenstappen gelijk aan terugschrijdende erosie voor de situatie zonder de JLD-Dijkstabilisator, maar met de volgende aanpassingen:

- Uittredepunt is gelijk aan de JLD-Dijkstabilisator (maaiveldniveau kopplaat)
- 0,3D regel is gebaseerd op de lagen bij de JLD-Dijkstabilisator (maaiveldniveau kopplaat).
- Kwelweglengte is gebaseerd op de horizontale afstand van het intredepunt tot aan de locatie van het klapanker.



Figuur 3-4: Parameters voor piping en heave bij een JLD-Dijkstabilisator

De JLD-Dijkstabilisator staat onder een hoek. Het diagonale gedeelte wordt ontkoppeld naar een horizontaal deel en een verticaal deel. Dit is een conservatieve aanpak. Eigenlijk moet er gewerkt worden met het diagonale deel. De heave toets en de 0,3D regel van Sellmeijer moeten worden aangepast naar een 0,3 x de diagonaal. Dit omdat het verval constant is, maar de lengte waarover dit verval optreedt kleiner is. Daardoor is de gradiënt beperkter. Het is plausibel dat naast een

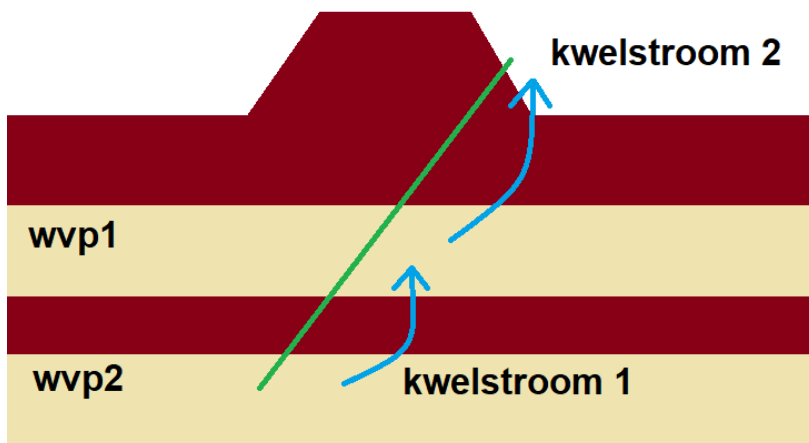
kleinere gradiënt (belasting) de sterkte ook anders is, maar dit is niet bekend. Gezien deze kennisleemte is het niet verantwoord om te werken met een heave criterium en een Sellmeijer op basis van de diagonaal.

3.4.1 Maatgevende locatie terugschrijdende erosie

De terugschrijdende erosie bij de JLD-Dijkstabilisator is alleen kritisch als deze maatgevend is ten opzichte van de andere delen van de dijk waar piping kan optreden. Bovenstaande leidt er toe dat als de JLD-Dijkstabilisator dicht bij het buitenwater staat, dat er sprake is van een kortere kwelweglengte. Dit wordt teniet gedaan doordat de JLD-Dijkstabilisator hoger op het talud staat, het verval is daardoor minder groot. Deze vergelijking dient per project uitgevoerd te worden.

3.4.2 Meerdere watervoerende lagen

Het is plausibel dat de JLD-Dijkstabilisator meerdere doorlatende lagen raakt. Bijvoorbeeld een dijk met een zandkern die op een slecht doorlatende laag ligt met daaronder een watervoerend pakket. In dit geval kan, als er water stroomt langs de JLD-Dijkstabilisator en wordt voldaan aan alle andere criteria voor het pipingrisico, een meer gedetailleerde beschouwing gegeven worden.



Figuur 3-5: Kwel bij meerdere watervoerende lagen

Er is namelijk alleen sprake van een piping risico's als de grondwaterstroom afdoende snelheid heeft om zanddeeltjes mee te nemen. Wanneer het water vanuit het tweede watervoerende pakket langs de JLD-Dijkstabilisator stroomt en in een doorlatende laag komt, dan kan dit water en de waterdruk wegvloeien in het eerste watervoerende pakket. Dan is er minder wateroverdruk en neemt het risico op heave af. Normaal gesproken zal de extra kwel langs de JLD-Dijkstabilisator verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de normale kwel van wvp2 naar wvp1. Bij een hoge weerstand van de tweede kleilaag en een groot stijghoogteverschil kan er wel een significante extra kwel naar wvp1 optreden. In dat geval moet de verhoogde stijghoogte in wvp1 worden berekend en die wordt gebruikt voor de berekening van kwelstroom 2, conform de eerder gepresenteerde methode.

Gezien bovenstaande geldt het volgende:

- Positieve impact ondiepe doorlatende laag meenemen in toets op maat. Deze toets baseren op lokale gegevens, zoals gemeten kweldebieten.

3.5 Indringing

Algemeen beoordelen optreden indringing

Door het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisator wordt de bodem in de diepte verstoord. Zeker de lagen die wel worden doorsneden door de drijfstang, maar niet worden opgevuld door de LDE kunnen hier vatbaar voor zijn. Daardoor neemt de weerstand tegen kwel van de bodem lokaal af. Bij de beoordeling op indringing is gekeken naar het verschil in stijghoogten. Daarmee wordt in principe gekeken naar de kweldruk.

Wanneer de kweldruk groter is dan nul tijdens maatgevende omstandigheden, dan zal de kwel groter worden wanneer de weerstand tegen kwel afneemt. Wanneer de kweldruk kleiner is dan nul (dus wegzijging) tijdens maatgevende omstandigheden, dan zal de kwel kleiner worden wanneer de weerstand tegen kwel afneemt (dus meer wegzijging).

Schematisatie van indringing.

Indien een toename van de kwel als gevolg van perforatie niet is uit te sluiten, dan moeten de berekeningen hierop worden aangepast. Hier worden enige aannames gemaakt:

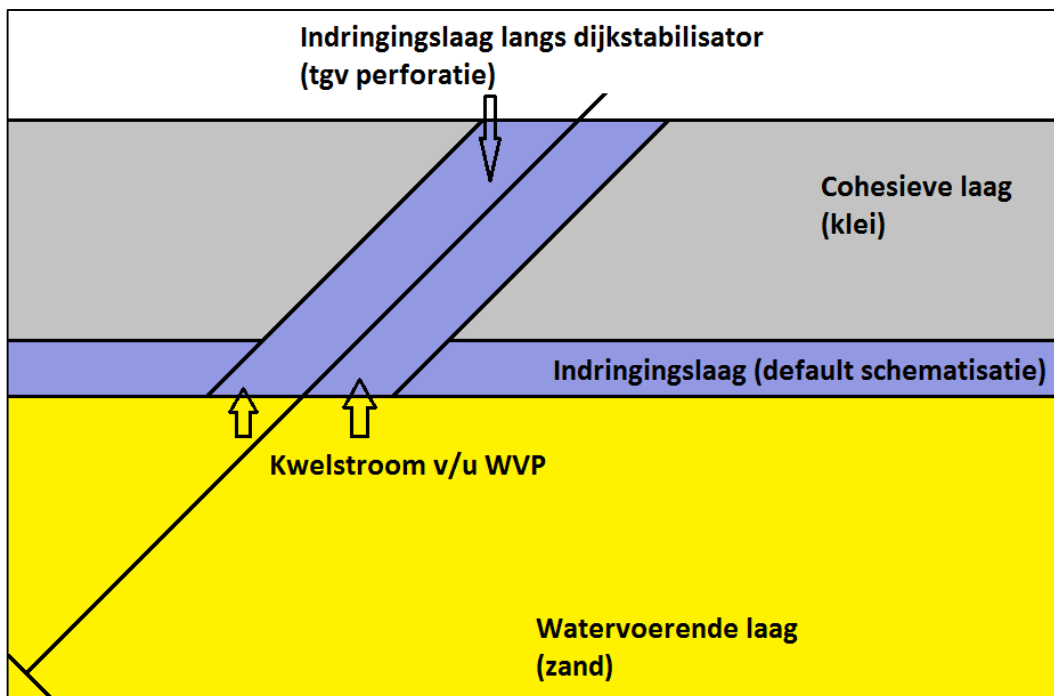
- Er is sprake van kwel tijdens maatgevend hoogwater.
- Deze kwel en hoogwater zijn van tijdelijke aard.
- Er is derhalve sprake van een indringingslaag/indringingsdiepte onder normale omstandigheden.
- De vorm van de indringingslaag veranderd door toepassen van de JLD-Dijkstabilisator.

Er worden tevens de volgende aannames gemaakt:

- De doorlatendheid van het watervoerende pakket is hoog ten opzichte van de kwel. Dus een toename van de kwel beïnvloedt de stijghoogte niet.
- De kwel leidt mogelijk tot een toename van de freatische grondwaterstand. Deze kan niet verder stijgen dan het maaiveld.
- De kwel stroomt langs de JLD-Dijkstabilisator. Dit treedt op in cohesieve lagen waar de kweldruk niet snel uit kan dissiperen. Deze tijdsduur van deze kwel is analoog aan die van het hoogwater. Daardoor ontstaat een indringingslaag haaks op de JLD-Dijkstabilisator. Deze laag heeft een radius gelijk aan de indringingslaag die geldt, ook onder normale omstandigheden.
- Bij het doorsnijden van meerdere watervoerende lagen kwelt (mogelijk) water van de diepste watervoerende laag naar een bovengelegen laag. Uitgangspunt is dat deze (extra) kwelstroom verwaarloosbaar is ten opzichte van de afvoercapaciteit (kD-waarde) van de bovengelegen watervoerende laag. Daardoor leidt dit niet tot een (noemenswaardige) verandering van de stijghoogte/waterstand in zandlagen/watervoerende lagen. Ook in het geval de bovenliggende zandlaag de zandkern in een dijklichaam is, is dit het geval, aangezien deze zelden geheel afgesloten is.

Bovengenoemde uitgangspunten leiden in een aantal situaties tot een aanpassing van de schematisatie. Deze aanpassing is weergegeven in figuur 3-6.

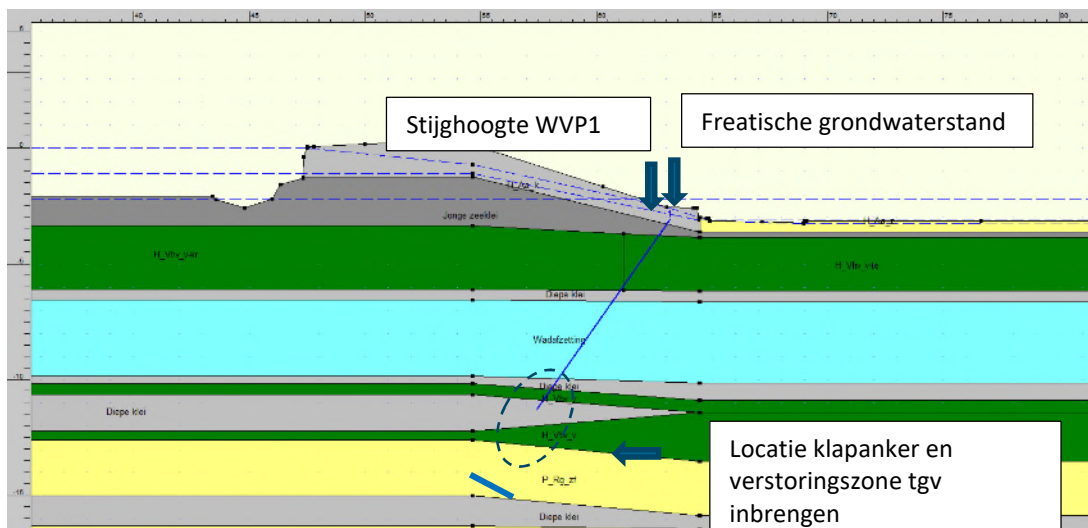
Vaak zit in het watervoerende pakket tijdens hoogwater een (iets) hogere stijghoogte dan in de binnenteen/achterland (dus kwel). Maar aangezien de JLD-Dijkstabilisator meestal in het talud wordt geplaatst, is in de meeste gevallen geen sprake van kwel richting het talud.



Figuur 3-6: Weergave van indringingslagen rondom de JLD-Dijkstabilisator om de perforatie van de deklaag mee te nemen in de schematisatie.

Casus Watergraafsmeer

De situatie ter plaatse van de Watergraafsmeer is weergegeven in figuur 3-7. Daarin is de ligging van het LDE weergegeven. Tevens is de locatie van de mogelijke indringing weergegeven.



Figuur 3-7: Dwarsprofiel Watergraafsmeer (DWP-800) inclus locatie JLD-Dijkstabilisator en mogelijke indringing.

Ter plaatse van de indringing wordt door de mogelijke perforatie de invloed van de stijghoogte in het watervoerende pakket groter en de invloed van de freatische lijn kleiner. Op deze specifieke locatie gelden de onderstaande waarden:

- Stijghoogte watervoerend pakket: NAP -2,2 m.

- Freatische grondwaterstand: NAP -1,5 á -1,3 m.

Indien door perforatie de grondwaterstand rondom de indringing meer overeenkomt met de stijghoogte in het watervoerende pakket, dan leidt dit tot een afname van de grondwaterstand/stijghoogte. Een lagere stijghoogte/grondwaterstand heeft een positieve invloed op de sterkte van een dijk. Dit heeft vooral invloed op de bezwijkcirkels die voldoende diep zijn om beïnvloed te worden door deze aanpassing aan de grondwaterstand. Voor de situatie van de Watergraafsmeer heeft het mogelijk optreden van perforatie óf geen effect, óf een positief effect. Dit komt mede doordat het waterlichaam bij de Watergraafsmeer de boezem betreft, waar de peilstijging in de orde van maximaal enkele decimeters ligt.

4 Uitwerking pilotlocaties

4.1 Geohydrologische situatie

Om de risico's op piping bij de proeflocaties in beeld te brengen, is een quickscan gemaakt van de geohydrologische situatie. In het bijzonder geldt hierbij:

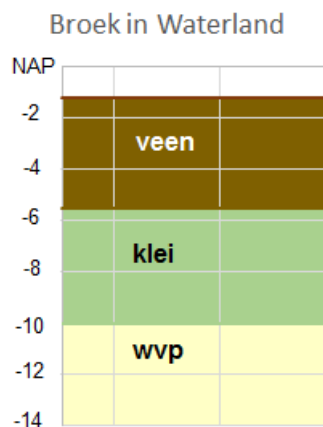
- Piping treedt alleen op als er sprake is van een kwelstroom.
De minimale eis is daarom de aanwezigheid van kwel.
- De kwelstroom dient voldoende groot te zijn om tot een zandmeevoerende wel te kunnen leiden. Dit is het geval wanneer de wateroverdruk groter is dan 0,3 D regel van Sellmeijer ($\Delta H - 0,3 D > 0$).
- De onderzoeksvraag betreft "anders dan zuiver kleiige gronden".
Er is dus inzicht in de bodemopbouw vereist.

Met de verzamelde informatie wordt een inschatting gemaakt van de toepasbaarheid van de proeflocaties voor de interactieproeven.

4.1.1 Broek in Waterland

Bodemopbouw

Vanaf maaiveld (NAP -1,2 m) tot ongeveer NAP -5,5 m is een veenlaag aanwezig met een dikte van ca. 4,3 m. Hieronder ligt tot ca. NAP -10 m een kleipakket. Onder deze lagen is het Pleistocene zand aangetroffen².

