

NOTITIE

aan: Waterschap Brabantse Delta
t.a.v.: Jan-Willem Baaijens
van: Yoeri Jongerius
datum: 16 mei 2019
referentie: 1604719A06-N19-055
onderwerp: Toetsing invloed zwaaiikom op regionale kering

PO Box 5094
2600 GB Delft
The Netherlands
Elektronicaweg 2
2628 XG Delft
T +31 88 99 04 500

1. Inleiding

Ten behoeven van het project 'Aanpassen Waterhuishouding Waalwijk' wordt het Zuiderkanaal afgedamd. Om onderhoud uit te voeren aan de oevervoorzieningen maakt Waterschap Brabantse Delta (hierna: WSBD) gebruik van een kraanschip. Om ook in de toekomst onderhoud uit te kunnen voeren aan de westelijke zijde van de aan te leggen dam is een zwaaiikom vereist. De zwaaiikom wordt gerealiseerd door het kanaal lokaal te verbreden. In voorliggende notitie is onderzocht wat de invloed is van de lokale verbreding op de veiligheid van de regionale kering.

1.1 Beschrijving beoogde situatie

Om de zwaaiikom te realiseren wordt het kanaal over een lengte van 10 meter met 2 meter verbreed. De locatie van de lokale verbreding ten behoeven van de zwaaiikom is weergegeven in figuur 1. Doordat de zwaaiikom in de beschermingszone van de regionale waterkering is gelegen heeft deze mogelijk invloed op de veiligheid van de kering.

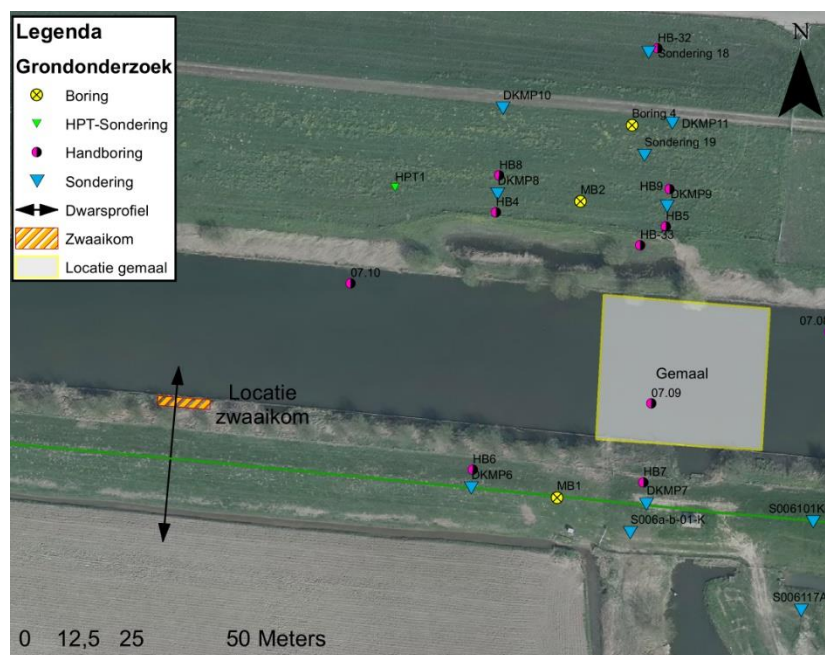
2. Aanpak en uitgangspunten

De lokale verbreding heeft invloed op het faalmechanisme piping (hierna: STPH) doordat de kwelweglengte wordt verkort. In paragraaf 3.1 is daarom de invloed van de zwaaiikom op het mechanisme piping getoetst. In paragraaf 3.2 is de invloed van de zwaaiikom op overige faalmechanismen kwalitatief

beschouwd. In de onderstaande paragrafen, zijn de uitgangspunten die voor de piping toetsing zijn gehanteerd, beschreven. In voorliggende notitie zijn ook twee mogelijke verbetermaatregelen getoetst. Het betreft het dempen van de teensloot en het aanbrengen van een kwelscherm.

