Ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen Royal Haskoning DHV

Apeldoorns Kanaal

Klant:	Waterschap Vallei en Veluwe
Referentie:	CALF02
Projectnummer:	BE5115-100-100
Versie:	2/Definitief
Ontwerpniveau:	Veiligheidsanalyse
Datum:	25-10-2016
Dwarsprofiel:	44 Pand 5A
Auteur(s):	Tom de Wit
Gecontroleerd door:	Ilse Hergarden
Datum/Initialen:	

De volgende onderdelen zijn toegepast en onderdeel van deze bijlage:

Uitgangspunten	Ja
Waterspanningen (WS)	Ja
Piping (STPH) groen	Ja
Piping (STPH) constructie	Ja
Microstabiliteit (STMI)	Ja

Inputcel
Berekencel
Standaard waarde
Rekenresultaat

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Uitgangspunten

Voorliggende bijlage is een product van de ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen. Deze Excel sheet is gebaseerd op het Ontwerp Instrumentarium 2014 versie 3 (OI2014v3).

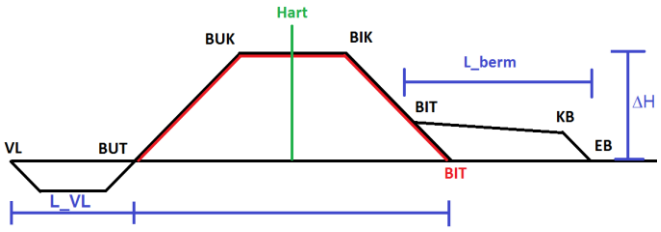
Algemene dijkring informatie

	Waarde	Eenheid	Bron
Normtraject	52-4	-	-
Traject lengte	4,5	km	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
Signaalkans	1:3000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
MTK	1:1000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)

Basisschematisatie

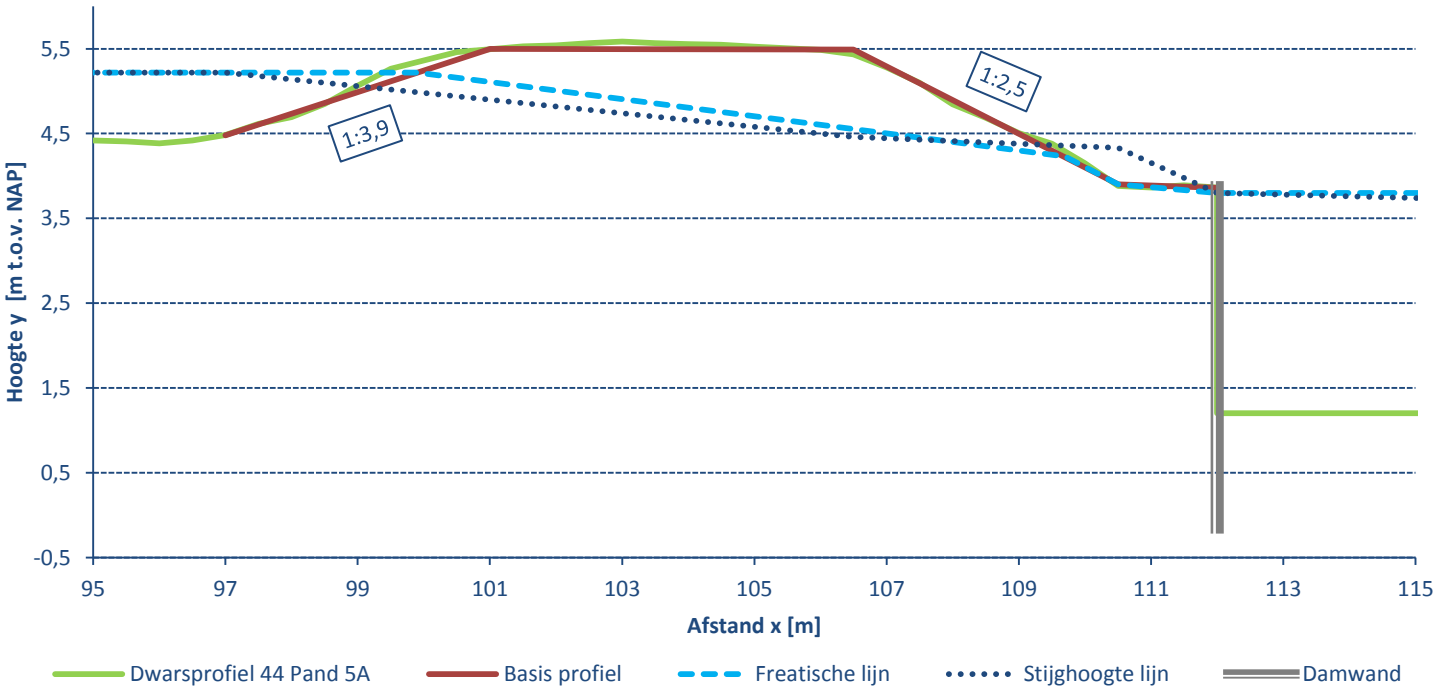
De geometrie van het dijklichaam zoals deze is meegenomen in de hierop volgende berekeningen

Dijklichaam	x	y	
Buitenteen	97	4,48	BUT
Buitenkruin	101	5,5	BUK
Hart	103,75	5,495	Hart
Binnenkruin	106,5	5,49	BIK
Binnenteen	110,5	3,9	BIT
Kruinberm	112	3,86	KB
Einde berm	112	3,86	EB



Damwand	x	y	
van	112	3,86	m NAP
tot	112	-0,14	m NAP

Freatische lijn (FL)	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,22	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
BIK;fr	#N/A	m NAP	*FL binnenkruin*	Conform waterspanningen bij dijken
BIT;fr	4,23	m NAP	*FL binnenteen*	Conform waterspanningen bij dijken
KB;fr	3,8	m NAP	*FL kruin van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
EB;fr	3,8	m NAP	*FL einde van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
GHW	3,14	m NAP	*Gem. jaarlijks hoogwater*	Waternormalen rijkswaterstaat



Stijghoogte

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
ϕ;VL	5,22	m NAP	*Stijghoogte start voorland*	Gelijk aan het maatgevend hoog water
ϕ;BUT	5,22	m NAP	*Stijghoogte buitenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIT	4,33	m NAP	*Stijghoogte binnenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;EB	3,8	m NAP	*Stijghoogte einde berm*	Waterspanningen bij dijken

Toegepast model waterspanningen: 3. Model B: Zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland

Verloop waterspanningen

Het verloop van de waterspanningen in de waterkering is bepaald aan de hand van Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (2004). De waterspanningen zijn berekend aan de hand van de maatgevend hoogste waterstand en de gemiddeld jaarlijks hoogste waterstand. Afhankelijk van de aanwezigheid van een voorland en/of achterland zijn voor 3 situaties de waterspanningen bepaald.