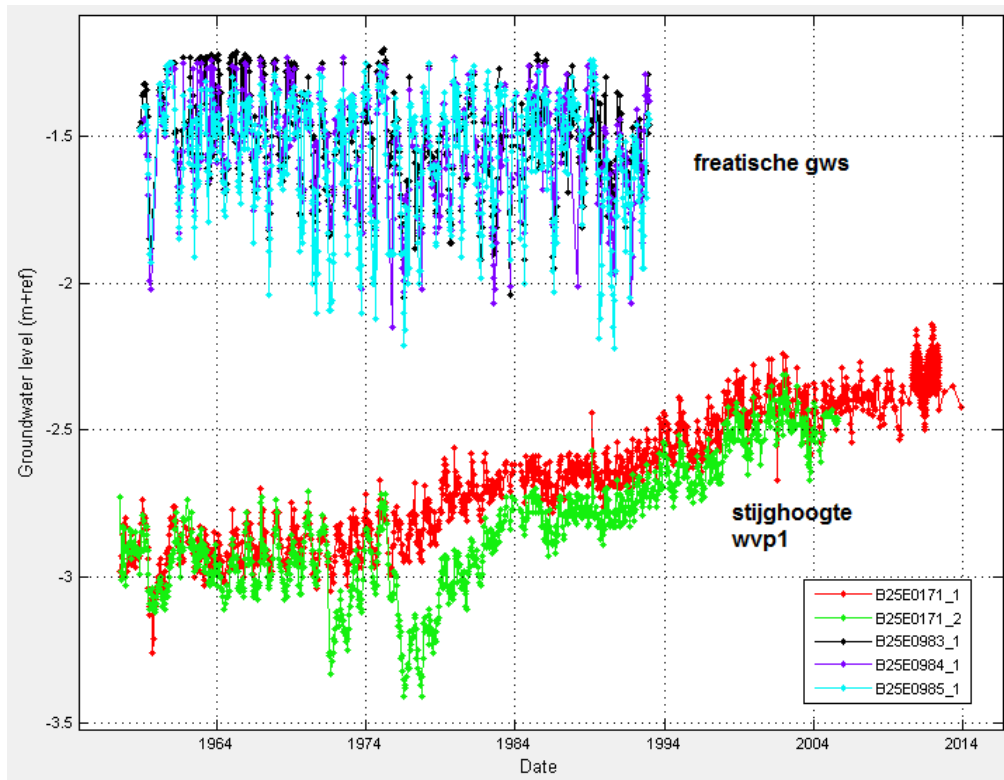


Figuur 4-1: Schematisatie bodemopbouw

Kwel

Op een afstand van 375 m tot 450 m zijn in DinoLoket enkele peilbuizen aanwezig. Gezien de bodemopbouw ter plaatse wordt verwacht dat de gemeten stijghoogtes redelijk representatief zijn voor deze omgeving. Bij de freatische peilfilters zijn er tussen de projectlocatie en de rest van de polder wel enige verschillen, omdat rondom de woning een hoogwatersloot ligt. De peilbuizen zijn tenminste vanaf 1959 tot 1992 regelmatig waargenomen (2 maal per maand). In figuur 4-2 zijn de waargenomen grondwaterstanden en stijghoogten weergegeven. Zichtbaar in de figuur is dat de stijghoogte in de loop van de jaren een stijgende trend heeft. Dit komt vermoedelijk door een afname van grondwateronttrekkingen in de omgeving. De stijghoogten lijken zich vanaf het jaar 2000 ongeveer te stabiliseren. Tabel 4-1 bevat de globale grondwaterregimes van deze peilbuizen. Hierbij is voor de stijghoogte uitgegaan van de waarnemingen vanaf 2000.

² Geotechnisch onderzoek pilot JLD-Dijkstabilisator te Broek in Waterland, Wiertsema, 23 mei 2017, pr.nr. VN-67907-1



Figuur 4-2: Waargenomen grondwaterstanden en stijghoogten Broek in Waterland

Tabel 4-1: Grondwaterregime nabij de proeflocatie Broek in Waterland (m NAP)

	GLG	GG	GHG
freatisch	-1,75	-1,55	-1,35
watervoerend pakket*	-2,50	-2,40	-2,30

* vanaf 2000

Uit deze tabel blijkt dat de freatische grondwaterstand hoger ligt dan de stijghoogte. Hieruit volgt dat er een infiltratiedruk (verschil tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte) is. De infiltratiedruk ligt tussen ca. 0,75 m in de zomer en 0,95 m in de winter. Bij de maaiveldhoogte van NAP -1,2 m ligt de stijghoogte in de winter ca. 1,1 m onder maaiveld en in de zomer ca. 1,3 m onder maaiveld.

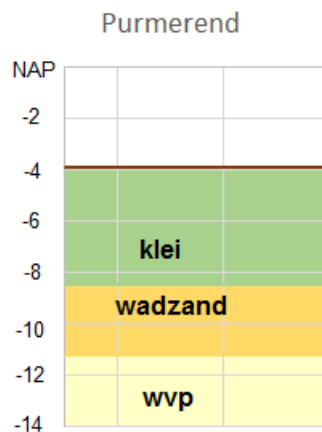
Conclusies pipingrisico's

Geconstateerd wordt dat er op de locatie Broek in Waterland geen sprake is van kweldruk (stroming grondwater naar boven) en evenmin van kwel (uittredend grondwater). Aangezien er geen kwel is, is er geen risico op piping.

4.1.2 Purmerend

Bodemopbouw

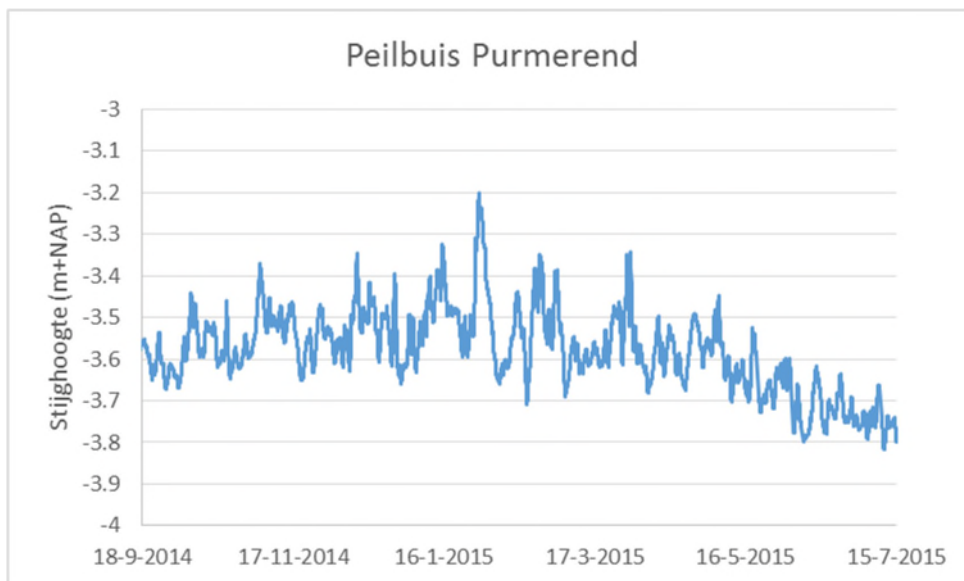
Vanaf maaiveld (NAP -3,9 m) tot ongeveer NAP -8,5 m is een kleipakket aanwezig met een dikte van ca. 4,6 m. Hieronder ligt tot ca. NAP -11,2 m het Wadzand, een afwisseling van klei- en zandlaagjes met een dikte van enkele centimeters, bestaande uit hoofdzakelijk kleiig materiaal. Onder deze lagen is het Pleistocene zand aangetroffen (bron: geotechnisch onderzoek project JLD-Dijkstabilisator te Purmerend, VN-60689-1 en VN-60738-1, 2 oktober 2014).



Figuur 4-3: Schematisatie bodemopbouw

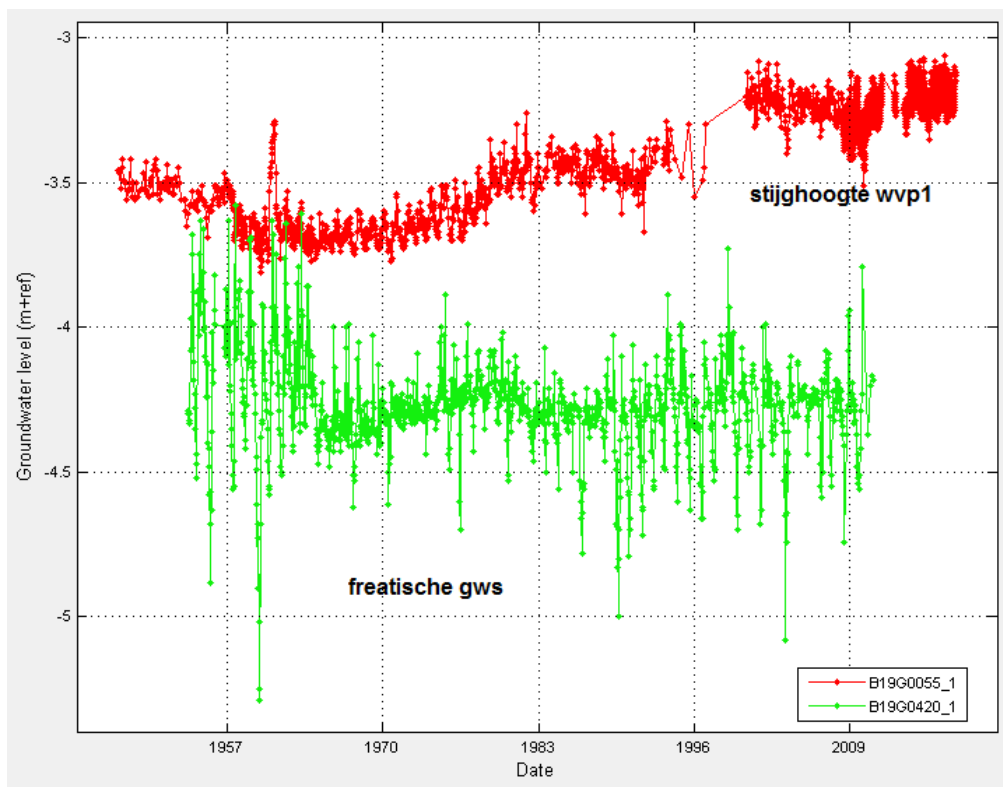
Kwel

Op de locatie zelf is een peilbuis in het Pleistocene zand aanwezig, die vanaf september 2014 tot juli 2015 is waargenomen (frequentie 1x per uur). De gemiddelde stijghoogte in deze peilbuis was NAP -3,58 m.

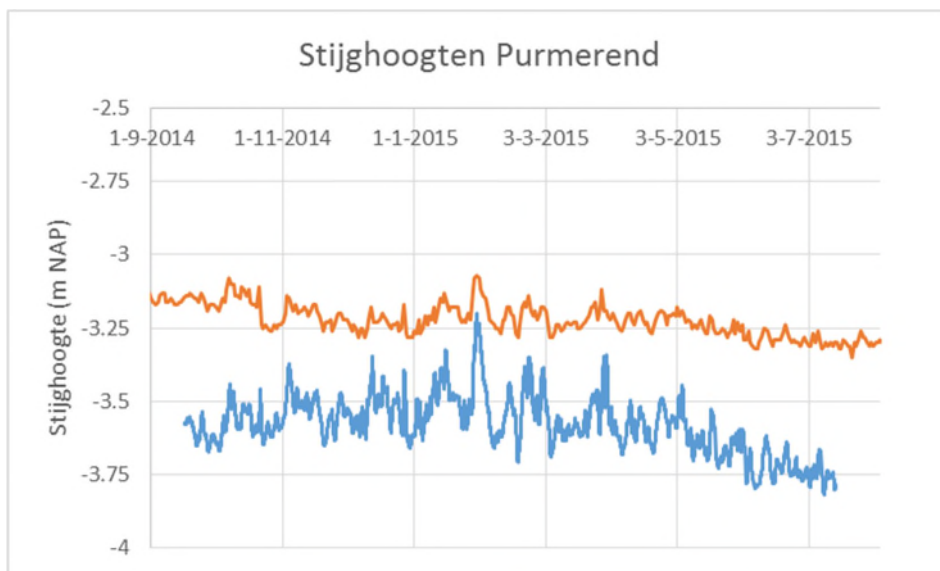


Figuur 4-4: Peilbuis in Pleistoceen zand op proeflocatie Purmerend

Op een afstand van meerdere honderden meters zijn in DinoLoket enkele peilbuizen aanwezig. Deze peilbuizen zijn enkele tientallen jaren regelmatig waargenomen (2 maal per maand). In figuur 4-5 zijn de waargenomen grondwaterstanden weergegeven. Tabel 4-2 bevat de globale grondwaterregimes van deze peilbuizen. De stijghoogten van de peilbuis op de locatie zelf liggen iets lager zoals zichtbaar is in figuur 4-6.



Figuur 4-5: Waargenomen grondwaterstanden en stijghoogten omgeving Purmerend



Figuur 4-6: Vergelijking peilbuis in watervoerend pakket op locatie (blauw) en op enige afstand (oranje)

Tabel 4-2: Grondwaterregime nabij de proeflocatie Purmerend (m NAP)

	GLG	GG	GHG
freatisch	-4,50	-4,25	-4,10
watervoerend pakket	-3,70	-3,50	-3,30

Conclusies pipingrisico's

Geconcludeerd wordt dat er een kweldruk (verschil tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte) van ca. 1,0 m in de zomer tot 0,75 m in de winter is. De stijghoogte ligt in de winter ca. 0,5 m boven maaiveld en in de zomer ca. 0,3 m boven maaiveld (maaiveldhoogte NAP -3,9 m). Op deze locatie is er dus zowel kweldruk als kwel aanwezig.

Tabel 4-3: Toets piping bij de proeflocatie Purmerend

Locatie		Purmerend
Stijghoogte watervoerend pakket	[m NAP]	-3,2 à -3,3 ^[1]
Maaiveldniveau	[m NAP]	-3,9
ΔH	[m]	0,7 ^[1]
Toets op kwel ($\Delta H > 0?$)		Lichte kwel
D	[m]	7 à 8
$\Delta H - 0,3 D$	[m]	< 0
Risico op zandmeevoerende wellen		Geen zandmeevoerende wellen

[1] Worst case

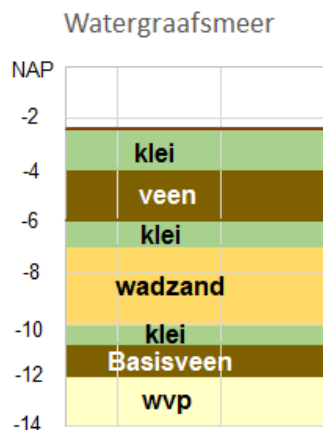
Om de mogelijke piping in te schatten, is uitgegaan van een maatgevend stijghoogteverschil (ΔH) van 0,7 m (worst case, winter). In tabel 4-3 zijn de resultaten opgenomen. Er is geen risico op piping.

4.1.3 Watergraafsmeer

Bodemopbouw

De maaiveldhoogte op de dijk zelf ligt op ca. NAP +0,2 tot +0,3 m. Het maaiveld in de naastgelegen polder ligt op NAP -2,6 tot -3,2 m.

Vanaf maaiveld tot ongeveer NAP -7 m is een slecht doorlatende laag aanwezig opgebouwd uit jonge zeeklei, Hollandveen en oude zeeklei. Hieronder ligt tot ca. NAP -10 m het Wadzand, een afwisseling van klei- en zandlaagjes met een dikte van enkele centimeters. Vervolgens wordt tot NAP -12 m een pakket van klei en veen (Basisveen) aangetroffen. Hieronder ligt de eerste zandlaag, die als bovenkant van het watervoerende pakket wordt beschouwd. (bron: Geotechnische analyse pilot JLD-Dijkstabilisator Watergraafsmeer, Antea Group, rev. 1.0, 19 januari 2017, pr.nr. 413509).