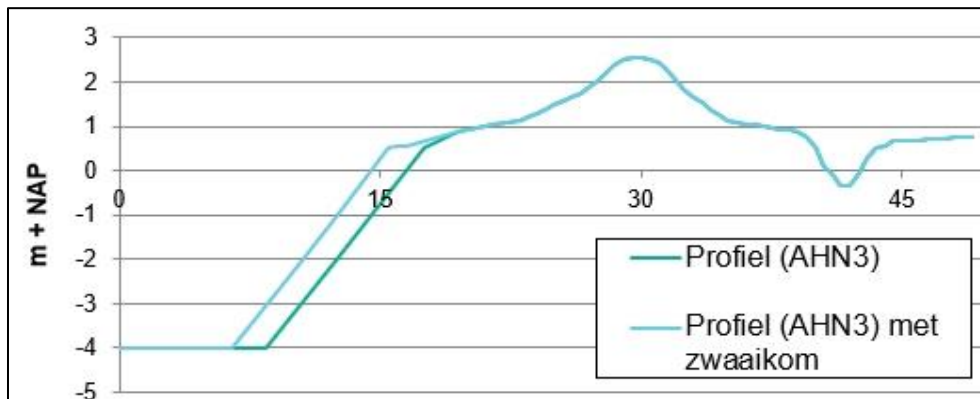
2.1 Geometrie

Op basis van het AHN-3 is een dwarsprofiel gegenereerd ter plaatse van de zwaaiikom. Voor de schematisatie van het onderwatertalud van het Zuiderkanaal en de teensloot is gebruik gemaakt van het profiel uit de voorgaande toetsing [Ref. 3]. Vervolgens is dit profiel met twee meter verbreed. Beide profielen zijn weergegeven in figuur 2.



figuur 1: locatie zwaaiikom, grondonderzoek en dwarsprofiel

Datum: 16 mei 2019
Referentienummer: 1604719A06-N19-055



figuur 2: dwarsprofielen

2.2 Bodemopbouw en grondonderzoek

Voor de aanleg van de dam in het Zuiderkanaal en het nieuwe gemaal is in 2018 grondonderzoek uitgevoerd. Het grondonderzoek nabij de zwaaiikom (op een afstand van circa 60 m) is gebruikt voor het opstellen van een ondergrondschematisatie. In tabel 1 is de ondergrondschematisatie weergegeven.

tabel 1: geschematiseerde bodemopbouw op basis van nieuw grondonderzoek uit 2018. [Ref. 4]

Grondsoort	Bovenkant [NAP+m]	Dikte [m]	Onderzoek
Klei, zandig	3,00	2,00	HB6, MB1
Klei, siltig	1,00	2,40	HB6, MB1
Veen, mineraalarm	-1,40	0,60	DKMP6
Zand	-2,00	0,60	DKMP6

2.3 Hydraulische randvoorwaarden

De analyse is uitgevoerd met het toetspeil uit de voorgaande toetsing [Ref. 3]. Het toetspeil bedraagt NAP +1,55 m. Voor de waterstand binnendijs is de bodemhoogte van de teensloot (NAP -0,32 m) gehanteerd. Het toekomstig polderpeil (NAP -0,70 m) is namelijk lager dan het niveau van de slootbodem. Voor de toetsing van de mogelijke verbetermaatregelen is het ontwerppeil (NAP +1,98 m) gehanteerd [Ref. 5].

2.4 Parameters Sellmeijer analyse

Voor de toetsing van de regionale waterkering ten aanzien van STPH zijn parameters benodigd voor: de doorlatendheid, de dikte en de d70 van het watervoerende pakket. Hiervoor zijn parameterwaardes ontleend uit [Ref. 2]. De waarden zijn weergegeven in tabel 2. Een schematiseringsfactor van 1,0 is daarnaast toegepast omdat er grondonderzoek beschikbaar is relatief dichtbij de zwaaiikom. En daaruit volgt een conservatieve ondergrond (dunne deklaag en een groot watervoerend pakket) ten aanzien van piping.

Datum: 16 mei 2019
Referentienummer: 1604719A06-N19-055

tabel 2: parameters (karakteristieke waarden) benodigd voor piping analyse [Ref. 2]

Parameter	Eenheid	Omschrijving	Waarde
k	[m/d]	Specifieke doorlatendheid watervoerend pakket	40
d70	[µm]	70 percentielwaarde van de korrelverdeling	174
D	[m]	Dikte van het watervoerende pakket	28,5

2.5 Toetsing methode Lane

Toetsing van piping met een kwelscherm in het profiel is gedaan met de rekenregel van Lane. De rekenregel van Lane [Ref. 6] is als volgt:

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

Hierin is ΔH het verval over de (grond)constructie, ΔH_c is het kritieke verval, L_h is de lengte van de horizontale delen van de kwelweg, L_v is de lengte van de verticale delen van de kwelweg en $C_{w,creep}$ is de gewogen creep-factor.