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

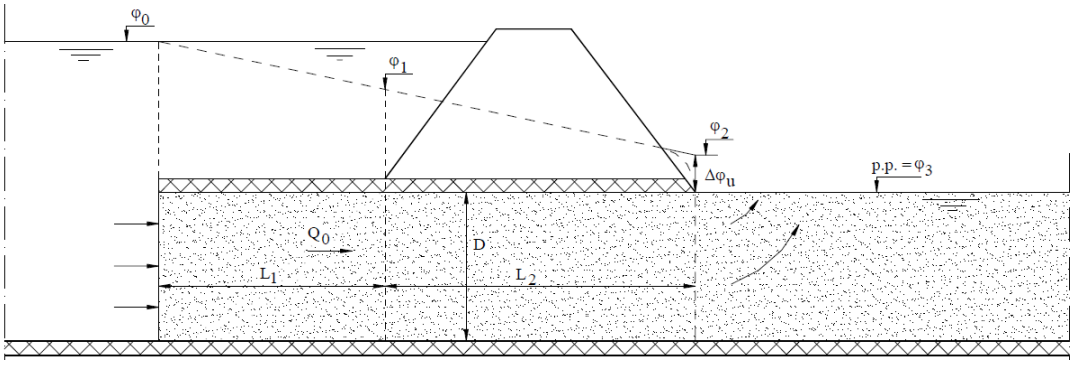
Input voor model 4B

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,22	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
EB;fr	3,8	m NAP	*Freatische lijn einde berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
φ;0	5,22	m NAP	*stijghoogte bij start voorland*	Gelijk aan MHW
φ;3	3,8	m NAP	*Polderpeil*	Gelijk aan EB;fr
L;1	0	m	*Lengte voorland*	Er is geen voorland aanwezig
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerendpakket*	Op basis van ervaring
L;2	15	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	-

Aanvullende input voor model 4A

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
k	2,01E-04	m/s	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	OP basis van korrelverdelingen
d;1	0	m	*Dikte deklaag voorland*	Niet aanwezig
k;v;1	0	m/dag	*Verticale doorlatendheid deklaag voorland*	Niet aanwezig
d;3	1	m	*Dikte deklaag achterland*	-
k;v;3	0,01	m/dag	*Verticale doorlatendheid achterland*	-
L;3	1,5	m	*Lengte achterland*	-

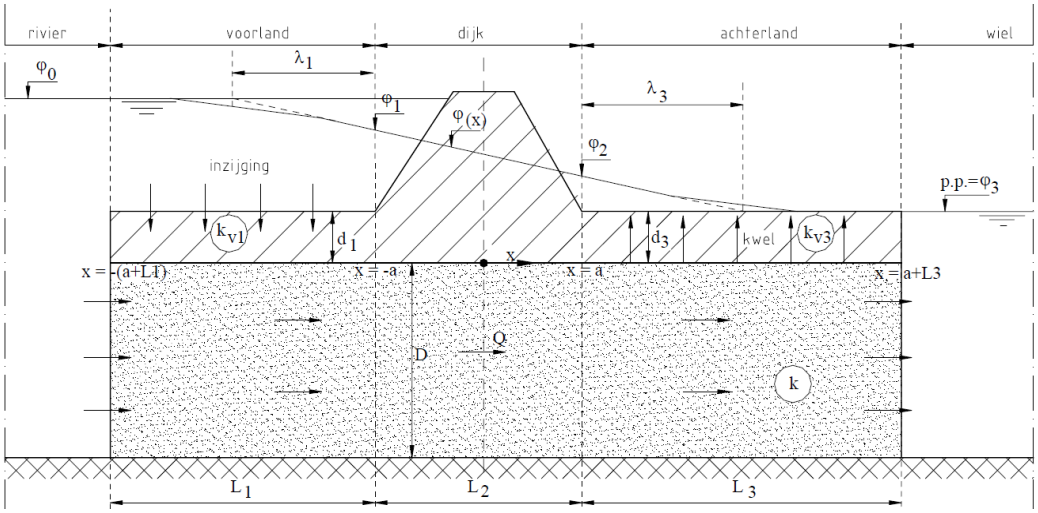
Berekening waterspanning model 4B (wel deklaag in voorland en geen deklaag in achterland)



Lineair verloop van de stijghoogte in de zandondergrond

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	L;1 m	L;2 m	D;wvp m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5,22	3,8	0	15	50	**5,22**	**4,86**	**4,64**
2	GHW	3,14	3,8	0	15	50	**3,14**	**3,31**	**3,41**
3	-	5,22	3,8	0	15	50	**5,22**	**4,86**	**4,64**
4	-	5,22	3,8	0	15	50	**5,22**	**4,86**	**4,64**
5	-	5,22	3,8	0	15	50	**5,22**	**4,86**	**4,64**
D	**Definitieve berekening**	5,22	3,8	0	15	50	**5,22**	**4,86**	**4,64**

Berekening waterspanning model 4A (kleidijk met deklaag in voorland en deklaag in achterland)



Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk

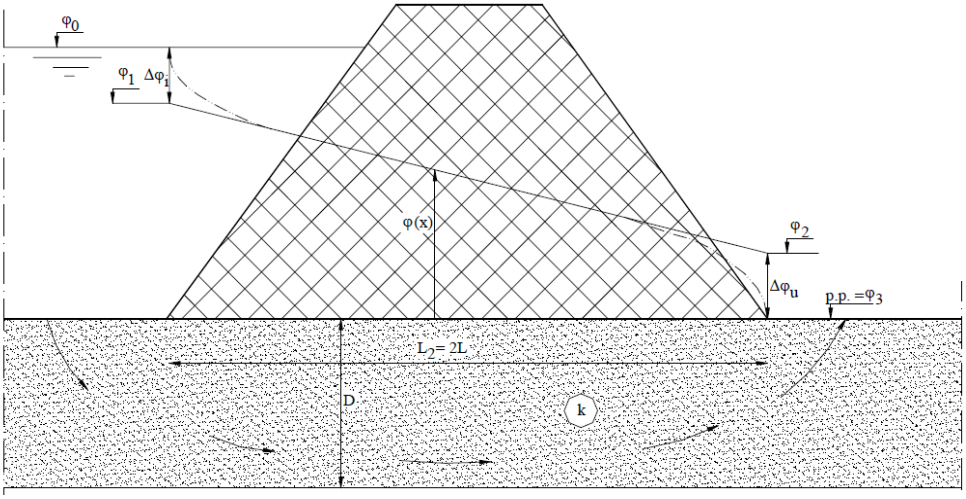
	Situatie	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	d;1 m	L;1 m	L;2 m	d;3 m	L;3 m
1	Basisschematisatie	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5
2	GHW	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5
3	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5
4	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5
5	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5
D	**Definitieve berekening**	2,01E-04	50	0,01005	0	0	15	1	1,5

Bepaling weerstand

	Situatie	c;1 s	λ;1 m	*voorland* W;1 m	*watervoerend pakket* W;2 m	c;3 s	λ;3 m	*achterland* W;3 m
1	Basisschematisatie	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2
2	GHW	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2
3	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2
4	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2
5	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2
D	**Definitieve berekening**	n.v.t.	n.v.t.	0,0	1492,5	100,0	1,00	90,2