Figuur 4-7: Schematisatie bodemopbouw

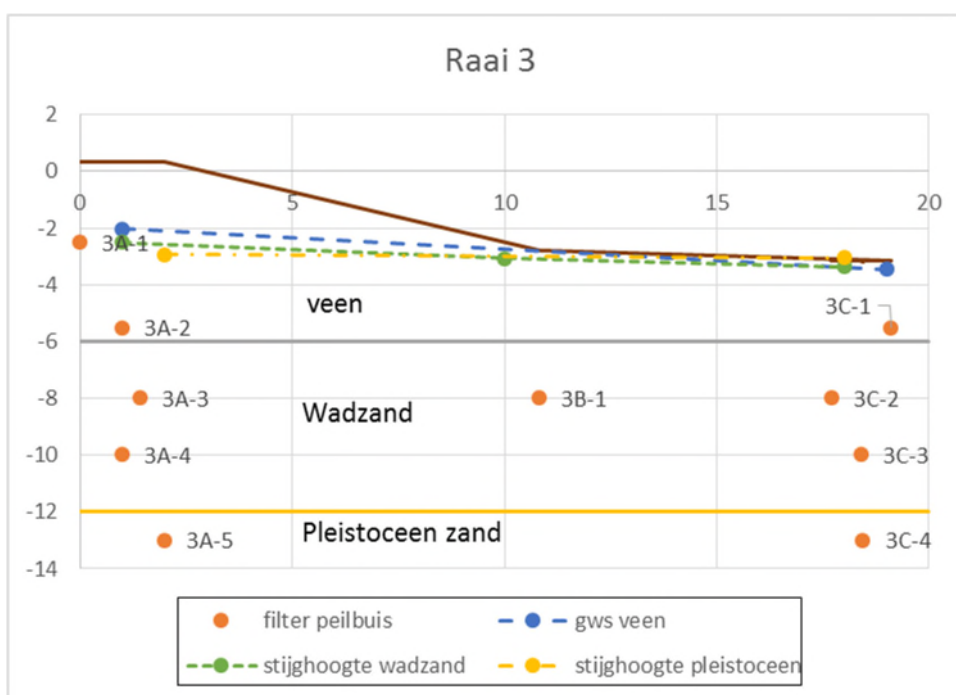
Kwel

Op de locatie worden vanaf februari 2017 in een drietal raaien waterspanningsmetingen uitgevoerd. De gegevens tot juni 2018 zijn nu beschikbaar. Hierbij zijn metingen in de veenlaag, in het Wadzand en in het Pleistocene zand beschikbaar. Uit de beschikbare gegevens blijkt dat de variatie in grondwaterstanden en stijghoogten relatief klein is. Dit komt vooral doordat het een boezemsysteem betreft, waarbij het waterpeil van de boezem slechts in beperkte mate varieert. Als voorbeeld is in figuur 4-8 de bodeminformatie van raai 2 weergegeven. Zichtbaar zijn de

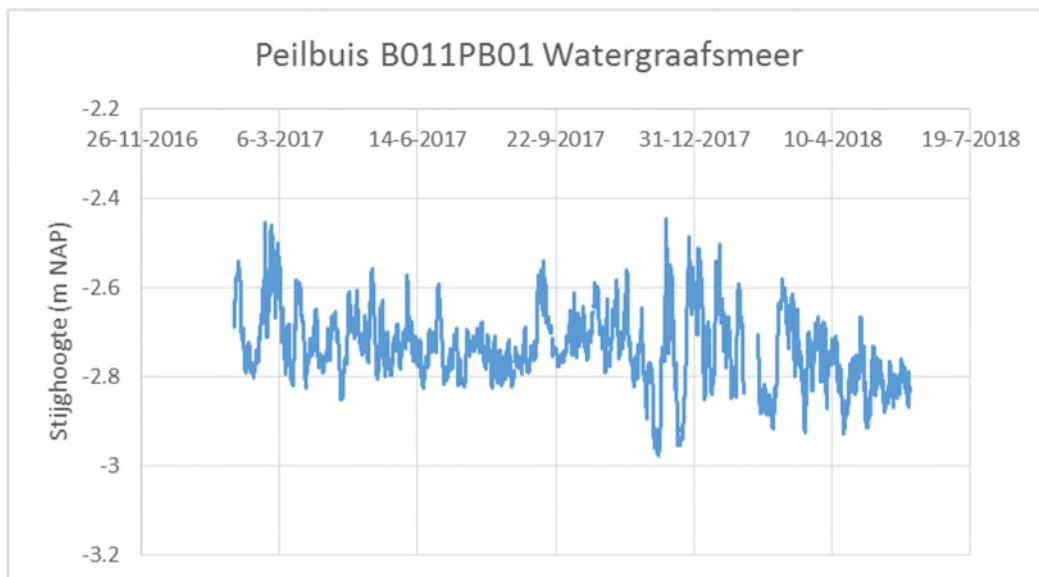
ligging van de veenlaag, het onderliggende wadzandpakket en het Pleistocene zand. Met oranje stippen zijn de filters weergegeven. De stijghoogte in het veen is met een blauwe stippellijn aangeduid. Zichtbaar is dat deze lager ligt naarmate het maaiveld lager ligt. De stijghoogte in het Wadzand is met een groene stippellijn aangeduid. Deze stijghoogte wordt in mindere mate beïnvloed door de maaiveldligging. De gele stippellijn geeft de stijghoogte in het Pleistocene zand weer. Zichtbaar is dat deze op de meetlocatie juist op maaiveld ligt. Bij de dijk ligt de stijghoogte onder maaiveld. In figuur 4-9 zijn de meetgegevens opgenomen.

Tabel 4-4: Grondwatergegevens (gemiddelde 2017-2018) op de pilotlocatie Watergraafsmeer (m NAP)

	Raai 1	Raai 2	Raai 3
Veen	-3,49 tot -1,19	-3,84 tot -1,95	-2,04 tot -3,46
Wadzand	-2,88 tot -2,74	-3,46 tot -2,33	-2,50 tot -3,37
Pleistoceen	-2,73	-2,67	-2,94 tot -3,05



Figuur 4-8: Bodeminformatie in raai 3



Figuur 4-9: Peilbuis in het Pleistocene zand op pilotlocatie Watergraafsmeer (raai 1)

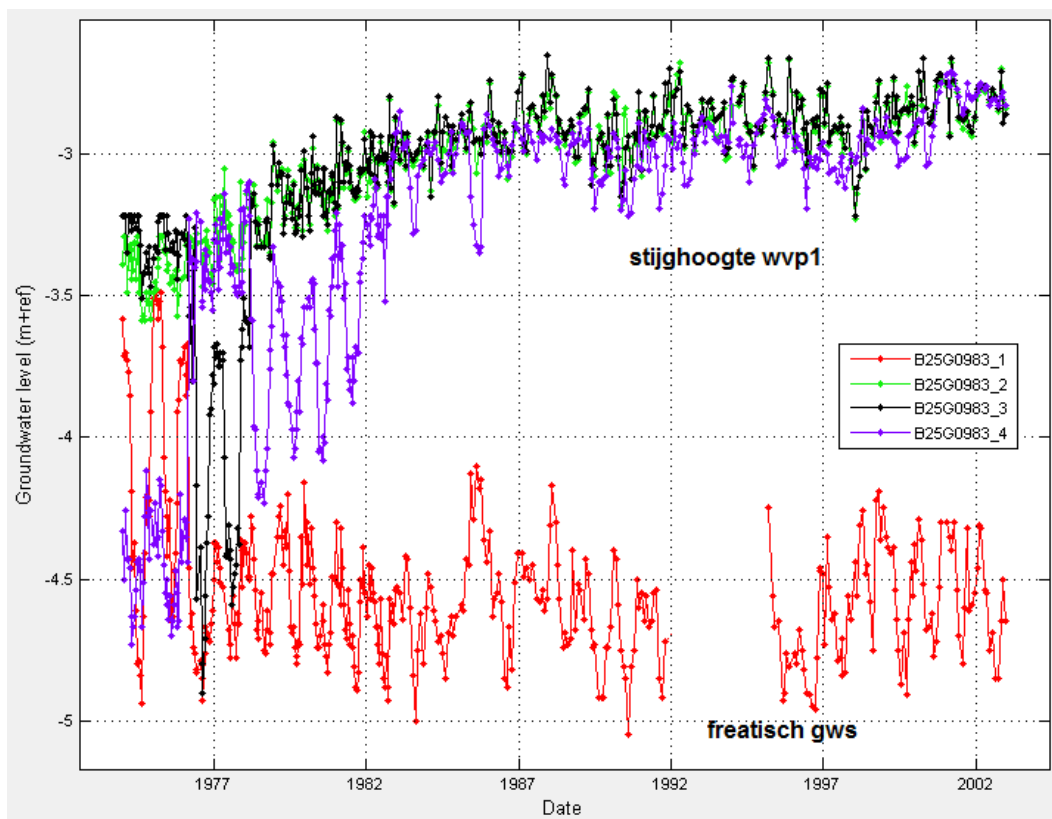
In figuur 4-9 zijn de waarnemingen van de peilbuis in raai 1 weergegeven. Zichtbaar is dat de fluctuaties in de stijghoogte relatief klein zijn (orde 0,1 m boven en onder het gemiddelde) en ook relatief snel verlopen.

Op een afstand van meerdere honderden meters zijn in DinoLoket enkele peilbuizen aanwezig. Deze peilbuizen zijn enkele tientallen jaren regelmatig waargenomen (2 maal per maand). In figuur 4-10 zijn de waargenomen grondwaterstanden en stijghoogten weergegeven. Zichtbaar in de figuur is dat de stijghoogte in de loop van de jaren een stijgende trend heeft. Dit komt vermoedelijk door een afname van grondwateronttrekkingen in de omgeving. De stijghoogten lijken zich vanaf het jaar 1982 ongeveer te stabiliseren. Ook bij deze peilbuizen is een tamelijk beperkte bandbreedte in de fluctuaties zichtbaar. Tabel 4-5 bevat de globale grondwaterregimes van deze peilbuizen. Hierbij is voor de stijghoogte uitgegaan van de waarnemingen vanaf 1982.

Tabel 4-5: Grondwaterregime nabij de pilotlocatie Watergraafsmeer (m NAP)

	GLG	GG	GHG
freatisch	-4,85	-4,60	-4,40
watervoerend pakket*	-3,00	-2,90	-2,80

* vanaf 1982



Figuur 4-10: Waargenomen grondwaterstanden en stijghoogten Watergraafsmeer

Conclusies pipingrisico's

Er is een kweldruk (verschil tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte) van ca. 1,85 m in de zomer tot 1,60 m in de winter. Op de locatie zelf is er in de polder juist sprake van kwel, bij de dijk zelf ligt de stijghoogte onder maaiveld en is er dus geen kwel.

Ter plaatse van de voorgenomen locatie van de JLD-Dijkstabilisator (maaiveldhoogte ca. NAP - 2,4 m) is er nauwelijks of geen kwel. Risico's op piping of heave kunnen dus worden uitgesloten.

4.1.4 Samenvatting geschiktheid onderzoekslocaties

In tabel 4-6 is de geschiktheid van de onderzoekslocaties voor de onderzoeksvragen 7 en 11 samengevat. Hierbij is eerst de aanwezigheid van kwel getoetst en het risico op piping.

Daarnaast is de aanwezige grond geïnventariseerd. Daaruit blijkt dat op twee van de drie locaties een bodemopbouw van veen en klei aanwezig is. Hier is dus sprake van een "anders dan zuiver kleiige gronden". Op de derde locatie, Purmerend, is een bodemopbouw met slappe plastische klei bovenin en zandige klei onderin. Er zijn tevens lagen die dermate zandig zijn, dan deze gelden als kleiig zand. Volgens de door ons voorgestelde definitie voor "anders dan zuiver kleiige gronden", zoals toegelicht in de definities voldoet deze locatie aan de gestelde criteria.

In bijlage 3 zijn de eisen en wensen betreffende kwel voor de uit te voeren interactieproeven opgenomen.

Tabel 4-6: Geschiktheid onderzoekslocaties in het kader van onderzoeksvraag 7 en 11

Locatie	Eenheid	Purmerend	Broek in Waterland	Watergraafsmeer
Stijghoogte Watervoerend pakket	[m NAP]	-3,4 à -3,7 ^[1]	-2,3 à -2,5	-2,6 à -2,8 ^[2]
Maaiveldniveau	[m NAP]	-3,9	-1,2	-2,4 à -2,5 ^[3]
ΔH	[m]	0,2 à 0,5	< 0	< 0
Toets op kwel ($\Delta H > 0?$)		Lichte kwel	Geen kwel	Zeer lichte kwel
D	[m]	7 à 8	n.v.t.	n.v.t.
$\Delta H - 0,3 D$	[m]	< 0	< 0	< 0
Risico op zandmeevoerende wellen		Geen zandmeevoerende wellen	Geen zandmeevoerende wellen	Geen zandmeevoerende wellen
Aanwezigheid grondonderzoek		ja	ja	ja
Aanwezige grondsoorten		Klei en zandige klei	Veen en klei	Veen en klei
Aanwezigheid van "anders dan zuiver kleiige gronden"		mogelijk	ja	ja
Oordeel geschiktheid tbv. onderzoeksvraag 7 +11		Mogelijk geschikt	Ongeschikt	Geen piping risico

[1] Dit zijn de 10% en 90% waarden van peilbuis 6 uit de voorgaande fase van het onderzoek voor de periode 16-9-2014 tot en met 15-7-2015.

[2] Dit zijn de 10% en 90% waarden van peilbuis B011PB01 (Diepte NAP -13 m) voor de periode 1-2-2017 tot en met 5-6-2018.

[3] Dit is de hoogte van de voorgenomen kopplaat. Deze is onderaan het talud, ca. 1 m noordwaarts van de aanwezig gemetselde muur bij dwarsprofiel 700 en 800.

Op basis van bovenstaande gelden de volgende conclusies:

1. Voor locatie Broek in Waterland zijn er geen raakvlakken met onderzoeksvraag 7 en 11.
2. Voor locatie Purmerend zijn er mogelijk raakvlakken met onderzoeksvraag 7 en 11.
Op deze locatie wordt geen zandmeevoerende wel verwacht, maar mogelijk wel kwel.
3. Het risico op piping voor Watergraafsmeer is gering. Het beantwoorden van onderzoeksvraag 7 en 11 is voor het DO en UO dan ook niet kritisch.

Maximale stijghoogte

Bij een theoretische benadering van de invloed van de JLD-Dijkstabilisator op de kwel, is het nuttig om te bepalen bij welke stijghoogte er sprake is van risico op zandmeevoerende wellen. Dit is de situatie waarbij de stijghoogte zo hoog is, dat aan het criterium $\Delta H - 0,3 D < 0$ niet meer wordt voldaan. In tabel 4-7 zijn de resultaten weergegeven.

Uit een toets van de opbarstrisico's is gebleken dat deze niet maatgevend zijn voor deze situaties. Hierbij is voor de natte volumegewichten uitgegaan van de gemiddelden voor veen en klei zoals deze met grondonderzoek voor de watergraafsmeer zijn bepaald (veen: 10,5 kN/m³, klei 16,3 kN/m³) en 17,0 kN/m³ voor het wadzand. De toelaatbare stijghoogten waarbij opbarsten

optreedt, liggen op alle locaties hoger dan de stijghoogte waarbij risico's op zand meevoerende wellen niet meer zijn uit te sluiten.