Voor de gewogen creep-factor is de waarde van 7 gehanteerd. Deze waarde correspondeert met een ondergrond van matig fijn zand, waarin de pipe kan ontstaan. Dit is een conservatieve aanname.

3. Analyse faalmechanismen

In onderstaande paragrafen is de veiligheid van de regionale waterkering beschouwd. Voor piping zijn ook twee verbetermaatregelen getoetst. In berekening 3 is het dempen van de teensloot getoetst. De afvoer van de teensloot wordt dan mogelijk gemaakt door het toepassen van een duiker. In berekening 4 is het toepassen van een kwelscherm getoetst. Hieruit volgt een indicatieve benodigde scherm lengte om de waterveiligheid te borgen.

3.1 Piping

In de voorgaande toetsing is de regionale waterkering goedgekeurd met de methode Bligh [Ref. 3]. Met de introductie van de nieuwe leidraad in 2015 (LTVRW [Ref. 1]) is deze methode echter niet meer vigerend. Daarom is voor berekeningen 1 t/m 3 een Sellmeijer toetsing uitgevoerd conform de LTVRW [Ref. 1]. De deelmechanismen opbarsten en heave zijn niet beschouwd omdat goedkeuren op basis van deze mechanismen niet kansrijk is. Voor berekening 4 is de methode van Lane gehanteerd.

De resultaten van de toetsing van piping (STPH) zijn weergegeven in tabel 3. De resultaten van de piping berekeningen zijn bijgevoegd in bijlage 1.

tabel 3: resultaten STPH

Berekening	Beschrijving	Model	Eis S.F.	S.F.	Oordeel	Tekort aan kwelweg [m]
1	Profiel zonder zwaairom	Sellmeijer	1,20	1,10	Onvoldoende	4
2	Profiel met zwaairom			1,04	Onvoldoende	6
3	Profiel met zwaairom en gedempte teensloot			1,27	Voldoende	0

Datum: 16 mei 2019
Referentienummer: 1604719A06-N19-055

4	Profiel met zwaairom en kwelscherm (tot NAP -4,50 m)	Lane	1,00	1,02	Voldoende	0
---	--	------	------	------	-----------	---

3.2 Overige faalmechanismen

Het realiseren van de zwaairom heeft mogelijk ook invloed op de buitenwaartse stabiliteit (hierna: STBU). Echter is de lengte van de verbreding (circa 10 m) kort in relatie tot de lengte van een eventuele afschuiving (30 tot 50 m). Door dit effect (boogwerking) zal de zwaairom geen negatieve invloed tot gevolg hebben ten aanzien van STBU. Daarbij wordt nog opgemerkt dat de berekende veiligheidsfactor voor STBU in de voorgaande toetsing ruim voldoende was [Ref. 3]. De berekende S.F. waarde bedraagt 1,55 terwijl de benodigde S.F. waarde 1,08 is.

Overige faalmechanismen worden niet beïnvloed door de realisatie van de zwaairom.

4 Conclusie

In voorliggende notitie is het faalmechanisme piping beoordeeld met de methode Sellmeijer en Lane. Hieruit volgt dat het huidige profiel (zonder zwaairom) niet voldoet aan de benodigde veiligheidsfactor. De lokale verbreding heeft een negatieve invloed op het piping mechanisme. Hiermee is de beoogde aanpassing van het Zuiderkanaal niet toelaatbaar vanuit het oogpunt waterveiligheid.

Uit berekening 3 volgt dat een mogelijke verbetermaatregel is om de teensloot over een lengte van circa 50¹ m te dempen. De sloot kan mogelijk gedempt worden door middel van een duiker om zo de functie van de watergang te handhaven.

Uit berekening 4 volgt dat een scherm tot NAP -4,50 m over een lengte van 50 m benodigd is wanneer een kwelscherm als verbetermaatregel wordt geselecteerd. In een vervolgfase van het ontwerp dient dan de locatie en het profiel van het kwelscherm nader bepaald te worden. Hierbij dienen tevens uitvoeringsaspecten in beschouwing genomen te worden.