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;1 m NAP	φ;2 m NAP	φ;3 m NAP	ϕ;BIK m NAP
1	Basisschematisatie	5,22	**5,22**	**3,88**	3,8	**4,53**
2	GHW	3,14	**3,14**	**3,76**	3,8	**3,46**
3	-	5,22	**5,22**	**3,88**	3,8	**4,53**
4	-	5,22	**5,22**	**3,88**	3,8	**4,53**
5	-	5,22	**5,22**	**3,88**	3,8	**4,53**
D	**Definitieve berekening**	5,22	**5,22**	**3,88**	3,8	**4,53**

Berekening waterspanning model 4B (kleidijk zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland)



Schematisering van een lineair stijghoogteverloop in de dijk

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	L;2 m
1	Basisschematisatie	5,22	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15
2	GHW	3,14	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15
3	-	5,22	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15
4	-	5,22	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15
5	-	5,22	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15
D	Definitieve berekening	5,22	3,8	2,01E-04	50	0,01005	15

	Situatie	W;t m	W;2 m	W;u m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5870,6	1492,5	2189,1	4,69	4,46	4,33
2	GHW	5870,6	1492,5	2189,1	3,39	3,49	3,55
3	-	5870,6	1492,5	2189,1	4,69	4,46	4,33
4	-	5870,6	1492,5	2189,1	4,69	4,46	4,33
5	-	5870,6	1492,5	2189,1	4,69	4,46	4,33
D	Definitieve berekening	5870,6	1492,5	2189,1	4,69	4,46	4,33

Opbarsten, heave en piping voor een groene kering (STPH)

Piping (onderloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten en heave niet relevant waardoor er direct een pipingberekening uitgevoerd kan worden.

Uitgangspunten

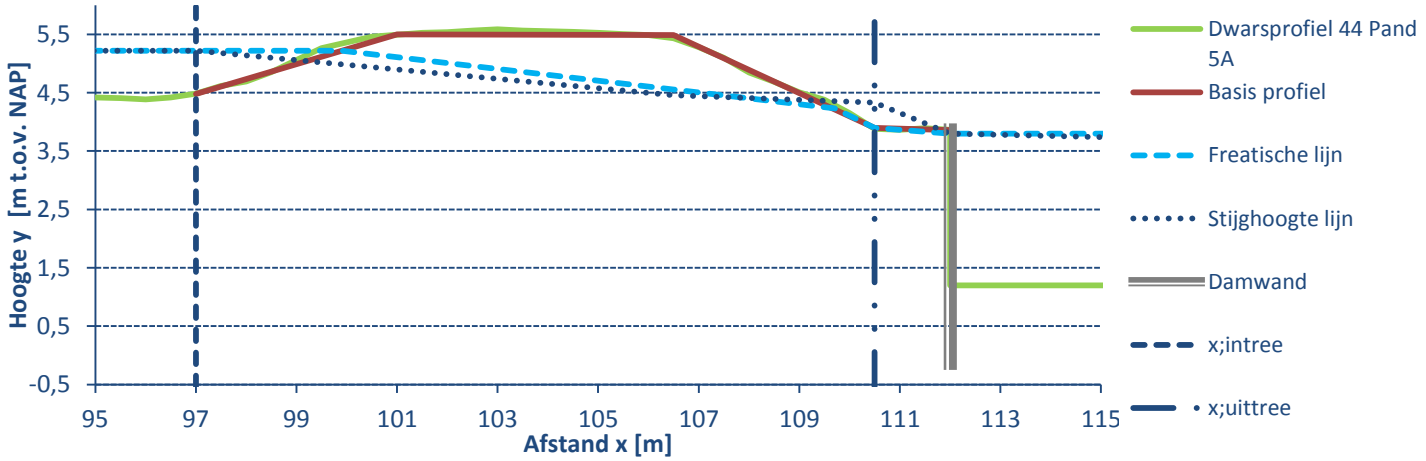
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;b	1,1	-	*Schematiseringsfactor, Sellmeijer*	GSD
γ;mp	1,2	-	*Schadefactor of sterktefactor, Sellmeijer*	GSD
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	97	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	110,5	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	3,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Kanaalpeil tijdens MHW
ϕ;BIT	4,33	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	4,6	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	ϕ;BIT+0,3 m (Opstuwing voorzijde damwand)
ΔH;aanwezig	1,42	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	MHW - h;p



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	zand	0,4	18,00
2	klei	0,6	17,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	1	17,40

Maatgevende boring/sondering: DKM14 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opbarsten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
OK deklaag	2,8	m NAP	*Onderkant van de deklaag*	Boring DKM14
ϕ;z;HHW	0	m NAP	*Stijgh. bij historisch hoogwater*	Gegevens niet aanwezig
ϕ;z;GHW	3,8	m NAP	*Stijgh. bij gemiddelde jaarlijks hoogwater*	Gelijk aan h;p GHW=2,9

Heave

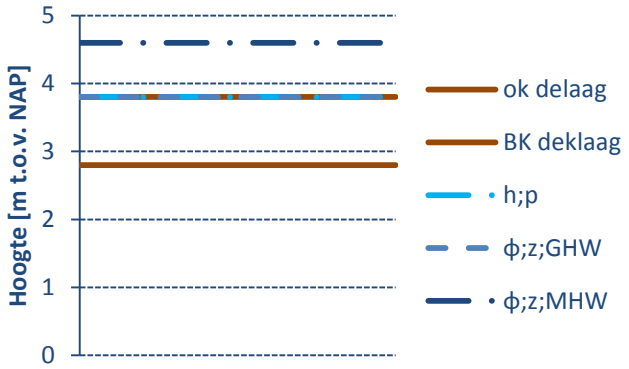
	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
ϕ;0	4,6	m NAP	*Stijghoogte onderkant deklaag*	is gelijk aan ϕ;z; MHW

Piping (formule van Sellmeijer)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	15	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	13,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
Θ	37	°	*Rolweerstandshoek van de zandkorrels*	ORZW 2012
η	0,25	-	*Coëfficiënt van White*	ORZW 2012
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerend pakket*	Op basis van ervaring
k	17,34	m/dag	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d70	304	µm	*70-percentielwaarde v/d korrelverdeling*	Op basis van korrelverdelingen
d70;m	208	µm	*Gemiddelde d70-waarde*	ORZW 2012
RD	n.v.t.	-	*De invloed van de relatieve dichtheid is in de toetsregel meegenomen*	
RD;m	n.v.t.	-	*in de modelonzekerheid (RD/RDm=1)*	
γ;p	16	kN/m3	*Volumegewicht zandkorrels onder water*	ORZW 2012
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Berekening op opbarsten

In naaststaande grafiek zijn de belangrijkste uitgangspunten van de berekening op opbarsten weergegeven. Deze bestaan uit de dikte van de deklaag en de bijbehorende stijghoogtelijnen onder verschillende omstandigheden. Ten aanzien van de stijghoogte lijnen geldt het volgende:
- De ϕ;z;HHW-lijn kan niet hoger zijn dan de ϕ;z;MHW-lijn
- de h;p-lijn kan niet lager zijn dan BK deklaag



Gronddruk

	Situatie	γ;G;std -	d m	γ;nat kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,9	1	17,40	6,66
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,9	1	17,40	6,66
3	Situatie 2	0,9	2,3	17,43	15,38
4	-	0,9	1	17,40	6,66
5	-	0,9	1	17,40	6,66
D	**Definitieve berekening**	0,9	1	17,40	6,66

Waterdruk

	Situatie	ϕ;z;GHW m NAP	h;p m NAP	ϕ;z;MHW m NAP	γ;Q;dst -	γ;G;dst -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
2	Zonder opstuwing stijgh.	3,8	3,8	4,33	1,5	1	7,95
3	Situatie 2	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
4	-	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
5	-	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
D	**Definitieve berekening**	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00

Toets op opbarsten

De waterdruk kan nooit hoger zijn dan het niveau van het maatgevend hoog water aan buitendijkse zijde (zie 'Waterdruk bij MHW'). Daarom is hierop een controle uitgevoerd.