Tabel 4-7: Maximale stijghoogte voor theoretische benaderingen

Locatie		Purmerend	Broek in Waterland	Watergraafsmeer
Maaiveldniveau	[m NAP]	-3,9	-1,2	-2,4 à -2,5 ^[3]
D	[m]	7	8,8	7,6
$\Delta H = 0,3 D$	[m]	2,1	2,6	2,3
Stijghoogte Watervoerend pakket	[m NAP]	-1,8	+1,4	-0,1

4.2 Uitgevoerde interactieproeven Purmerend

4.2.1 Inleiding

In Purmerend zijn op 18 juni 2018 verschillende interactieproeven gestart. Zoals hiervoor is toegelicht, is voor de kwel alleen de interactieproef in Purmerend van belang.

De metingen van de interactieproeven in Purmerend lopen in totaal ca. 2 jaar. Voor kwel wordt verwacht dat bij het plaatsen van de ankers en bij het optreden van hogere stijghoogten informatie in het veld kan worden verzameld. In het Monitoringsplan voorspanproeven (rev. 02, 1 juni 2018) zijn de werkzaamheden tijdens de interactieproeven toegelicht.

Op 22 juni 2018 is een demonstratiebijeenkomst geweest, waarbij voor geïnteresseerden een JLD-Dijkstabilisator is geplaatst. Verschillende van de foto's in deze rapportage zijn op die dag genomen.



Figuur 4-11: Demonstratie plaatsing JLD-Dijkstabilisator in Purmerend op 22 juni 2018



Figuur 4-12: Enkele van de aanwezigen bij de demonstratie



Figuur 4-13: Enkele van de aanwezigen bij de machine om voorspanning op de JLD-Dijkstabilisator te zetten



Figuur 4-14: Proefopstelling JLD-Dijkstabilisator in Purmerend (foto 22 juni 2018). Zichtbaar is het gat van de drijfstang en de trekstang daarin. Het LDE-element is niet aangebracht. Het zichtbare water is freatisch grondwater.



Figuur 4-15: LDE-element gezien vanaf het punt dat de grond ingaat

4.2.2 Beschrijving proeven Purmerend

Op 27 juni 2018 zijn verschillende JLD-Dijkstabilisatoren geplaatst. Hierbij is ook specifiek op het optreden van kwel gelet. De volgende waarnemingen zijn gedaan:

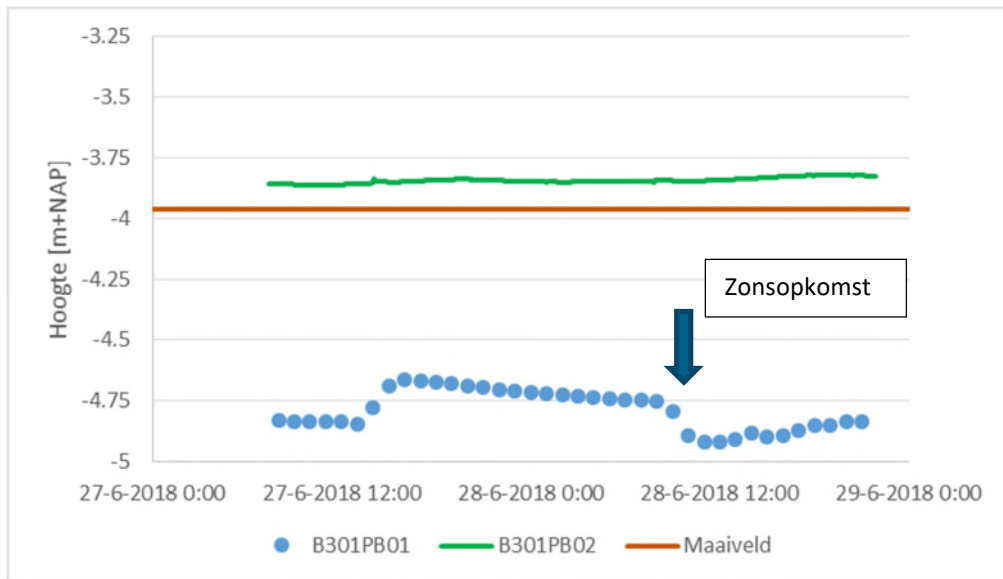
- Plaatsen anker
Hierbij is een klapanker geplaatst en was een holte aanwezig als gevolg van de drijfstang die het anker op diepte bracht en daarna weer is teruggetrokken. Dit betreft meetpunt 20. Uit de meting bleek geen kwel vanuit het watervoerende pakket.
- Plaatsen anker met LDE
Bij locatie 11, 12 en 13 is middels infrarood gezien of er sprake was van kwel. Bij punt 12 en 13 is nihil kwel waargenomen. Bij punt 11 is lichte kwel waargenomen. Deze zorgde in de infraroodbeelden voor een verkleuring. Het kweldebiet was dermate laag dat deze niet is gemeten of dat men deze visueel heeft kunnen vaststellen. Dit kweldebiet is dan ook lager dan 0,1 l/dag. Onderstaand is de beschrijving tijdens de veldwerkzaamheden opgenomen. In bijlage 1 zijn de infraroodmetingen opgenomen.

Bij één van de stabilisatoren, JLD11, is visueel een beperkte uittreding van water vastgesteld. Tevens is geborrel van water gehoord. Het volume was dermate gering dat het als 'zweeten' is benoemd, niet als stromen. Er kon niet worden vastgesteld of het om freatisch water of water uit het watervoerende pakket ging. Ook infraroodmetingen geven hierover geen uitsluitsel (bijlage 1). Wel is geconstateerd dat het uittredepunt hoger lag dan de freatische lijn. In de hoek van het LDE-element is een gat gegraven, maar de grond was hier droog.



Figuur 4-16: JLD11, waar uittredend water is geconstateerd

Op de locatie is in peilbuis B301PB02 een stijghoogte gemeten van circa 12 cm boven maaiveld (figuur 4-17). Het uittredepunt van de JLD-Dijkstabilisator ligt op ca. 30 cm onder maaiveld, resulterend in een ΔH van circa 0,45 m.



Figuur 4-17: Grondwaterstand en stijghoogte tijdens plaatsen JLD11

Als gevolg van het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisator is geen verandering van de stijghoogte in het watervoerende pakket gemeten. Na het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisator is wel een verandering van de freatische grondwaterstand gemeten (ca. 0,15 m). Deze verandering is enkele uren gemeten. Echter de volgende dag om 9:00 à 10:00 uur 's ochtends verdween deze verandering geheel. Dit verdwijnen wordt geweten aan het tot rust komen van de bodem 's-nachts, daarmee het herstellen van de capillaire werking. De volgende dag is de grondwaterstand gedaald als gevolg van de verdamping die startte vanaf zonsopkomst. In bijvoorbeeld *Stromingen*³ wordt deze dagelijkse fluctuaties door de verdamping overdag beschreven.



Figuur 4-18: Grond bij JLD11 weggegraven

³ Dagelijkse fluctuatie van de freatische grondwaterstand, Perry de Louw, Roelof Stuurman en Hans van der Meij, *Stromingen*, 2004 nr. 2

4.2.3 Analyse kwel

Waarnemingen

Uit de peilbuisgegevens op de locatie tijdens het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisator blijkt dat de stijghoogte op ca. NAP -3,85 m lag (zie figuur 4-17), dus ongeveer 12 cm boven maaiveld en ca. 45 cm boven het uittredepunt van de JLD, dus $\Delta H = 0,45$ m. Bij JLD11 is mogelijk enige kwel geconstateerd. Uit de peilbuisgegevens blijkt dat dit mogelijk is.

Berekeningen

Met de beschikbare gegevens kan een inschatting van de weerstand in het gat van de JLD-Dijkstabilisator worden gemaakt. Hierbij wordt aangenomen dat het debiet door de kwel (Q) nauwelijks merkbaar aanwezig is als deze tussen 1 liter per dag en 1 liter per uur ligt: $0,001 \text{ m}^3/\text{d} < Q < 0,024 \text{ m}^3/\text{d}$.

De oppervlakte van het gat van de drijfstaang is $\pi \cdot 0,04^2 = 0,005 \text{ m}^2$ (50 cm^2), gedurende de realisatie is dit de grootst voorkomende opening.

Door het inbrengen van het LDE-element zal het gat grotendeels weer zijn opgevuld met de omliggende grond. De mate van opvulling is niet bekend. Aangenomen wordt dat het kleinste boorgat dat achterblijft, 5 cm^2 is, dus 0,0005 m^2 . Dit is ongeveer de oppervlakte van het gat in het LDE-element minus de oppervlakte van de trekstaang.

De potentiële kwel (s) is:

$$s = \frac{Q}{A}$$

Hieruit kan de effectieve weerstand worden berekend:

$$c = \frac{\Delta H}{s}$$

Tabel 4-8: Schatting weerstand in boorgat

	Minimum			Maximum
Debiet Q (m^3/d)	0,001			0,024
Oppervlakte boorgat A (m^2)	0,005			0,0005
Kwel s (m/d)	0,20	4,8	2,0	48
ΔH (m)	0,45			
Weerstand (d)	0,01	0,09	0,23	2,26

Analyses

Geconstateerd wordt dat bij het stijghoogteverschil van bijna 0,5 m een weerstand die ruimschoots kleiner is dan 1 dag al voldoende is om de kwel te reduceren tot 'verwaarloosbaar klein'. Dit is een zeer geringe weerstand, die door het instorten van een boorgat of het verdringen van de grond door de LDE al zeer snel op zal treden. Het is aan te bevelen om in een laboratoriumopstelling het ontstaan van weerstand bij verschillende kwelsituaties te bepalen.

Bij een hogere stijghoogte zal er uiteraard bij dezelfde weerstand een grotere kwel zijn. In de systeemanalyse (par. 4.1) is geconstateerd dat in Purmerend piping niet uit te sluiten is wanneer de stijghoogte minimaal NAP -1,8 m NAP zou zijn. In dat geval is ΔH 2,1 m. Bij dezelfde gegevens als hiervoor is de range in kweldebieten bij deze stijghoogte in onderstaande tabel opgenomen.

Tabel 4-9: Schatting kwel

	Minimum				Maximum			
ΔH (m)	2,1							
Weerstand (d)	0,01	0,09	0,23	2,26				
Kwel s (m/d)	210	23	9,1	0,93				
Oppervlakte boorgat A (m ²)	0,005				0,0005			
Debiet Q (m ³ /d)	1,05	0,12	0,05	0,005	0,11	0,01	0,005	0,0005
Debiet Q (l/s)	0,01	0,001	0,0005	5E ⁻⁵	0,001	0,0001	5E ⁻⁵	5E ⁻⁶

Geconstateerd wordt dat zelfs bij een zeer extreme stijghoogte, er met een zeer geringe bodemweerstand in het resterende gat er nauwelijks sprake is van kwel, hooguit 1 m³/d. Dit volume blijft ruimschoots onder de grens voor een overslagbestendige dijk van 0,1 l/s. Zodra het LDE is geplaatst (figuur 4-20), neemt door de verdringing van de grond de oppervlakte van het resterende gat sterk af.



Figuur 4-19: Boorgat van drijfstang met alleen trekstang



Figuur 4-20: Boorgat met LDE-element

4.2.4 Conclusie uit interactieproeven Purmerend

Geconcludeerd wordt dat tijdens de plaatsing van de JLD-Dijkstabilisatoren er ook bij een zeer extreem hoge stijghoogte er mogelijk tot hooguit enkele honderden liter kwelwater per dag kan uittreden. Dit volume blijft ruimschoots onder de grens voor een overslagbestendige dijk van 0,1 l/s (8640 l/dag). Dit kan hoogstens tot enige overlast leiden. Wanneer het kwelwater adequaat kan worden opgevangen en afgevoerd, zal er nauwelijks overlast zijn. Het te verwachten debiet blijft ruimschoots onder de grens die voor een overslagbestendige dijk geldt. Er is geen invloed van kwel op de berekende stabiliteit, omdat er wordt aangenomen dat in maatgevende omstandigheden het grondwater tot het maaiveld stijgt.

Na het plaatsen van het LDE-element wordt verwacht dat het resterende gat waardoor kwel op kan treden sterk zal zijn samengedrukt, waardoor de kwel wordt gereduceerd tot hooguit enkele liters kwelwater per dag. Deze hoeveelheid is verwaarloosbaar klein.

Er wordt geconstateerd dat kwel en daarmee ook piping en heave niet tot onacceptabele situaties zal leiden, zowel tijdens uitvoering als in de definitieve situatie.

4.3 Grondwatermodellering

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke debieten die langs de JLD-Dijkstabilisator kunnen stromen en om de invloed van maatregelen in beeld te krijgen, is een grondwatermodellering uitgevoerd. Hierbij is de normale bodemopbouw ingevoerd, met daarin een gat dat de JLD-Dijkstabilisator simuleert. Vervolgens zijn varianten in de stijghoogte doorgerekend en zijn de effecten van het beperken van de omvang van het gat en het vergroten van de weerstand in het gat bepaald.

Het betreft hier theoretische berekeningen, waarbij de stijghoogte sterk gevarieerd is om de invloed daarvan te bepalen. Een kalibratie aan een werkelijke situatie is door het gebrek aan gegevens niet mogelijk. Dit is ook niet nodig, omdat het gaat om een onderlinge vergelijking van stijghoogten en maatregelen. Gezien het doel van de berekeningen, het bepalen van effecten van mogelijke maatregelen, is de werkelijke situatie met JLD-Dijkstabilisatoren met een h.o.h.-afstand van 1 m ook niet precies nagebootst. Er is in het model (met een breedte van 2,58 m) maar één JLD-Dijkstabilisator in het midden geplaatst.