5 Referenties

- [Ref. 1] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen ('blauwe versie'), STOWA 2015.
- [Ref. 2] Gevoeligheidsanalyse peilverlaging primaire waterkering, Gemeente Waalwijk, Arcadis, 2018
- [Ref. 3] Veiligheidstoetsing regionale waterkeringen in het beheergebied van Waterschap Brabantse Delta, 319487, Grontmij, 2012
- [Ref. 4] Geotechnisch onderzoek, onderzoek ten behoeve van project Waterhuishouding Waalwijk, 1218-0031-130, Fugro, 2018
- [Ref. 5] Veiligheidsanalyse Waterkeringen, Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk, 1604719A06-R19-100 v2.0, 15 mei 2019
- [Ref. 6] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, 1202123-003-GEO-0002, Rijkswaterstaat, Maart 2012

¹ Een grotere lengte dan de zwaairom is benodigd doordat piping een faalmechanisme is dat ook niet loodrecht ten opzichte van de waterkering kan optreden.

Bijlage 1

Piping berekeningen

Pipingberekening (Sellmeijer)

Project	Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk
Projectnummer	1604719A06
Kadevak	Kadevak t.p.v. zwaaiikom
Maatgevend dwarsprofiel	profiel AHN3 zonder zwaaiikom
Maatgevend grondonderzoek	GO uit 2018 (DKMP-6)

Invoerparameters

Toetspeil		1,55	[m t.o.v. NAP]	
Polderpeil		-0,32	[m t.o.v. NAP]	bodemhoogte
Laagdikte zandpakket	D_1	28,50	[m]	o.b.v. [Ref. 2]
Doorlatendheid zand	k_1	4,63E-04	[m/s]	40 m/d o.b.v. [Ref. 2]
D70 Korrelverdeling	d_{70}	1,74E-04	[m]	174 μ m o.b.v. [Ref. 2]
Aanwezige kwelweglengte	L	31	[m]	o.b.v. profiel AHN3
Dikte deklaag	d	1,68	[m]	o.b.v. DKMP-6
Schematiseringsfactor	y b	1		

Vaste parameters

Volume gewicht zandkorrels onderwater	γ'_p	16	[kN/m ³]
Volume gewicht water	γ_w	9,81	[kN/m ³]
Coëfficiënt van White	η	0,25	[-]
Rol weerstandhoek zandkorrels	θ	37	[°]
Gem. D70 van het zand uit de proeven	d70m	2,08E-04	[m]

Berekende parameters

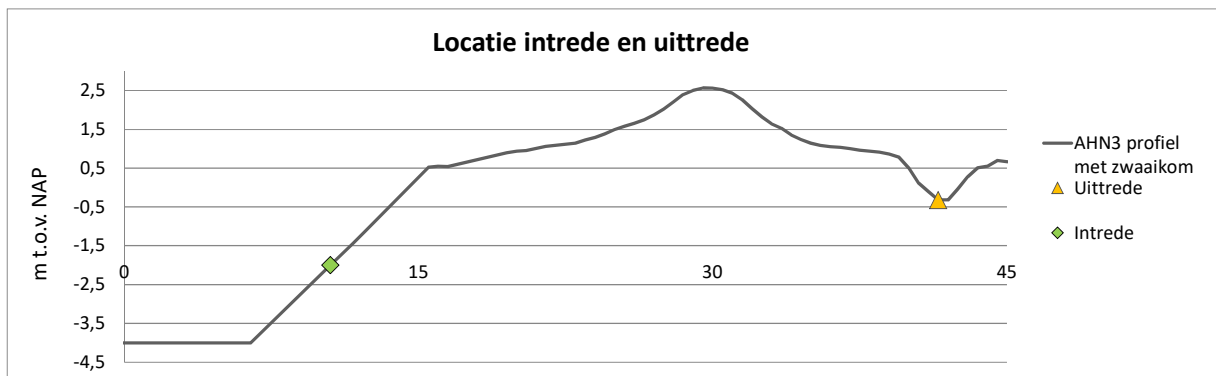
intrinsieke doorlatendheid	K	6,25E-11	[m ²]	$1,35 \cdot 10^{-7} \cdot k$
Aanwezig verval	ΔH	1,87	[m]	toetspeil - polderpeil
Gecorrigeerd verval	DH - 0,3d	1,37	[m]	
F1		0,31	[-]	
F2		0,16	[-]	
F3		1,01	[-]	
Kritiek verval	ΔH_c	1,50	[m]	