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Waterdruk bij MHW kN/m3	Controle -	Gronddruk kN/m3	Unity check -	Toetsresultaat -
1	Basisschematisatie	12,00	14,20	Oké	6,66	1,80	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	7,95	14,20	Oké	6,66	1,19	Voldoet niet
3	Situatie 2	12,00	14,20	Oké	15,38	0,78	Voldoet
4	-	12,00	14,20	Oké	6,66	1,80	Voldoet niet
5	-	12,00	14,20	Oké	6,66	1,80	Voldoet niet
	Definitieve berekening	12,00	14,20	Oké	6,66	1,80	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op opbarsten. Daarom zal er een controle op heave uitgevoerd worden.

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	d m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4,6	3,8	0,8	1	0,80	0,50
2	Zonder opstuwing stijgh.	4,33	3,8	0,53	1	0,53	0,50
3	Situatie 2	4,6	3,8	0,8	2,3	0,35	0,50
4	-	4,6	3,8	0,8	1	0,80	0,50
5	-	4,6	3,8	0,8	1	0,80	0,50
D	**Definitieve berekening**	4,6	3,8	0,8	1	0,80	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,80	0,50	1,60	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,53	0,50	1,06	Voldoet niet
3	Situatie 2	0,35	0,50	0,70	Voldoet
4	-	0,80	0,50	1,60	Voldoet niet
5	-	0,80	0,50	1,60	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	0,80	0,50	1,60	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Sellmeijer 2012)

	Situatie	MHW m NAP	h;p m NAP	DeltaH m	d m	D m	L;h;aanw. m	k m/dag	yp kN/m3
1	Basisschematisatie	5,22	3,8	1,42	1	50	13,5	17,34	16
2	Geen deklaag aanwezig	5,22	3,8	1,42	0	50	13,5	17,34	16
3	Schematiseringsfactor 1,0	5,22	3,8	1,42	0	50	13,5	17,34	16
4	Schematiseringsfactor 1,2	5,22	3,8	1,42	0	50	13,5	17,34	16
5	Doorlatendheid x2	5,22	3,8	1,42	0	50	13,5	34,68	16
D	**Definitieve berekening**	5,22	3,8	1,42	0	50	13,5	17,34	16

	Situatie	d70 µm	yb -	ymp -	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m
1	Basisschematisatie	304	1,1	1,2	1,01	1,12
2	Geen deklaag aanwezig	304	1,1	1,2	1,01	1,42
3	Schematiseringsfactor 1,0	304	1	1,2	1,11	1,42
4	Schematiseringsfactor 1,2	304	1,2	1,2	0,93	1,42
5	Doorlatendheid x2	304	1,1	1,2	0,80	1,42
D	**Definitieve berekening**	304	1,1	1,2	1,01	1,42

Toets op piping

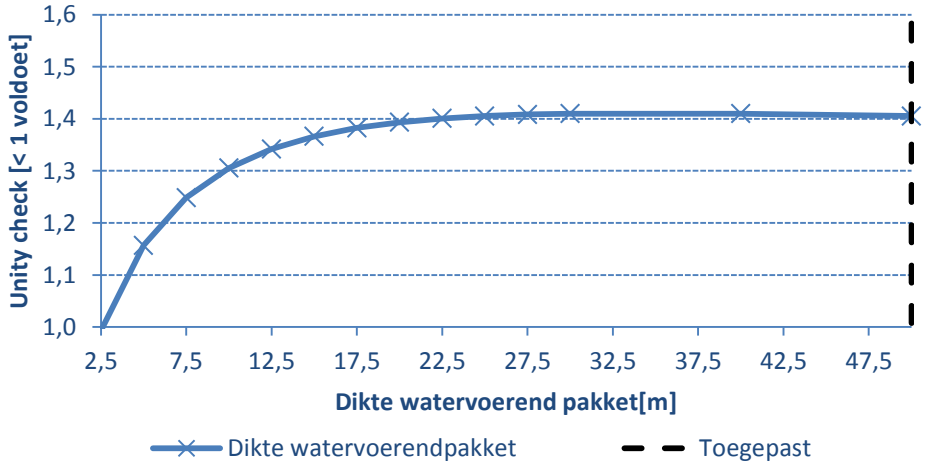
	Situatie	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m	Unity check -		L;benod m	L;tekort m
1	Basisschematisatie	1,01	1,12	1,11	Voldoet niet	15,82	2,32
2	Geen deklaag aanwezig	1,01	1,42	1,41	Voldoet niet	22,62	9,12
3	Schematiseringsfactor 1,0	1,11	1,42	1,28	Voldoet niet	19,61	6,11
4	Schematiseringsfactor 1,2	0,93	1,42	1,53	Voldoet niet	25,68	12,18
5	Doorlatendheid x2	0,80	1,42	1,77	Voldoet niet	31,55	18,05
D	**Definitieve berekening**	1,01	1,42	1,41	Voldoet niet	22,63	9,13