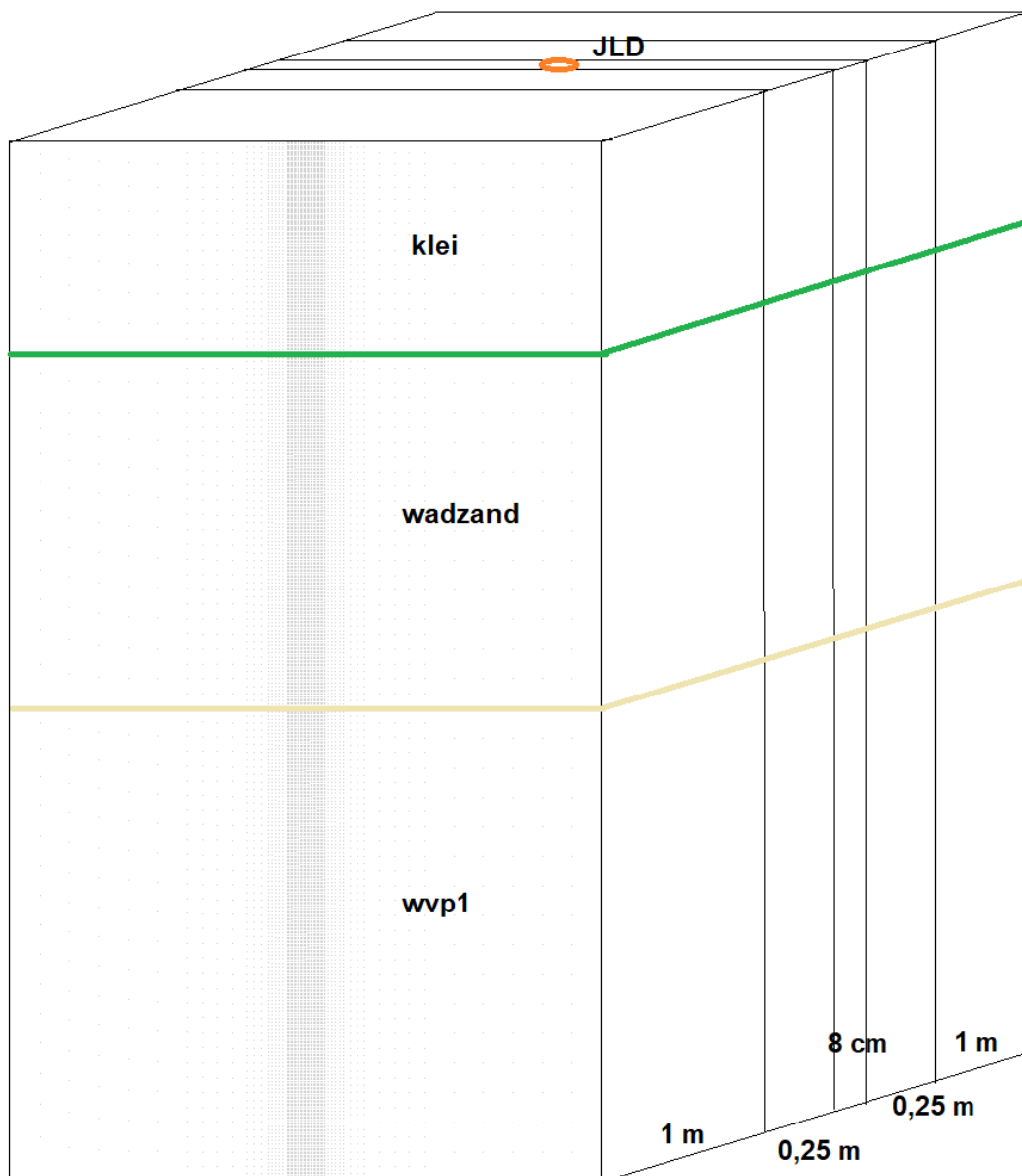
Voor alle drie de pilot-locaties is een model opgesteld. De bodemopbouw van de drie pilotlocaties is opgenomen in een grondwatermodel. Dit model is gebouwd in MicroFem 2.10.71. Het betreft een verticale doorsnede, waarin de ligging van de deklaag (gesplitst in meerdere lagen) en het eerste watervoerende pakket zijn opgenomen.

Door meerdere lagen op te nemen, is het een 2,5D-model waarbij grondwaterstroming in alle richtingen mogelijk is. De middelste laag is een zeer dunne laag (8 cm), waarin in het midden de JLD-Dijkstabilisator wordt ingevoerd. In figuur 4-21 is deze schematisatie weergegeven voor de locatie Purmerend. Voor de beide andere locaties zijn soortgelijke schematisaties toegepast, waarbij de bodemopbouw op de betreffende locatie is afgestemd.

De ingevoerde modelparameters zijn weergegeven in tabel 4-10.

Tabel 4-10: Invoer bodemparameters grondwatermodellen (bron: Grondwaterzakboekje)

	kh (m/d)	kv (m/d)
Klei	0,01	300
Veen	0,005	600
Wadzand	0,25	40
WVP1	10	0,2



Figuur 4-21: Schematisatie bodemopbouw Purmerend inclusief JLD

Aan de zijranden en onderrand van het eerste watervoerende pakket is middels een 'fixed head' een vaste stijghoogte opgenomen. Hiermee wordt bereikt dat in het gehele watervoerende pakket, met uitzondering van de invloed van de JLD, de stijghoogte van toepassing is. Deze is voor Purmerend gevarieerd tussen NAP -3,75 m (0,15 m boven maaiveld) en NAP -1,8 m (2,1 m boven maaiveld). Zoals in par. 4.1 is toegelicht, is dit voor deze bodemopbouw (Purmerend) de hoogste stijghoogte waarbij nog geen piping optreedt. Dit is dus beschouwd als de theoretische range waarbinnen de stijghoogte kan variëren. Bij de andere locaties zijn de waarden toegepast, zoals weergegeven in tabel 4-11.

Aan de zijranden van de kleilaag en het deel van de bovenlaag op enige afstand vanaf de JLD, is een vaste grondwaterstand van NAP -4,6 m (0,7 m –mv.) opgenomen. Deze waarde is bij alle varianten gelijk gehouden. De freatische grondwaterstand is relatief diep en vormt dus een worst

case voor de kwel. Bij een hogere grondwaterstand door een hoger polderpeil en/of neerslag, zal de kwel kleiner zijn.

Tabel 4-11: Invoer stijghoogten en grondwaterstanden

	Purmerend (m NAP)	Broek in Waterland (m NAP)	Watergraafsmeer (m NAP)
Stijghoogte wvp1 minimaal	-3,8	-1,0	-2,2
Stijghoogte wvp1 maximaal	-1,8	+1,4	-0,1
Freatische grondwaterstand	-4,6	-1,5	-3,1

De diameter van de JLD-Dijkstabilisator bedraagt in het model 8 cm. De modellaag waar de JLD-Dijkstabilisator zich in bevindt heeft een dikte van eveneens 8 cm. De JLD-Dijkstabilisator in het model vierkant is in plaats van rond, is deze in het model dus iets overschat ten opzichte van de werkelijkheid. Ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator en het 'gat' is een kD van 10.000 m²/d opgenomen, dus vrijwel oneindig groot. Doordat het een verticale doorsnede-model betreft, is er geen sprake van een weerstand binnen de JLD-Dijkstabilisator. Binnen de JLD-Dijkstabilisator wordt de afvoer dus niet belemmerd.

Tussen de laag met de JLD-Dijkstabilisator en de beide lagen aan weerszijden ervan is wel een weerstand, zoals opgenomen in tabel 4-10. De weerstand in klei- en veenlagen is hier hoog, bovendien komen de grondwaterstanden hier al meer overeen met de freatische grondwaterstanden. De toestroming vanuit de deklaag is sowieso klein in verhouding tot de toestroom vanuit de zandige lagen.

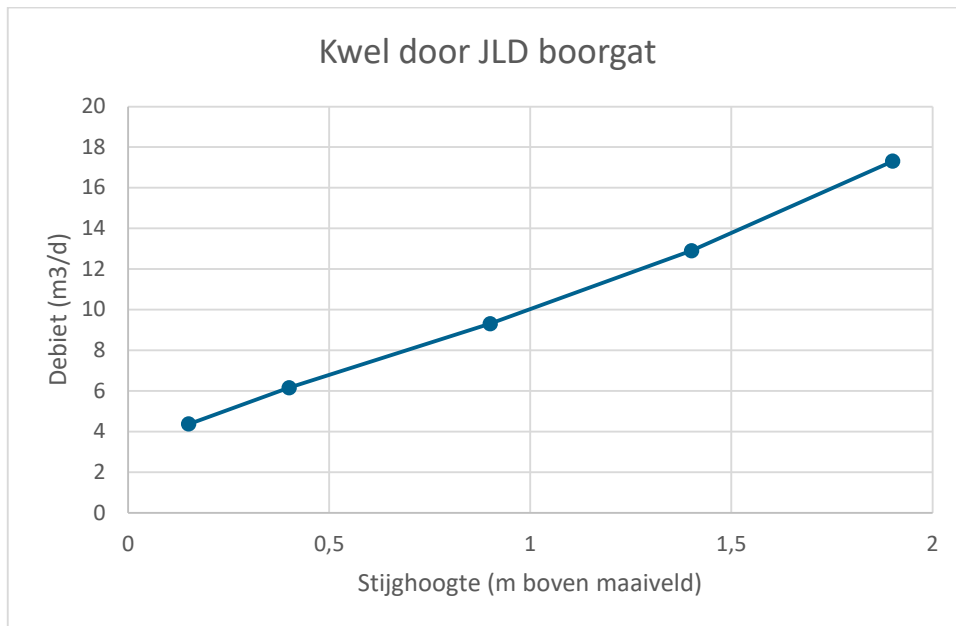
In het wadzandpakket is tussen de laag met de JLD-Dijkstabilisator en de eerste modellaag ernaast ongeveer 2 dagen. In het watervoerende pakket is de weerstand ca. 0,035 dgn. De kwelstroom naar de JLD-Dijkstabilisator wordt dus slechts in beperkte mate belemmerd door de weerstand in de bodem.

Middels een waterbalans is bij verschillende situaties berekend hoeveel water vanuit het eerste watervoerende pakket via de JLD-Dijkstabilisator uittreedt. De resultaten zijn opgenomen in tabel 4-12 en figuur 4-22. Zoals aangegeven gaat het hier niet om de absolute getallen, omdat het model niet gekalibreerd kan worden, maar om de invloed van de stijghoogte en van eventuele maatregelen in beeld te brengen.

Uit de tabel en figuur blijkt dat het debiet bij een volledig open boorgat toeneemt met een hogere stijghoogte. Dit betreft een vrijwel lineaire toename van het debiet bij een toenemende stijghoogte. Dit komt overeen met de verwachtingen.

Tabel 4-12: Uittredende kwel bij JLD-Dijkstabilisator Purmerend

Stijghoogte (m NAP / m t.o.v. mv.)	Kwel bij open boorgat (m ³ /d)
-3,75 / +0,15	4,4
-3,50 / +0,40	6,2
-3,00 / +0,90	9,3
-2,50 / +1,40	12,9
-2,00 / +1,90	17,3

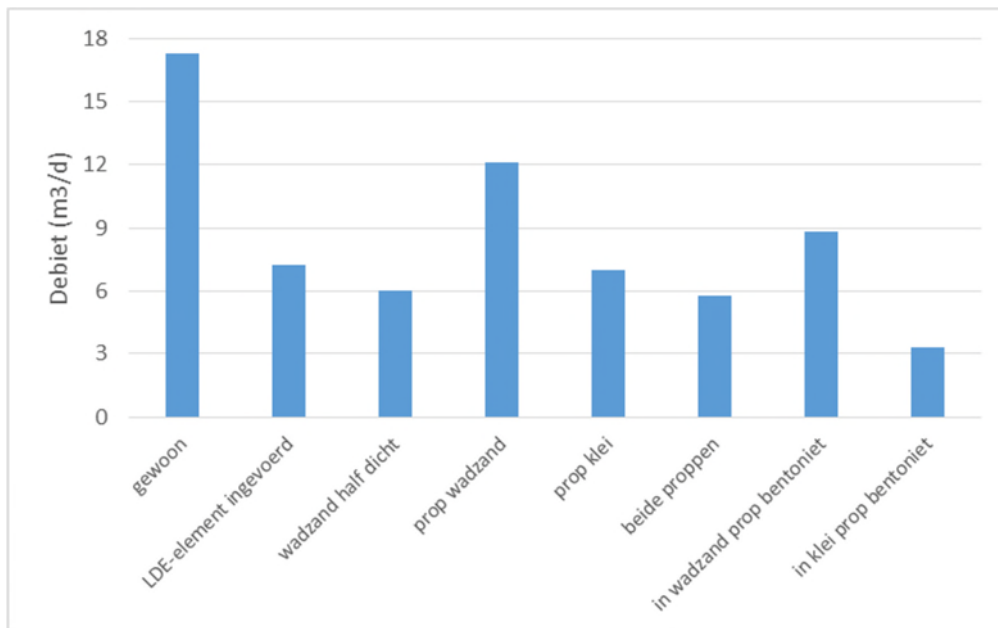


Figuur 4-22: Uittredende kwel bij JLD-Dijkstabilisator Purmerend

Om de invloed van maatregelen te kunnen bepalen, zijn bij de hoogste stijghoogte van 1,9 m boven maaiveld enkele alternatieven doorgerekend. Omdat bij deze hoogste stijghoogte de berekende kwel het grootste is, zijn veranderingen door de maatregel het beste zichtbaar.

- LDE-element in boorgat gebracht
In het model is de resterende diameter van het boorgat nog ongeveer de helft. Bij een boorgat dat in het geheel niet instort, wordt de ruimte voor ongeveer de helft gevuld door het LDE.
- Instorten boorgat in wadzandpakket
Aangenomen is dat de helft van het boorgat nog open is; het ingevoerde doorlaatvermogen van het ingestorte deel is het dubbele van het normale doorlaatvermogen van de erom liggende zand, wadzand of klei.
- Prop van natuurlijk materiaal in het boorgat
 - Prop van 20 cm onderin het wadzandpakket; het doorlaatvermogen van deze (natuurlijk ontstane) prop is het dubbele van het normale doorlaatvermogen.
 - Prop van 20 cm onderin het kleipakket; het doorlaatvermogen van deze (natuurlijk ontstane) prop is het dubbele van het normale doorlaatvermogen.
 - Prop in het wadzandpakket en prop in het kleipakket
- Prop van bentoniet
 - Prop van bentoniet onderin het wadzandpakket.
 - Prop van bentoniet onderin het kleipakket.
Bij een prop van bentoniet is een k-waarde van ca. 10^{-5} m/d ingevoerd. De prop is in het boorgat in het model gebracht. De weerstanden tussen de lagen onderling zijn niet aangepast.

In figuur 4-23 zijn de effecten weergegeven. Alle beperkingen ten opzichte van een volledig boorgat hebben een reductie van de kwel langs het LDE tot gevolg. Alleen het aanbrengen van het LDE al zorgt voor een beperking van het boorgat en in de praktijk ook tot het gedeeltelijk instorten van het gat en/of het vormen van proppen van natuurlijk materiaal. Deze combinatie zal tot een verdere reductie van de kwel leiden.



Figuur 4-23: Effect van afdichting op de kwel door het JLD-Dijkstabilisator boorgat Purmerend

Broek in Waterland en Watergraafsmeer

Voor de beide andere proeflocaties Broek in Waterland en Watergraafsmeer zijn eveneens grondwatermodellen gebouwd, overeenkomstig het model in Purmerend. Voor deze situaties is alleen de hoogste stijghoogte ingevoerd die volgens de systeemanalyse mogelijk is (par. 4.1.4). Bij deze stijghoogte bleek de kwel op beide locaties zonder maatregelen al lager te liggen dan het berekende debiet bij Purmerend. Bij het plaatsen van het LDE-element neemt de kwel verder af tot ongeveer de helft van het open boorgat. Gezien de lage debieten zijn geen verdere maatregelen doorgerekend.

Tabel 4-13: Uittredende kwel bij Broek in Waterland en Watergraafsmeer bij hoogste fictieve stijghoogte

	Kwel bij open boorgat (m³/d)	Kwel met LDE-element (m³/d)
Purmerend	17,3	7,2
Broek in Waterland	5,8	3,3
Watergraafsmeer	4,2	2,2

Conclusies modellering

Geconcludeerd wordt dat bij stijghoogten die normaal in het onderzoeksgebied voorkomen, de kwel door het boorgat van de JLD-Dijkstabilisator direct na plaatsing beperkt blijft. De rekenresultaten zijn alleen indicatief en geschikt voor onderlinge vergelijking van locaties en maatregelen.

Purmerend blijkt hierbij de meest kritische locatie. Dit komt doordat de dikte van de weerstandslaag (klei en/of veen) veel kleiner is dan bij de andere locaties. De weerstand van het wadzand is relatief beperkt ten opzichte van de erboven gelegen klei. Bij de hoogste stijghoogte die vanuit het oogpunt van piping en opbarsten mogelijk is, is de berekende kwel bij Purmerend 3 tot 4 keer zo groot als bij Broek in Waterland en Watergraafsmeer.

Geconstateerd is dat door het plaatsen van het LDE-element de kwel ongeveer halveert. Door het gedeeltelijk instorten van het boorgat in het wadzandpakket of door het aanbrengen van proppen wordt de kwel verder beperkt. Uit de berekeningen blijkt verder dat het aanbrengen van proppen in het gedeelte waar wadzand ligt, minder effectief is dan proppen in de kleilaag. Verwacht kan worden dat een combinatie van het plaatsen van het LDE waarbij het boorgat ook gedeeltelijk instort er een verdere reductie van de kwel optreedt.