FoS: 1,10

Voldoet bij 1,20 IPO III & deklaag < 2 m

Resultaat piping: **Voldoet niet**

Tekort aan kwelweg: 4 [m]



Pipingberekening (Sellmeijer)

Project	Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk
Projectnummer	1604719A06
Kadevak	Kadevak t.p.v. zwaaiikom
Maatgevend dwarsprofiel	profiel AHN3 met zwaaiikom
Maatgevend grondonderzoek	GO uit 2018 (DKMP-6)

Invoerparameters

Toetspeil		1,55	[m t.o.v. NAP]	
Polderpeil		-0,32	[m t.o.v. NAP]	bodemhoogte
Laagdikte zandpakket	D_1	28,50	[m]	o.b.v. [Ref. 2]
Doorlatendheid zand	k_1	4,63E-04	[m/s]	40 m/d o.b.v. [Ref. 2]
D70 Korrelverdeling	d_{70}	1,74E-04	[m]	174 μ m o.b.v. [Ref. 2]
Aanwezige kwelweglengte	L	29	[m]	o.b.v. profiel AHN3
Dikte deklaag	d	1,68	[m]	o.b.v. DKMP-6
Schematiseringsfactor	y b	1		

Vaste parameters

Volume gewicht zandkorrels onderwater	γ'_p	16	[kN/m ³]
Volume gewicht water	γ_w	9,81	[kN/m ³]
Coëfficiënt van White	η	0,25	[-]
Rol weerstandhoek zandkorrels	θ	37	[°]
Gem. D70 van het zand uit de proeven	d70m	2,08E-04	[m]

Berekende parameters

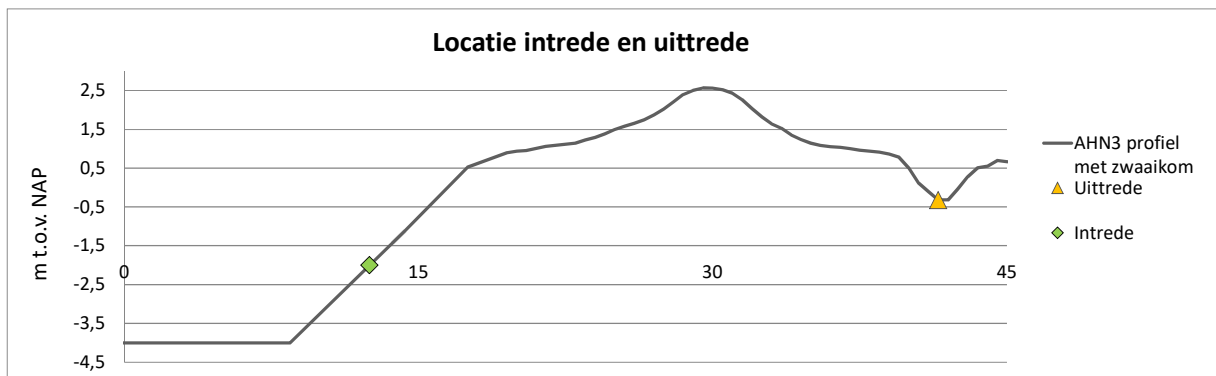
intrinsieke doorlatendheid	K	6,25E-11	[m ²]	1,35 * 10 ⁻⁷ * k
Aanwezig verval	ΔH	1,87	[m]	toetspeil - polderpeil
Gecorrigeerd verval	DH - 0,3d	1,37	[m]	
F1		0,31	[-]	
F2		0,16	[-]	
F3		1,01	[-]	
Kritiek verval	ΔH_c	1,43	[m]	

FoS: 1,04

Voldoet bij 1,20 IPO III & deklaag < 2 m

Resultaat piping: **Voldoet niet**

Tekort aan kwelweg: 6 [m]



Pipingberekening (Sellmeijer)

Project	Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk
Projectnummer	1604719A06
Kadevak	Kadevak t.p.v. zwaaiikom
Maatgevend dwarsprofiel	profiel AHN3 met zwaaiikom en slootdemping
Maatgevend grondonderzoek	GO uit 2018 (DKMP-6)