Conclusie

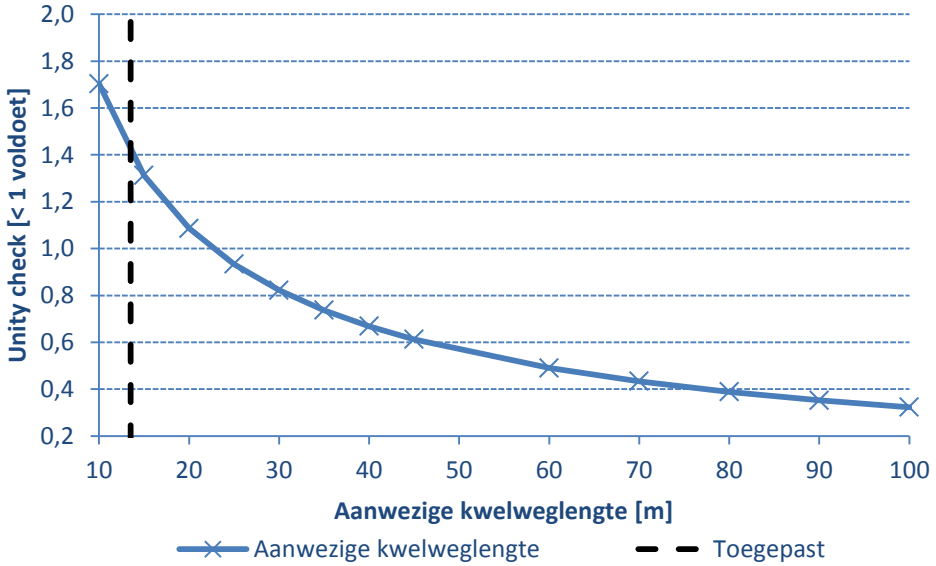
Een situatie met een deklaag van 1 m voldoet bijna op piping. Dit komt door de extra uittrede weerstand als gevolg van deze deklaag. Indien de deklaag niet aanwezig is (situatie 2) is er onvoldoende veiligheid tegen piping aanwezig. Deze berekening is opgenomen als definitieve berekening. Er is gerekend met een relatief lage doorlatendheid, welke is berekend op basis van hoog gemiddelde waardes van de d10 en de d60 (berekend op basis van lokale normaal verdeelde korrelverdelingen). Deze relatief lage doorlatendheid gaat gepaard met een lage d70-waarde (laag gemiddelde waarde). Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet niet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Sellmeijer 2012 (o.b.v. definitieve berekening)

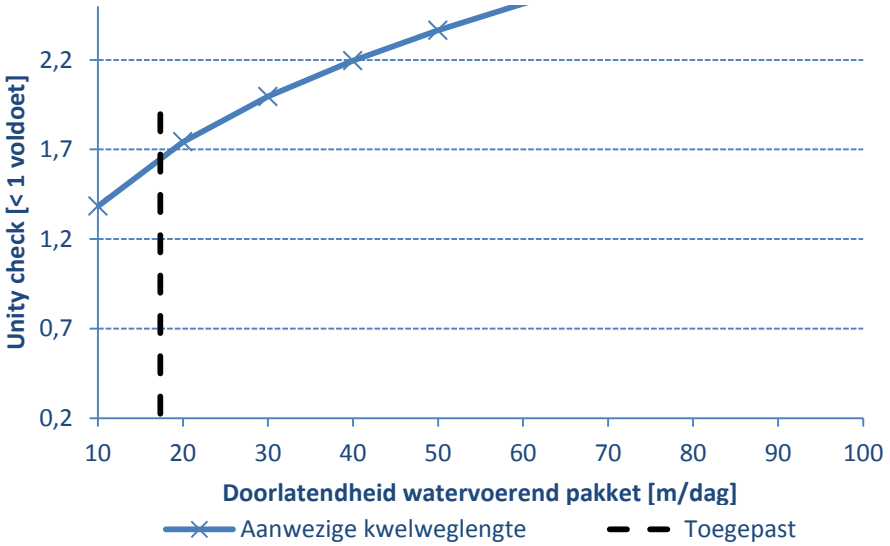
Dikte van het watervoerend pakket



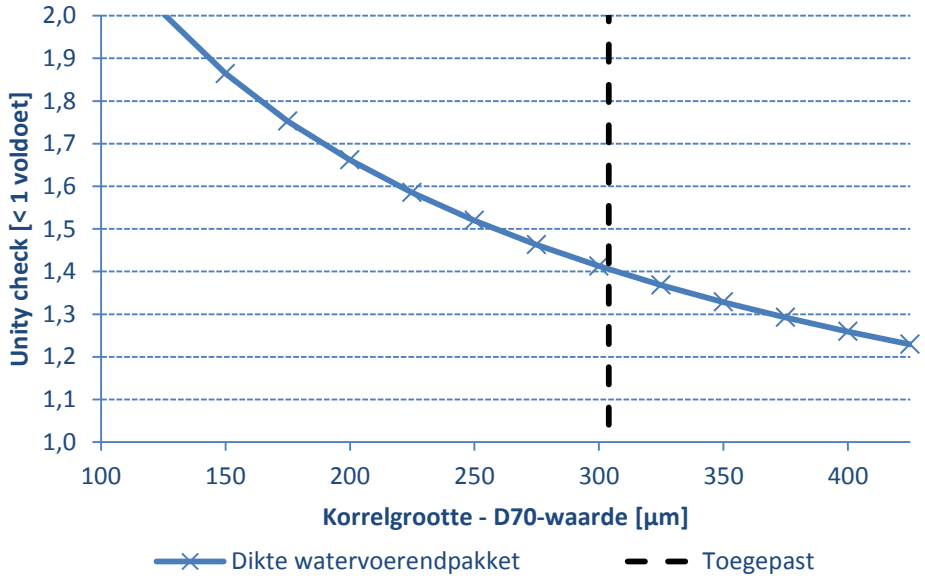
Aanwezig kwelweglengte



Doorlatendheid van het watervoerend pakket



Korrelgrootte (de d70-waarde)


2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
Unity check [< 1 voldoet]
100
150
200
250
300
350
400
Korrelgrootte - D70-waarde [µm]
Dikte watervoerendpakket
Toegepast

Opbarsten, heave en piping voor een constructie (STPH)

Piping (onder- of achterloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten niet relevant waardoor er direct een heave berekening en een pipingberekening uitgevoerd kunnen worden.

Uitgangspunten

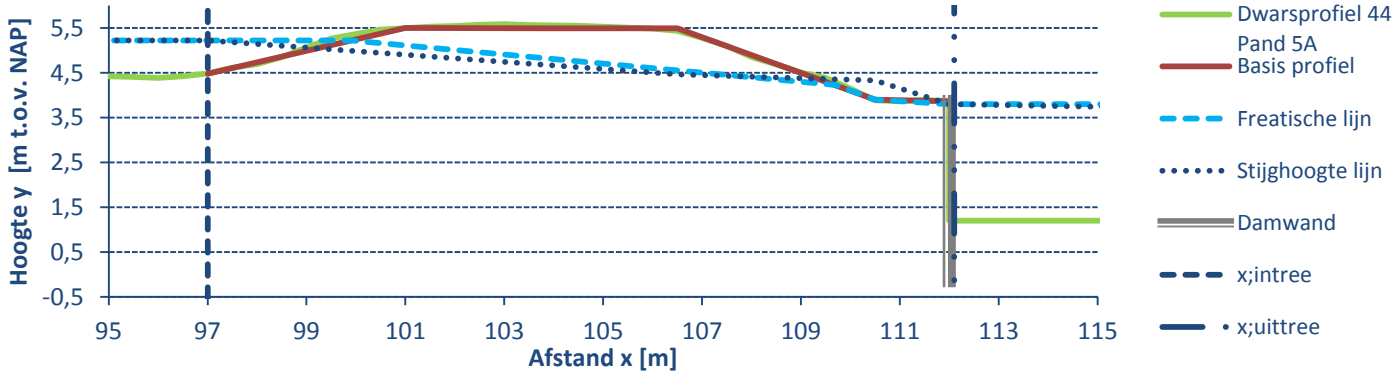
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;Lane	1	-	*Veiligheidsfactor voor Lane*	ORZW 2012
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	97	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	112,1	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	3,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Waterstand in het kanaal
ϕ;BIT	4,33	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	3,8	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	-
ΔH;aanwezig	1,42	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	= MHW - y;uittree