5 Maatregelen

5.1 Inleiding

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat er bij een locatie waar JLD-Dijkstabilisatoren worden toegepast, er ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator geen significant verhoogd risico is op piping of heave. Het optreden van overlast door kwel is echter niet volledig uit te sluiten.

Met onderzoek van tevoren en vervolgens eventuele maatregelen tijdens of na uitvoering, kan ook overlast worden beperkt of weggenomen.

5.2 Onderzoek vooraf

Aanbevolen wordt om voorafgaand aan het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisatoren de stijghoogte te meten. Met de toets zoals beschreven in hoofdstuk 3 en uitgewerkt in paragraaf 4.1.4 (bijvoorbeeld *Tabel 4-6*) wordt geverifieerd dat er geen risico is op piping.

Middels een indicatieve berekening van het volume van de kwel, zoals toegelicht in paragraaf 4.3.3, kan een inschatting van het kweldebiet worden gemaakt. Hierbij kan voor de fase tijdens plaatsing een geringe weerstand (0,01 dag) en het volledige boorgat worden gehanteerd.

Kort na plaatsing kan een iets hogere weerstand (0,1 dag) en een oppervlakte van het boorgat tussen 5 cm² en 25 cm² (worst case) worden gebruikt.

Tenslotte kan met deze waarden en een maatgevende stijghoogte ook worden ingeschat wat het grootste waterbezwaar zou kunnen zijn.

Op basis van de resultaten kunnen eventueel twee verschillende maatregelen worden getroffen:

- Wanneer tijdens plaatsing wel overlast op kan treden maar tijdens de gebruiksfase niet, is het wenselijk om het 'natuurlijk' dichten van het gat te bevorderen, door te voorkomen dat een significante kwelstroom op gang komt. Mogelijke maatregelen zijn:
 - stabilisatoren te plaatsen op een moment dat de stijghoogte relatief laag ligt.
 - voldoende rust houden tijdens het plaatsen, zodat de stroom kan stabiliseren,
 - boren vanaf een verhoging,
 - de ankers door een vooraf ingebrachte kleiprop aanbrengen,
 - of de stijghoogte verlagen tijdens de werkzaamheden door grondwateronttrekking.
- Wanneer in beide situaties of alleen tijdens de gebruiksfase wateroverlast niet is uit te sluiten, wordt in het boorgat een prop van afdichtend materiaal aangebracht. Deze prop dient in de slecht doorlatende laag te worden aangebracht. De effectieve lengte van de prop in de slecht doorlatende laag na het aanbrengen van de LDE is minimaal 1 m. Zie hiervoor ook de volgende paragraaf.

Met deze maatregelen wordt de kwel sterk gereduceerd, waarmee wateroverlast door de kwel wordt uitgesloten.

5.3 Tijdens uitvoering

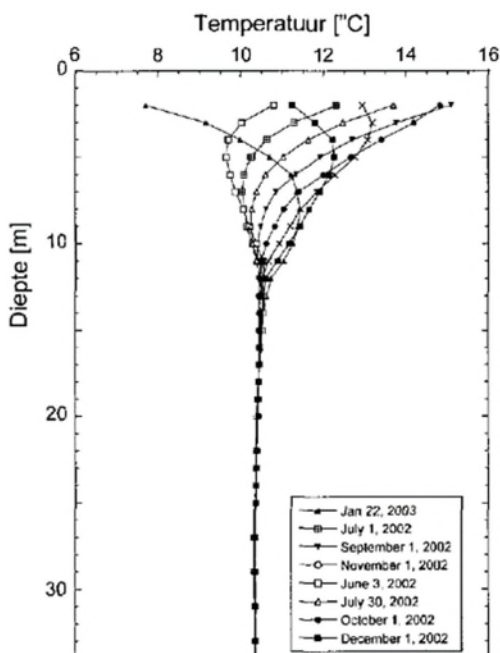
Tijdens uitvoering kan het optreden van eventuele kwel visueel worden vastgesteld, of middels meting van temperatuurverschillen. In de onderstaande paragrafen is het vaststellen van kwel middels temperatuur- of infraroodmetingen toegelicht.

5.3.1 Temperatuur of infraroodmetingen

Achtergrond

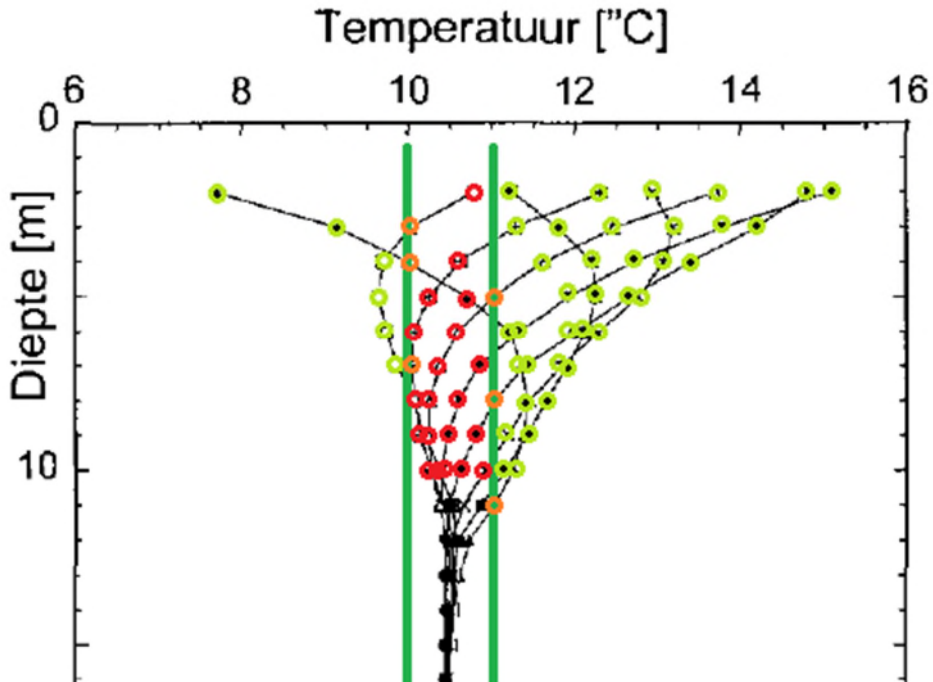
De temperatuur van (dieper) grondwater is tamelijk constant, maar de temperatuur van de bodem direct onder maaiveld wordt beïnvloed door de seizoenen⁴. In de zomer is de bodem dus warmer dan het diepere grondwater, in de winter kouder. In figuur 5-1 is een voorbeeld opgenomen van het temperatuurverloop in de diepte op verschillende tijdstippen in het jaar. Zichtbaar is dat in deze peilbuis vanaf ca. 13 m –mv. de temperatuur het gehele jaar door constant is op ca. 10,5 °C. In het traject hierboven varieert de temperatuur afhankelijk van de diepte en het seizoen tussen ca. 8 en 15 °C. Opgemerkt wordt dat dit specifieke verloop afhankelijk is van de bodemopbouw en de luchttemperaturen voorafgaande aan de metingen.

Omdat dit principe wel altijd van toepassing is, zijn deze metingen gebruikt om te bepalen in hoeverre de temperatuur van het water kan worden benut om vast te stellen of het grondwater dat op een bepaalde diepte wordt aangetroffen op kwelwater kan duiden.



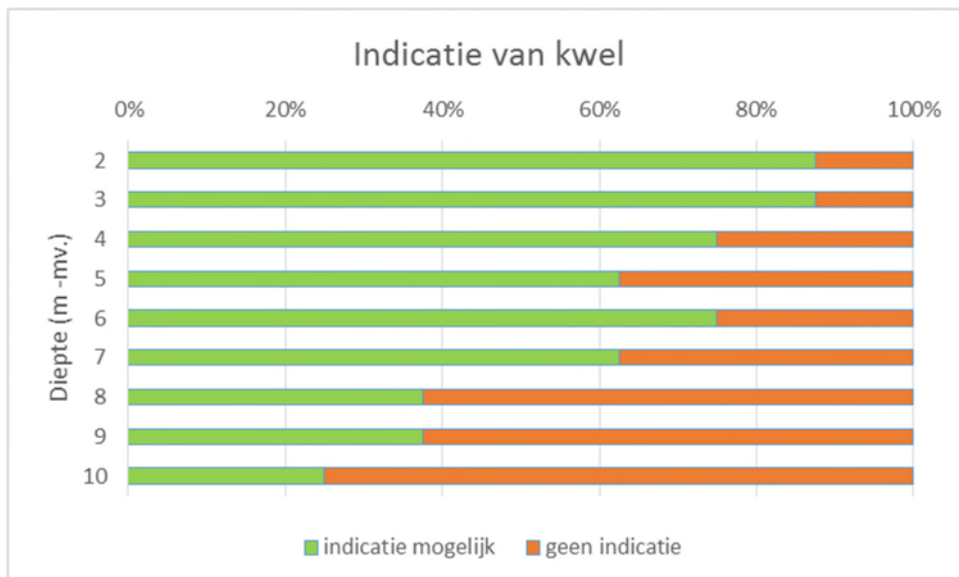
Figuur 5-1: Temperatuurverloop van grondwater in de diepte, metingen in verschillende maanden (bron: V. Bense⁶, Stromingen 2004)

⁴ Buik et al, Analyse van temperatuurmetingen in de Nederlandse ondergrond, Stromingen, 2004.
Bense V., Ruimtelijke en temporele variaties van ondiepe grondwatertemperatuur als tracer voor grondwaterstroming rondom de Peelrandbreuk nabij Uden, Stromingen, 2004.



Figuur 5-2: Aantal nauwkeurige metingen die op een afwijking van de normale temperatuur duiden

In figuur 5-2 zijn dezelfde temperatuurwaarnemingen weergegeven. Hierbij is er vanuit gegaan dat de temperatuurmetingen een verschil van minimaal 0,5 °C nodig hebben om als significant te worden waargenomen. Dus: wanneer een temperatuur tussen 10 en 11 graden wordt gemeten, is niet vast te stellen of dit de lokale temperatuur is, of dat deze door kwelwater wordt bepaald. Bij een temperatuur van bijvoorbeeld 12 graden is het zeker dat dit de lokale temperatuur is. De waarnemingen binnen of op de groene bandbreedte zijn als oranje of rood weergegeven, waarnemingen buiten de bandbreedte zijn als groen aangeduid.



Figuur 5-3: Kans bij het voorbeeld uit figuur 5-2 dat een temperatuurmeting binnen de bandbreedte een kwelindicator is

Logischerwijs vallen op een geringere diepte meer metingen buiten de bandbreedte, en op grotere diepte vallen er meer binnen de bandbreedte. Voor dit specifieke geval vallen tot 10 m -mv. 28 van de 72 waarnemingen, dus bijna 40%, binnen de bandbreedte van 0,5 °C. Dit houdt dus in dat in 40% van de gevallen er geen onderscheid te maken is tussen kwelwater van dieper dan 10 m –mv. en freatisch grondwater. Bij metingen op kleinere diepte is het onderscheid groter, op 2 en 3 m –mv. liggen vrijwel alle waarnemingen buiten de bandbreedte. In is voor het voorbeeld uit figuur 5-2 per meter diepte de kans weergegeven dat een meting tussen 10 en 11 °C daadwerkelijk kwel aanduidt.

Geconstateerd wordt dat bij ondiepe metingen er een grotere kans is dat de temperatuur van het grondwater een indicatie van kwel geeft dan bij metingen op grotere diepte. Daarnaast is het actuele temperatuurverloop tijdens de proeven van belang. Hoe groter het verschil is tussen de temperatuur van het freatische grondwater en van het water in het watervoerende pakket, hoe groter de kans dat temperatuurmetingen een goede indicatie geven of er sprake is van kwel.

Omdat het temperatuurverloop afhankelijk is van de bodemopbouw en de luchttemperaturen voorafgaand aan de metingen, is het noodzakelijk om dit verloop voorafgaand aan de proeven in beeld te brengen. Met deze gegevens kan worden besloten of metingen van temperatuur zinvol kunnen zijn.

Methodiek meting temperatuur

Van het water dat in het boorgat van de drijfstang wordt aangetroffen wordt de temperatuur gemeten. Dit kan met een logger (automatische drukopnemer, bijvoorbeeld het merk diver), die tevens de temperatuur meet. De range van temperatuurmetingen ligt tussen 0 en 50 °C en de nauwkeurigheid is 0,1 °C. De temperatuur kan eventueel ook op verschillende diepten in het boorgat worden gemeten. Het is hierbij van belang dat de logger op iedere diepte kan acclimatiseren, bijvoorbeeld door deze ca. 1 minuut op een bepaalde diepte te houden.



Figuur 5-4: Voorbeeld van een diver, diameter 22 mm, lengte afhankelijk van type



Figuur 5-5: Voorbeeld infrarood thermometer

Een alternatief kan de toepassing van infraroodmetingen zijn. Hiermee kan van het uittredende grondwater de temperatuur worden gemeten. De range van temperatuurmetingen is afhankelijk van het type camera dat wordt gebruikt. Vereist is dat de range minimaal tussen 0 en 20 °C ligt, de benodigde nauwkeurigheid is 0,1 °C.

5.3.2 Uitwerking afdichten boorgaten

Van nature instorten van boorgaten

Bij het aanbrengen van boringen of sonderingen is er een discussie in hoeverre het boor- of sondeergat uit zichzelf instort, of dat een afdichting benodigd is om de oorspronkelijke weerstand van de bodem te herstellen. Over het algemeen wordt gesteld dat een boorgat in zandgrond snel instort. Bij diepe boringen in zandpakketten wordt daarom vaak al een boorspoeling toegepast, om te voorkomen dat het boorgat instort voordat de gewenste einddiepte is bereikt. Bij meer plastische gronden zoals veen, leem en klei, is het instorten minder vanzelfsprekend. In figuur 5-6 is een boorgat voor een JLD-Dijkstabilisator in Purmerend zichtbaar, waarbij ook na het plaatsen van het LDE-vinelement het boorgat van de drijfstang nog herkenbaar is in de kleigrond.



Figuur 5-6: Boorgat met LDE-vinelement, zichtbaar is dat het gat van de drijfstang nog deels intact is (rode cirkel)

Uit literatuur⁵ blijkt dat de plasticiteit en het watergehalte van de grond van groot belang zijn voor de mate waarin vervorming op kan treden. Bij een hoog watergehalte zal ook een erosiebestendige klei (met een relatief hoge plasticiteit) gaan vervormen. Bij het inbrengen van een vinelement zal het boorgat dus eerder weer gevuld worden wanneer er een hoger watergehalte is.

Andere grondsoorten zoals veen en leem hebben een veel lagere plasticiteit. De samenhang binnen de grond is dus kleiner, waardoor een boorgat minder goed in stand blijft. Er is in literatuur echter geen onderzoek gevonden waarin is onderbouwd onder welke omstandigheden een boorgat weer (gedeeltelijk) instort.

⁵ Onder meer Nohl et al, Van oude NEN-5104 naar nieuwe NEN-EN-ISO 14688, 2011

Afdichten boringen en sonderingen

Wanneer in boringen en sonderingen een afdichting wordt toegepast, gebeurt dat meestal met bentoniet of mikolit. Bij boringen worden ter plaatse van de waterremmende lagen bentoniet korrels (zwellklei) of kleistaven aangebracht. Wanneer de bentoniet nat wordt, vormen deze een prop met een hoge weerstand. Wanneer bij sonderingen een afdichting noodzakelijk is, wordt de ruimte in de holle sondeerstangen gebruikt om vloeibare bentoniet in het sondeergat te brengen. De type afdichting dient bij brakke of zoute grondwater worden aangepast. Deze methode is waarschijnlijk het beste toepasbaar bij de JLD-Dijkstabilisator.