Invoerparameters

Toetspeil		1,98	[m t.o.v. NAP]	ontwerpspeil [Ref. 5]
Polderpeil		0,2	[m t.o.v. NAP]	bodemhoogte
Laagdikte zandpakket	D ₁	28,50	[m]	o.b.v. [Ref. 2]
Doorlatendheid zand	k ₁	4,63E-04	[m/s]	40 m/d o.b.v. [Ref. 2]
D70 Korrelverdeling	d ₇₀	1,74E-04	[m]	174 µm o.b.v. [Ref. 2]
Aanwezige kwelweglengte	L	29	[m]	o.b.v. profiel AHN3
Dikte deklaag	d	2,2	[m]	o.b.v. DKMP-6
Schematiseringsfactor	y b	1		

Vaste parameters

Volume gewicht zandkorrels onderwater	y' p	16	[kN/m^3]
Volume gewicht water	y w	9,81	[kN/m^3]
Coëfficiënt van White	η	0,25	[-]
Rol weerstandhoek zandkorrels	θ	37	[°]
Gem. D70 van het zand uit de proeven	d70m	2,08E-04	[m]

Berekende parameters

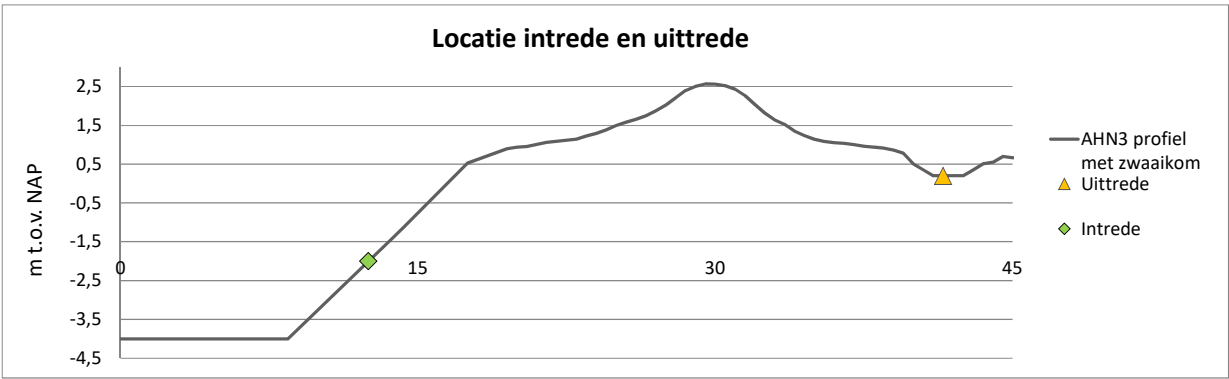
intrinsieke doorlatendheid	K	6,25E-11	[m^2]	1,35 * 10^-7 * k
Aanwezig verval	ΔH	1,78	[m]	toetspeil - polderpeil
Gecorrigeerd verval	DH - 0,3d	1,12	[m]	
F1		0,31	[-]	
F2		0,16	[-]	
F3		1,01	[-]	
Kritiek verval	ΔHc	1,43	[m]	

FoS: 1,27

Voldoet bij 1,20 IPO III & deklaag < 2 m

Resultaat piping: **Voldoet**

Tekort aan kwelweg: 0 [m]



Pipingberekening (Lane)

Project	Aanpassing Waterhuishouding Waalwijk
Projectnummer	1604719A06
Kadevak	Kadevak t.p.v. zwaaiikom
Maatgevend dwarsprofiel	profiel AHN3 met zwaaiikom en kwelscherm

Invoerparameters

Toetspeil		1,98	[m t.o.v. NAP]	ontwerppeil [Ref. 5]
Polderpeil		-0,32	[m t.o.v. NAP]	bodemhoogte
Kwelweglengte (horizontaal)	Lh	29	[m]	o.b.v. profiel AHN3
Kwelweglengte (verticaal)	Lv	6,68	[m]	verticale kwelweg o.b.v. scherm lengte, uittredepunt, hoogte watervoerend pakket
Creep factor	Cw	7	[m]	conservatieve aanname matig fijn zand

Berekende parameters

Aanwezig verval	ΔH	2,30	[m]	toetspeil - polderpeil
Kritiek verval	ΔH_c	2,34	[m]	

FoS: 1,02

Voldoet bij 1,00

Resultaat piping: Voldoet

Tekort aan kwelweg: 0 [m]