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, kanaal bodem open — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heave

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
L;v;heave	1,34	m	*Afstand waarover heave kan optreden*	Afstand tussen Okdamwand en kanaalbodem
ϕ;0	4,6	m NAP	*Stijghoogte onderkant constructie*	Gelijk aan stijghoogte voor de damwand

Piping (formule van Lane)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	15	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	15	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
C;w;creep	7	-	*creep factor Lane met γ=1,0*	Laaggemiddelde d50 = 209 um
L;damwand	4	m	*Lengte van de damwand*	-
L;v;aanw.	5,96	m	*Aanwezige verticale kwelweglengte*	Kanaalbodem = NAP +1,2 m
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming achter de constructie het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	L;v;heave m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50
2	-	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50
3	-	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50
4	-	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50
5	-	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50
D	**Definitieve berekening**	4,6	3,8	0,8	1,34	0,60	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**
2	-	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**
3	-	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**
4	-	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**
5	-	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**
D	**Definitieve berekening**	0,60	0,50	1,19	**Voldoet niet**

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Lane)

De pipingberekening is uitgevoerd aan de hand van de formule van Lane (ORZW 2012). De formule van Lane neemt zowel een horizontale als een verticale kwelweglengte in rekening.

	Situatie	MHW m NAP	Hbinnen m NAP	DeltaH m	d m	C;w;creep -	L;h;aanw. m	L;v;aanw. m	y;Lane -
1	Basisschematisatie	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1
2	-	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1
3	-	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1
4	-	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1
5	-	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1
D	**Definitieve berekening**	5,22	3,8	1,42	0	7	15	5,96	1

Toets op piping

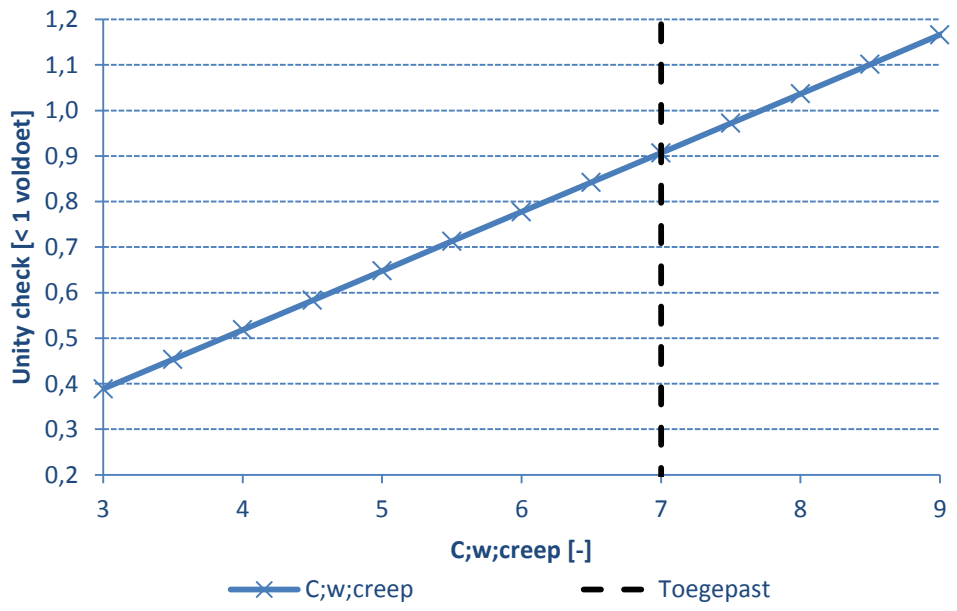
	Situatie	ΔHc;y;Lane m	ΔH;optr m	Unity check -		l;h;tekort [m]	l;v;tekort [m]	L;damwand [m]
1	Basisschematisatie	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00
2	-	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00
3	-	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00
4	-	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00
5	-	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00
D	**Definitieve berekening**	1,57	1,42	0,91	Voldoet	0,00	0,00	0,00

Conclusie

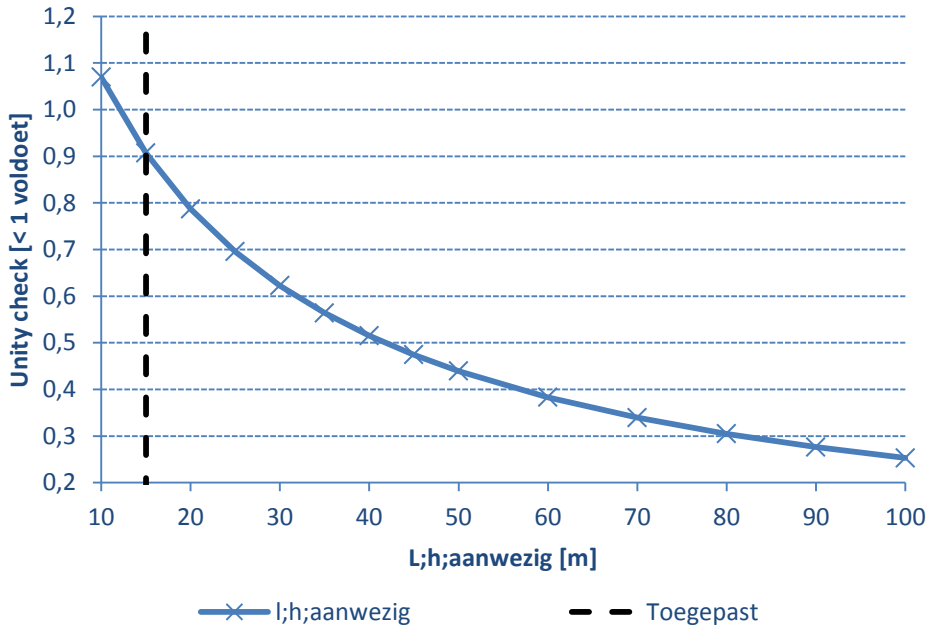
De definitieve berekening voldoet niet op heave maar wel op piping. Er is voldoende horizontale en verticale lengte aanwezig. Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Lane (o.b.v. definitieve berekening)