Afdichten van natuurlijke wellen

Er is literatuur beschikbaar betreffende het afdichten van natuurlijke wellen⁶, dit betreft onderzoek uitgevoerd door TNO in het beheergebied van Hoogheemraadschap van Rijnland. Dit onderzoek betrof natuurlijke wellen die in diepe polders ontstaan als gevolg van het opbarsten van slootbodems. Hoewel de diameter van uitstroombaten vaak slechts 1 tot 3 cm bedraagt, kan hierdoor toch een substantieel debiet stromen. Opgemerkt wordt dat het hier dus om slootbodems gaan die lokaal opbarsten, dus waarbij de stijghoogte hoog is ten opzichte van de neerwaartse druk van de slecht doorlatende laag. Deze situatie is in beginsel dus sterk afwijkend van de situatie waarbij de JLD-Dijkstabilisator wordt geplaatst.

Uit het betreffende onderzoek is gebleken dat het afdichten van de wellen kansrijk en effectief is. Voor de afdichting zijn twee methodes getoetst: injectie van uithardende of expanderende vloeistoffen (expanderende polyethaan, uithardende gels, bentoniet/Dammer) en biosealing. Biosealing is een proces waarbij bacteriën worden gestimuleerd die chemische, biologische en mechanische processen in gang zetten die voor verstopping van de wel zorgen. Hierbij moeten de juiste biotische en abiotische omstandigheden worden gecreëerd om succes te garanderen.

Voor toepassing bij de JLD-Dijkstabilisator kan uit dit onderzoek worden geconcludeerd dat, naast bentoniet, ook andere materialen toepasbaar zijn om de kwel te reduceren. Hierbij wordt verwacht dat uithardende en expanderende vloeistoffen eenvoudiger toepasbaar zullen zijn dan biosealing.

5.4 Maatregelen achteraf

Zoals hiervoor al is toegelicht, zijn piping en heave bij de toepassing van JLD-Dijkstabilisatoren uit te sluiten. Een eventuele kwel betreft dus uitsluitend wateroverlast. Wanneer uit onderzoek vooraf en tijdens uitvoering blijkt dat er geen ernstige wateroverlast verwacht zal worden, zijn maatregelen in beginsel niet noodzakelijk.

Echter, wanneer tijdens een extreme situatie blijkt dat er toch overlast door omwonenden wordt ervaren, is het ook nog mogelijk om achteraf maatregelen te treffen. Deze maatregelen betreffen bijvoorbeeld het opvangen van kwelwater nabij de JLD-Dijkstabilisatoren waar ongewenst grote hoeveelheden water uittreden. Dit kan bijvoorbeeld door iets lager in het talud een drain te plaatsen die het kwelwater opvangt en afvoert naar een kwelsloot. Voorwaarden zijn dan dat de vernatting van het talud tussen de JLD-Dijkstabilisator en de drain geen probleem vormt en het kwelvolume klein is ten opzichte van de maalcapaciteit van de polder.

Ook het achteraf aanbrengen van een afdichting middels injectie zoals in de vorige paragraaf beschreven, is een mogelijkheid, maar wordt gezien de complexiteit niet aanbevolen.

⁶ TNO, Achtergrondstudie kwelreductietechnieken, 2007

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Algemeen

Deze rapportage betreft twee onderzoeksvragen in het kader van de doorontwikkeling van de JLD-Dijkstabilisator. Dit betreft onderzoeksvraag 7 en 11.

- Onderzoeksvraag 7: Pipingrisico langs het anker (door het inbrengen van het anker met de voorloper) in andere dan zuiver kleiige gronden.
- Onderzoeksvraag 11: Aanwezige wateroverspanning in relatie tot pipingrisico en uitvoerbaarheid.

Deze onderzoeksvragen zijn beantwoord in vier fases. De eerste fase legt de basis qua definities en geeft kaders aan de uitgevoerde monitoring bij veldproeven. De tweede fase omvatte uiteenlopend bureauonderzoek. Hierin is geanalyseerd wat de impact van de JLD-Dijkstabilisator is op de mechanismes piping en kwel. De derde fase ging in op de resultaten van de in situ proeven. De vierde fase betreft een advies over de te hanteren ontwerpwijze omtrent piping en kwel.

6.2 Definities

In dit onderzoek zijn de belangrijkste definities die voor piping en heave gelden gedefinieerd.

Piping

Piping is het verschijnsel dat onder een waterkering een holle (pijpvormige) ruimte ontstaat, doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt. Om het risico op piping te controleren bestaat de eenvoudige toets zoals benoemd in het WBI2017, maar ook in leidraad toetsen regionale keringen 2015. Hieruit volgt dat piping alleen een risico is wanneer aan alle onderstaande punten wordt voldaan:

- 1) Er is geen sprake van een zanddijk op een zandondergrond; in deze situatie kunnen er namelijk geen kanaaltjes ontstaan.
- 2) Er is sprake van een intredepunt. Het buitenwater staat in contact met een watervoerend pakket.
- 3) Er is sprake van een uitredepunt. Het watervoerend pakket staat in verbinding met het achterland, eventueel door het optreden van opbarsten.
- 4) Er treedt heave op; de wateroverdruk is dusdanig dat de zandkorrels vanuit het pakket naar boven worden getransporteerd.
- 5) De stroomsnelheid is dusdanig dat er terugschrijdende erosie plaats vindt.

In hoofdstuk 2 en 3 van dit rapport is dieper op de definities en criteria ingegaan.

Kwel

Kwel betreft een verticale stroming van grondwater naar boven als gevolg van de kweldruk, waarbij uitstroming van grondwater aan maaiveld, in een sloot of in een bouwput optreedt. De stijghoogte ligt hierbij dus hoger dan het maaiveld, het waterpeil van de sloot of de bodem van de bouwput. Het uit treden van te veel kwelwater is niet wenselijk.

6.3 Effect van de JLD-Dijkstabilisator op piping en kwel

In de vorige paragraaf is beschreven welke aspecten moeten optreden voordat piping en kwel op treden. Er is één aspect dat mogelijk wordt beïnvloed door de JLD-Dijkstabilisator, dat is de aanwezigheid van een uittredepunt. Bij het aanbrengen van de JLD-Dijkstabilisator wordt het klapanker met een drijfstang op de juiste diepte geplaatst. Door het terugtrekken van de drijfstang ontstaat een kleine holle ruimte van die gedeeltelijk weer dicht gaat zitten door lokale instortingen. Het aanbrengen van het LDE over de trekstang zorgt er voor dat de holle ruimte grotendeels wordt opgevuld door grondverdringing. Op voorhand kan nog niet worden uitgesloten dat er een klein kanaaltje open blijft staan. Daarom vormt de mogelijke aanwezigheid van een uittredepunt de focus voor het praktijkonderzoek.

6.4 Praktijkproeven

Op 27 juni 2018 zijn verschillende JLD-Dijkstabilisatoren geplaatst. Hierbij is ook specifiek op het optreden van uittredend water gelet. De volgende waarnemingen zijn gedaan:

- Plaatsen anker
Bij het plaatsen van een klapanker is een holte aanwezig als gevolg van de drijfstang die het anker op diepte brengt en daarna weer wordt teruggetrokken. Uit de meting bij meetpunt 20 bleek geen kwel vanuit het watervoerende pakket voor te komen.
- Plaatsen anker met LDE
Bij locatie 11, 12 en 13 is middels infrarood beoordeeld of er sprake was van kwel. Bij punt 12 en 13 is nihil kwel waargenomen. Bij punt 11 is lichte kwel waargenomen. Deze zorgde in de infraroodbeelden voor een verkleuring. Het kweldebiet was dermate laag dat deze niet is gemeten of dat men deze visueel heeft kunnen vaststellen. Dit kweldebiet is lager dan 0,1 l/dag.

Ten behoeve van het theoretisch onderzoek is een extreem hoge grondwaterstand gesimuleerd (circa 1,5 meter hoger dan daadwerkelijk gemeten). Geconcludeerd wordt dat er, tijdens de plaatsing van de JLD-Dijkstabilisatoren, zelfs bij een theoretisch extreem hoge stijghoogte mogelijk slechts enkele honderden liters kwelwater per dag kan uittreden. Dit volume blijft ruimschoots onder de grens voor een overslagbestendige dijk van 0,1 l/s (dit komt overeen met 8640 l/dag). Dit kan hoogstens tot enige overlast leiden. Wanneer het kwelwater adequaat kan worden opgevangen en afgevoerd, zal er nauwelijks overlast zijn. Het te verwachten debiet blijft ruimschoots onder de grens van die voor een overslagbestendige dijk geldt.

Na het plaatsen van het LDE-element wordt verwacht dat het resterende gat, waardoor kwel op kan treden, sterk zal zijn samengedrukt. Hierdoor wordt de kwel gereduceerd tot hooguit enkele liters kwelwater per dag. Deze hoeveelheid is verwaarloosbaar klein. Tot slot wordt de grond in de bovenste lagen door het aandrukken van de kopplaat samengedrukt. Er wordt geconstateerd dat kwel en daarmee ook piping en heave niet tot onacceptabele situaties zal leiden, zowel tijdens uitvoering als in de definitieve situatie.

In 2018/2019 zijn in de ringdijk te watergraafsmeer circa 600 stabilisatoren geplaatst. Uit visuele waarnemingen na 2 en 4 jaar volgt eveneens dat er geen kwelstroom waarneembaar is.

- Tijdens het naspannen is elke pot gecontroleerd op uitstroom van water. Bij geen van de potten is waargenomen.
- In sommige potten is een klein laagje water aanwezig. Dit wordt verklaard door de invloed van neerslag op de freatische grondwaterstand. Grondwater kan (wanneer de

druksensor net volledig aansluit op de kopplaat) via een kleine opening tussen de druksensor en de kopplaat naar binnen sijpelen; eenmaal in de pot kan het water niet weglopen.

- In de dagelijkse praktijk is er geen sprake van wateroverlast; Waternet heeft geen meldingen gehad van omwonenden of beheerders dat de dijk natter is dan ervoor. Hieruit wordt geconcludeerd dat er in de Watergraafsmeer geen extra kwel is ontstaan.

6.5 Ontwerpcontrole

Op basis van de praktijkproeven is het aannemelijk dat er geen piping op zal treden langs de JLD-Dijkstabilisator. Er is in de proef in Purmerend één keer enig uittredend water waargenomen en daarom kan kwel en piping nog niet op voorhand worden uitgesloten. Daartoe is een toetsspoor opgesteld om aantoonbaar te maken dat piping door toedoen van de JLD-Dijkstabilisator geen risico vormt voor de waterveiligheid. Dit toetsspoor is al opgenomen in de vigerende leidraad 'POV-M Publicatie Vernagelingstechnieken' (POV-M, 2018).

Om het ontwerp van de JLD-Dijkstabilisator te controleren op het risico op piping kan het standaard schema gevolgd worden met enkele kleine aanpassingen.

- 1) Controle van de opbouw van de dijk, is er sprake van een zandlaag die wordt afgesloten door een cohesieve laag?
- 2) Is er contact tussen het buitenwater en de watervoerende laag?
- 3) Er is sprake van een uittredepunt
 - a. ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator?
 - b. Ter plaatse van het achterland/teensloot
- 4) Controle op heave doormiddel van de formule: $0 > \Delta\phi - 0,3D$
 - a. Ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator, met de bovenkant van het LDE als uittredepunt.
 - b. Ter plaatse van de teensloot of het achterland.
- 5) Controle van terugschrijdende erosie doormiddel van de formule van Sellmeijer.

6.6 Maatregelen

De beheersmaatregelen richten zich op het uitsluiten van uittredend water ter plaatse van de JLD-Dijkstabilisator. Aangezien er geen risico's op piping of heave bij de JLD-Dijkstabilisator zullen zijn, richten maatregelen zich op het voorkomen van eventuele wateroverlast door kwel. Maatregelen betreffen onderzoek vooraf, metingen en eventuele maatregelen tijdens de uitvoering (zoals opvullen van holtes met zwelklei).

6.6.1 Voorbereidingsfase

Er geldt de volgende werkwijze vooraf:

- Onderzoek naar de stijghoogte
Dit omvat of peilbuismetingen in de watervoerende laag specifiek in het kader van de dijk. Of er kan op basis van conservatieve uitgangspunten negatieve invloed van een hoge stijghoogte op voorhand worden uitgesloten.
- Plaatsen JLD-Dijkstabilisator bij beperkte stijghoogten.
Bij een beperkte stijghoogte, lager dan het aanlegniveau van de kopplaat, is er geen sprake van wateroverlast tijdens de uitvoering. Daarnaast geeft dit de mogelijkheid aan de bodem om na aanleg tot rust te komen.

Maatregelen die niet zijn voorzien, maar in extreme gevallen toegepast kunnen worden, zijn:

- Boren vanaf een verhoging
- Ankers door een vooraf ingebracht kleirop aanbrengen
- Stijghoogte verlagen tijdens de werkzaamheden door grondwateronttrekking.

6.6.2 Uitvoeringsfase

Het optreden van kwel tijdens de uitvoering kan visueel of middels temperatuurmetingen in beeld worden gebracht. Deze informatie kan een extra verificatie van de onderzoeksresultaten voorafgaand aan plaatsing zijn.

Het optreden van kwel zal normaal gesproken al beperkt worden doordat het boorgat van nature in stort en/of door het plaatsen van het LDE dicht wordt gedrukt. Mocht de verwachting bestaan dat de afdichting onvoldoende is om wateroverlast te voorkomen, dan zal tijdens het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisator een afdichting aangebracht moeten worden. Dit kan bentoniet of mikoliet zijn, of een andere uithardende of expanderende vloeistof (expanderende polyethaan, uithardende gels).

Bijlage 1 Thermisch infrarood metingen

Bijlage 1 Thermisch infrarood metingen

Bij de uitvoering van de proeven in Purmerend zijn tevens infraroodmetingen uitgevoerd. De uitgevoerde proeven en resultaten zijn toegelicht in het rapport Infraroodmetingen voorspanproeven JLD-Dijkstabilisator te Purmerend (Wiertsema & Partners, VN-71419-1, 13 juli 2018).