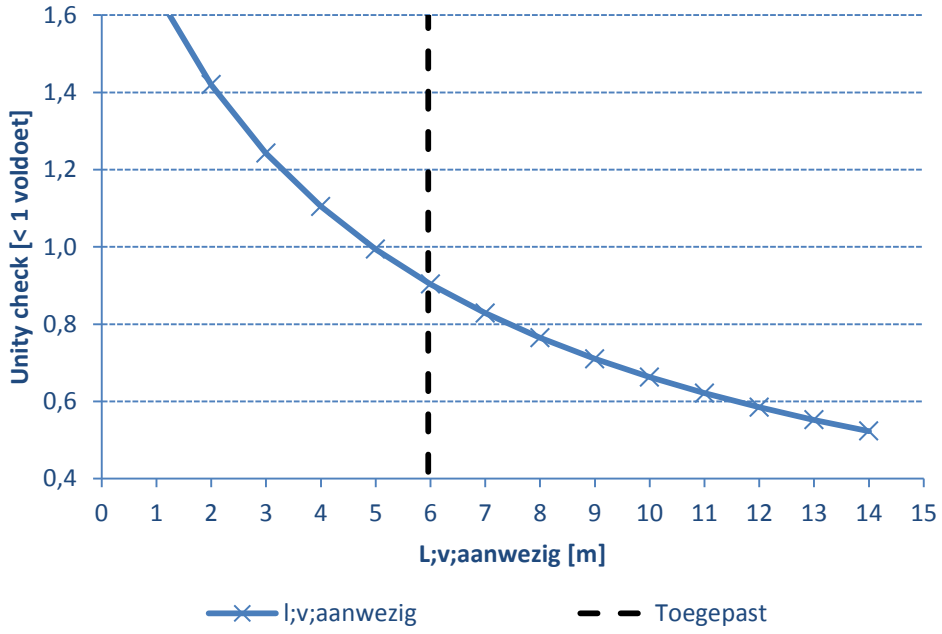
C;w;creep factor



Aanwezige horizontale kwelweglengte



Aanwezige verticale kwelweglengte (damwandlengte)



Microstabiliteit, opdrukken en afschuiven van de deklaag (STMI)

De toetsing/het ontwerp op microstabiliteit bestaat uit drie onderdelen: 1ste check opdrukken (globaal), 2e check opdrukken (gedetailleerd) en afschuiven. Indien wordt voldaan aan zowel opbarsten en afschuiven is de eindscore voor het faalmechanisme STMI 'goed'. Conform Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies - TRWG (2001)

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;m;w	1,0	-	*Volumegewicht water*	TRWG 2001
γ;m;g	1,0	-	*Volumegewicht grond*	-
γ;m;c	1,25	-	*Cohesie*	-
γ;m;ϕ	1,1	-	*Hoek van inwendige wrijving*	-
γ;d*γ;n opd	2,0	-	*Overal veiligheidsfactor opdrukken*	-
γ;d;af	1,1	-	*Modelfactor afschuiven*	-
γ;n;af	1,1	-	*Schadefactor afschuiven*	-

Uitgangspunten basisschematisatie

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
Talud	1:2,52	-	*Binnentalud (verticaal : horizontaal)*	-
α	21,65	°	*Taludhelling*	-
BIT;fr	3,90	m NAP	*Freatischelijn ter plaatse van de binnenteer*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIK	4,46	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenkruin*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;Kern	4,7	m NAP	*Stijghoogte in de kern van de dijk*	Opstuwing voor damwand (+0,2 m)
ΔH;STMI	0,80	m	*Kerende hoogte op het laagste punt*	-
c	2,5	kN/m2	*Cohesie*	-
φ	22,5	°	*Hoek van inwendige wrijving*	-
tan(φ)	0,41	-	*Tangent hoek van inwendige wrijving*	-
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	-

Grondeigenschappen

Deel	Grondsoort	Dikte vertic	γ;nat [kN/m3]
1	klei	0,6	17,50
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Dikte verticaal totaal	0,6	17,50
	Dikte loodrecht totaal	0,56	

Maatgevende boring/sondering: B126/B127 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opdrukken - 1ste check: 1-dimensionaal (zonder cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	γ;nat kN/m3	d m	α °	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90
2	-	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90
3	-	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90
4	-	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90
5	-	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90
D	**Definitieve berekening**	17,50	0,56	21,65	1,00	8,90

Waterdruk onder de deklaag

	Situatie	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	ΔH;STMI m	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2	1	0,80	15,70
2	-	2	1	0,80	15,70
3	-	2	1	0,80	15,70
4	-	2	1	0,80	15,70
5	-	2	1	0,80	15,70
D	**Definitieve berekening**	2	1	0,80	15,70

Toets op opdrukken 1ste check

	Situatie	Gronddruk kN/m3	Waterdruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet
2	-	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet
3	-	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet
4	-	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet
5	-	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	8,90	15,70	1,76	Voldoet niet

Opdrukken - 2e check: 2-dimensionaal (inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Waterdruk onder de deklaag

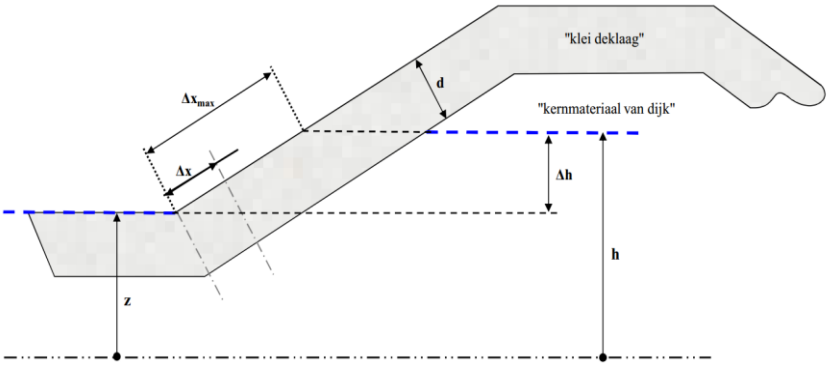
	Situatie	ΔH;STMI m	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,80	2,00	1,00	10,04
2	-	0,80	2,00	1,00	10,04
3	-	0,80	2,00	1,00	10,04
4	-	0,80	2,00	1,00	10,04
5	-	0,80	2,00	1,00	10,04
D	**Definitieve berekening**	0,80	2,00	1,00	10,04

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	c kN/m2	tan(φ) -	φ °	γ;nat kN/m3	d m	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21
2	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21
3	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21
4	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21
5	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21
D	**Definitieve berekening**	2,50	0,41	22,50	17,50	0,56	1,00	10,21

Controle en toetsing op opdrukken

	Situatie	α °	Δx;max m	Δx m	Δx<Δxmax -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet
2	-	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet
3	-	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet
4	-	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet
5	-	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet
D	Definitieve berekening	21,65	2,17	0,78	Oké	10,04	10,21	0,98	Voldoet



Afschuiven

(inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

	Situatie	ΔH;STMI m	α °	sin(α) °	tan(α) °	d m	φ °	tan(φ) -	c kN/m2
1	Basisschematisatie	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50
2	-	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50
3	-	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50
4	-	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50
5	-	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50
D	Definitieve berekening	0,80	21,65	0,37	0,40	0,56	22,50	0,41	2,50

	γ;nat kN/m3	γ;m;g -	γ;m;w -	γ;m;c -	γ;m;ϕ -	γ;d;af -	γ;n;af -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26
2	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26
3	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26
4	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26
5	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26
D	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,25	10,26