Opstelling infraroodcamera

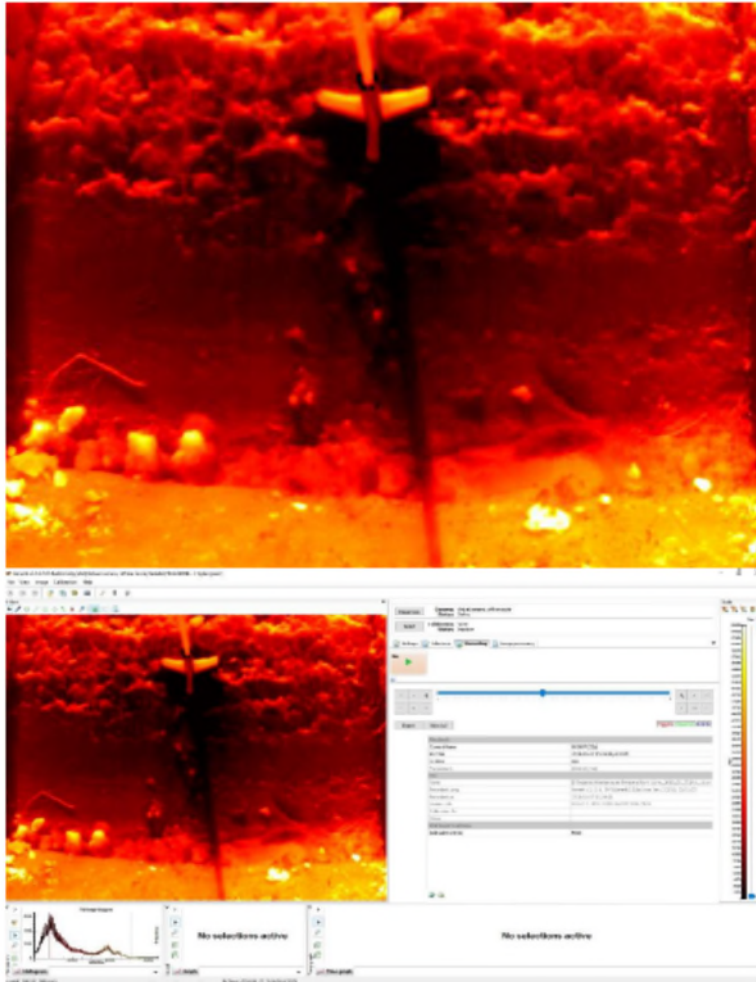
Voor JLD11 zijn de waarnemingen en interpretatie gedaan zoals toegelicht op de volgende pagina's.

Bij JLD12 en JLD13 is geen wateruitvloeï geconstateerd.

Punt 11:

Op deze locatie is reeds een punt ingezet. Deze vertoont enig teken van lichte lekkage.

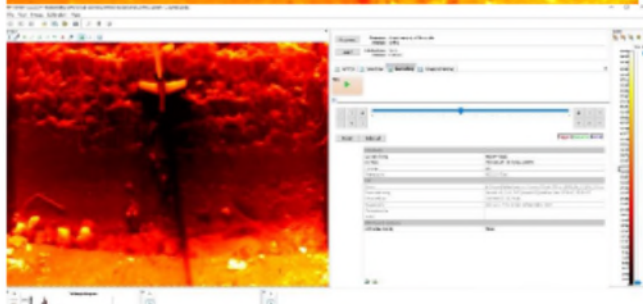
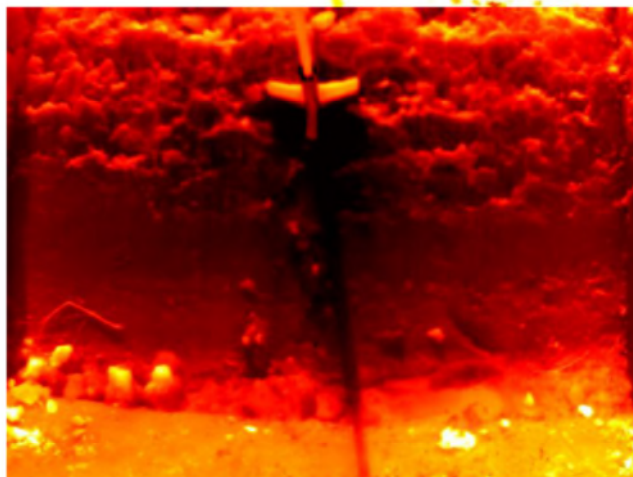
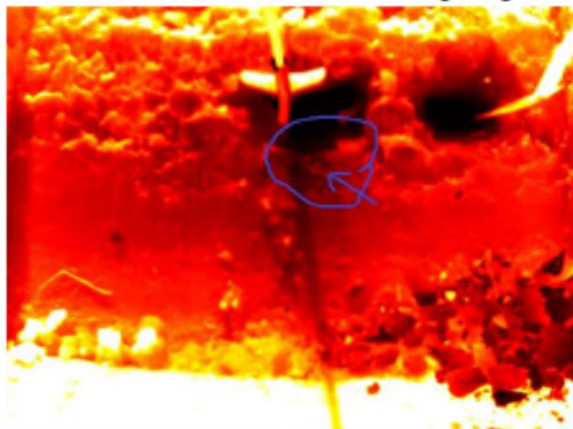
Dit is bij de eerste meting zonder uitgraven niet zichtbaar, daar de watertemperatuur bij uitstroom reeds behoorlijk leek opgewarmd.



Punt 11:

Tweede meting na uitsteken van grond rondom punt.

Daarnaast is er ook een testput naast gegraven op dezelfde hoogte om te kijken of het geen grondwater uitvloei betreft. De uitvloei van na deze uitgraving is als een donkere verkleuring zichtbaar.



Bijlage 2 Case studies

Bijlage 2 Case studies

Inleiding

Het piping risico langs de JLD-Dijkstabilisator is aanvullend beschouwd op basis van twee cases. Dit zijn de volgende cases:

- Drontermeerdijk
- Bergambacht

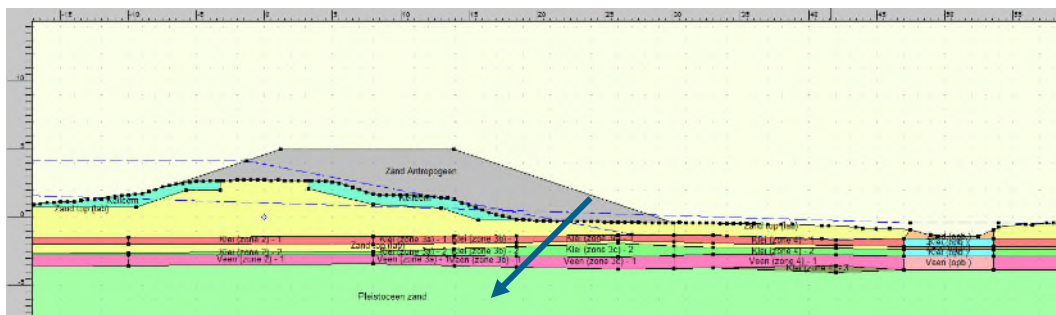
Bij de éne case, de Drontermeerdijk, is er in de huidige situatie een risico op piping. Bij de case Bergambacht is er een risico op heave.

Drontermeerdijk

De Drontermeerdijk ligt langs het Drontermeer. Deze wordt in het kader van het Reevediep en het verwijderen van de Roggebotsluis versterkt. Er is gekeken naar het versterkte dwarsprofiel bij dp2.300.

De dijk heeft de volgende kenmerken:

- Zanddijk op een slappe ondergrond.
- Teensloot die opbarst bij maatgevende omstandigheden
- Brede kruin in verband met de aanwezige provinciale weg.



Figuur B2.1: Drontermeerdijk, dp2.300

Op de specifieke locatie wordt niet de JLD-Dijkstabilisator toegepast om voldoende stabiliteit te behalen. Er wordt gewerkt met een veilig talud (1:3) om voldoende stabiliteit te behalen. Als de JLD-Dijkstabilisator toegepast zou worden, dan was dit op een hoogte van ca. 1/3 van het talud, dit is een hoogte van NAP +1,4 m. Daarnaast zou het mogelijk zijn om te werken met een steiler talud. Hier is gekeken naar een talud van 1:2.

Er is beschouwd in welke mate de JLD-Dijkstabilisator tot een piping risico kan leiden op deze locatie. Dit is gedaan voor alle 11 criteria.

Tabel B2.1: Beoordeling op piping risico toepassen JLD-Dijkstabilisator bij de Drongermeerdijk

Nr.	Criterium	Oordeel 1:3 talud	Oordeel 1:2 talud
1	Zanddijk op zand ondergrond	n.v.t.	n.v.t.
2	Intredepunt	aanwezig	aanwezig
3	Uittredepunt	aanwezig	aanwezig
4	Opbarsten uittredepunt	Teensloot barst op	Teensloot barst op
5	Heave uittredepunt	Heave in teensloot	Heave in teensloot
6	Piping risico	Dijk voldoende veilig zonder JLD-Dijkstabilisator	
7	Uittredepunt JLD	Stijghoogte te laag ^[1]	Stijghoogte te laag ^[1]
8	Heave JLD	Niet kritisch i.v.m punt 7	
9	Piping JLD		
10	Maatgevend tov falen dijk		
11	Ondiepe zandlaag		

[1] De JLD-Dijkstabilisator zou hier komen op een hoogte van NAP +1,4 m. De stijghoogte na opbarsten teensloot op deze locatie ligt op NAP +0,2 à +0,4 m. De stijghoogte is daarmee onvoldoende hoog om de JLD-Dijkstabilisator als uittredepunt te kunnen gebruiken.

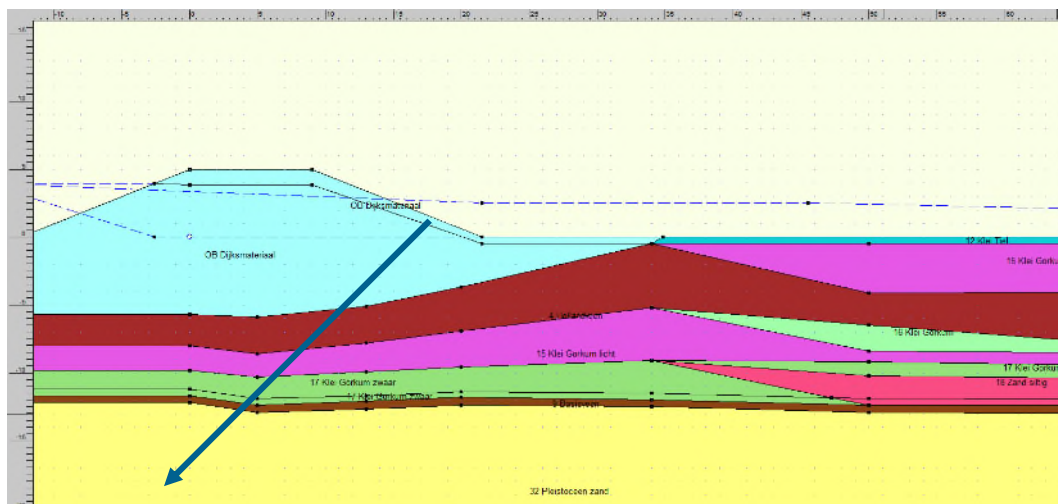
Geconstateerd wordt dat er geen piping of heave optreedt bij de JLD-Dijkstabilisator, omdat de teensloot een kritischer element is.

Bergambacht

Bergambacht betreft de dijk bij Bergambacht. Deze specifieke locatie is onder andere doorgerekend in het kader van het rekenvoorbeeld van Blaauwdruk EEM.

De dijk heeft de volgende kenmerken:

- Kleidijk op een slappe ondergrond.
- Opdrijf risico achterland bij maatgevende omstandigheden



Figuur B2.2: Dijk Bergambacht in het kader van het rekenvoorbeeld BEEM

Op de specifieke locatie is gerekend met meerdere JLD-Dijkstabilisatoren. Hier is aangehouden dat een rij wordt geplaatst op 1/3 van de hoogte van het talud (NAP +1,4 m). Daarnaast is ook een analyse gemaakt wanneer een rij JLD-Dijkstabilisatoren worden geplaatst op het talud, maar gelijk aan het maaiveld van het achterland (NAP +0,0 m).

Er is beschouwd in welke mate de JLD-Dijkstabilisator tot een piping risico kan leiden op deze locatie. Dit is gedaan voor alle 11 criteria.

Tabel B2.2: Beoordeling op piping risico toepassen JLD-Dijkstabilisator bij Bergambacht

Nr.	Criterium	Hoogte: NAP +1,4 m	Hoogte: NAP +0,0 m
1	Zanddijk op zand ondergrond	n.v.t.	n.v.t.
2	Intredepunt	aanwezig	aanwezig
3	Uittredepunt	aanwezig	aanwezig
4	Opbarsten uittredepunt	Achterland barst op	Achterland barst op
5	Heave uittredepunt	onbekend	
6	Piping risico	Dijk voldoende veilig zonder JLD-Dijkstabilisator	
7	Uittredepunt JLD	Ja H= NAP +2,6 m	Ja H= NAP +2,4 m
8	Heave JLD	$\Delta h = 1,2$ m 0,3 D = 4,14 $\Delta h - 0,3 D < 0$	$\Delta h = 2,4$ m 0,3 D = 3,72 $\Delta h - 0,3 D < 0$
9	Piping JLD	Niet kritisch i.v.m. punt 8	
10	Maatgevend tov falen dijk		
11	Ondiepe zandlaag		

Geconstateerd wordt dat er bij de JLD-Dijkstabilisator geen piping of heave optreedt, omdat het achterland een kritischer element is.

Conclusies

Er zijn twee situaties beschouwd waar in de oorspronkelijke situatie er al een risico op piping of heave is. Geconstateerd wordt dat het toepassen van de JLD-Dijkstabilisator niet tot risico's op piping of heave bij de JLD-Dijkstabilisator leidt, aangezien er een ander element is dat kritischer is voor piping of heave.

Bijlage 3 Metingen kwel bij interactieproeven

Bijlage 3 Metingen kwel bij interactieproeven

Eisen en wensen interactieproeven

Indien op de locatie Purmerend wordt besloten tot het uitvoeren van interactieproeven in relatie tot kwel, dan zijn onderstaande eisen en wensen relevant.

- Beproeven door een stabilisator te plaatsen in een venige ondergrond met een overdruk aan stijghoogte.
- Vooraf temperatuurmeting met sondeerconus (ter referentie van infraroodmetingen).
- Ondiepe peilbuis (in deklaag) binnen 25 m van de proeven.
- Diepe peilbuis (tot in het pleistoceen) binnen 25 m van de proeven.
- Beide peilbuizen inmeten t.o.v. NAP en voorzien van automatische drukopnemer (diver) die minimaal 1x per uur de waterdruk meet, zodat de freatische grondwaterstand en de stijghoogte t.o.v. NAP kunnen worden bepaald.
- Op basis van het literatuuronderzoek / systeemanalyse bepalen of monitoring van het verloop van waterspanning d.m.v. een raai peilbuizen wenselijk is en – voor zover nog geen geschikte peilbuizen aanwezig zijn – aanvullende peilbuizen plaatsen.
- Geroerde monsters van de pleistocene zandlaag (minimaal 2 m lengte).
Het verzamelen van deze grondmonsters kan bijvoorbeeld middels een puls boring die ook de diepe peilbuis zet. Deze grondmonsters minimaal 6 maanden bewaren. De monsters kunnen worden gebruikt om aan kwel en heave te relateren grondparameters te bepalen (korrelverdeling, doorlatendheid).
- Of bovenstaande monsters ook gebruikt worden voor proeven wordt in een later stadium bepaald.
- Tijdens de proeven moeten infrarood foto's gemaakt worden.
- Naast foto's ook visuele controle.
- Naast alle LDE's die beproefd worden, moeten ook "referentiemetingen" uitgevoerd worden. Daarbij wordt gedacht aan een LDE van 0,3 m lang die ook in de grond wordt gezet. Zo worden effecten van lokaal geen grasmatt, schaduw LDE, e.d. uitgesloten.
- Bij het plaatsen van de JLD-Dijkstabilisatoren moet een groepseffect worden voorkomen, zodat de resultaten niet verstoord worden.

Hoewel bij Broek in Waterland in principe geen kwel wordt verwacht, wordt aanbevolen om hier toch een beperkte test uit te voeren.

- In Broek in Waterland tevens een LDE tot in het zand inbrengen om ook kwel te kunnen krijgen.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Antea Group

Rivium Westlaan 72
2909 LD CAPELLE A/D IJSSEL
Postbus 8590
3009 AN ROTTERDAM

E. www.anteagroup.nl

JLD Contracting BV

Wieder 23
1648 GA DE GOORN
Postbus 144
1135 ZK EDAM

E. www.JLDcontracting.com

Copyright © 2018

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.