Toets op afschuiven

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	-2,25	10,26	0,00	Voldoet
2	-	-2,25	10,26	0,00	Voldoet
3	-	-2,25	10,26	0,00	Voldoet
4	-	-2,25	10,26	0,00	Voldoet
5	-	-2,25	10,26	0,00	Voldoet
D	Definitieve berekening	-2,25	10,26	0,00	Voldoet

Conclusie

Voor dit dwarsprofiel is één situaties doorgerekend met een deklaag van 0,6 m dik. Onder maatgevende omstandigheden voldoet dit dwarsprofiel op het faalmechanisme microstabiliteit (STMI)

Ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen Royal Haskoning DHV

Apeldoorns Kanaal

Klant:	Waterschap Vallei en Veluwe
Referentie:	CALF01
Projectnummer:	BE5115-100-100
Versie:	1/Definitief
Ontwerpniveau:	Veiligheidsanalyse
Datum:	25-10-2016
Dwarsprofiel:	81 Pand 5B
Auteur(s):	Tom de Wit
Gecontroleerd door:	Ilse Hergarden
Datum/Initialen:	

De volgende onderdelen zijn toegepast en onderdeel van deze bijlage:

Uitgangspunten	Ja
Waterspanningen (WS)	Ja
Piping (STPH) groen	Ja
Piping (STPH) constructie	Ja
Microstabiliteit (STMI)	Ja

Inputcel
Berekencel
Standaard waarde
Rekenresultaat

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Uitgangspunten

Voorliggende bijlage is een product van de ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen. Deze Excel sheet is gebaseerd op het Ontwerp Instrumentarium 2014 versie 3 (OI2014v3).

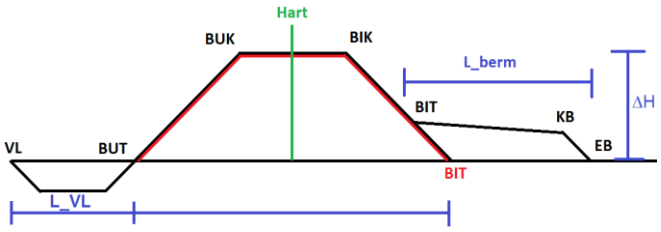
Algemene dijkring informatie

	Waarde	Eenheid	Bron
Normtraject	52-4	-	-
Traject lengte	4,5	km	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
Signaalkans	1:3000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
MTK	1:1000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)

Basisschematisatie

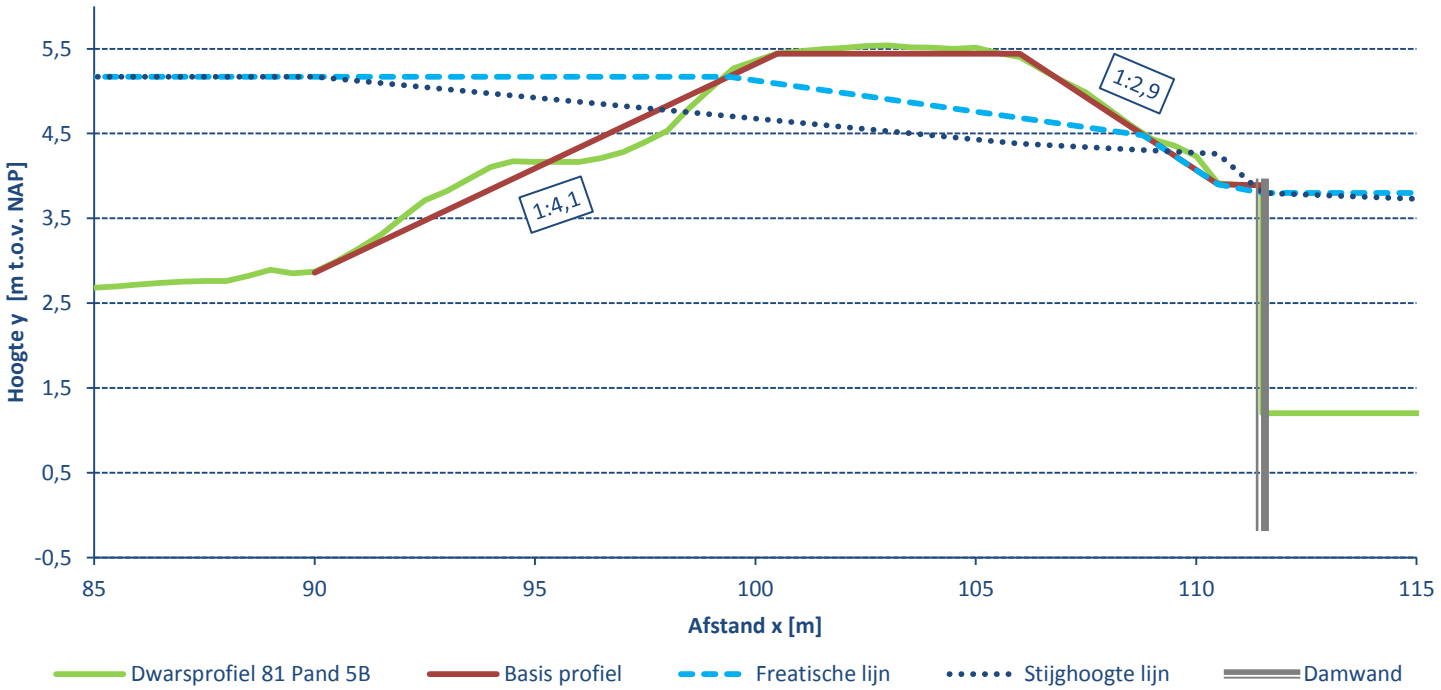
De geometrie van het dijklichaam zoals deze is meegenomen in de hierop volgende berekeningen

Dijklichaam	x	y	
Buitenteen	90	2,86	BUT
Buitenkruin	100,5	5,44	BUK
Hart	103,25	5,44	Hart
Binnenkruin	106	5,44	BIK
Binnenteen	110,5	3,9	BIT
Kruinberm	111,5	3,89	KB
Einde berm	111,5	3,89	EB



Damwand	x	y	
van	111,5	3,89	m NAP
tot	111,5	-0,11	m NAP

Freatische lijn (FL)	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,17	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
BIK;fr	#N/A	m NAP	*FL binnenkruin*	Conform waterspanningen bij dijken
BIT;fr	4,48	m NAP	*FL binnenteen*	Conform waterspanningen bij dijken
KB;fr	3,8	m NAP	*FL kruin van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
EB;fr	3,8	m NAP	*FL einde van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
GHW	3,06	m NAP	*Gem. jaarlijks hoogwater*	Waternormalen rijkswaterstaat



Stijghoogte

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
ϕ;VL	5,17	m NAP	*Stijghoogte start voorland*	Gelijk aan het maatgevend hoog water
ϕ;BUT	5,17	m NAP	*Stijghoogte buitenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIT	4,26	m NAP	*Stijghoogte binnenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;EB	3,8	m NAP	*Stijghoogte einde berm*	Waterspanningen bij dijken

Toegepast model waterspanningen: 3. Model B: Zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland

Verloop waterspanningen

Het verloop van de waterspanningen in de waterkering is bepaald aan de hand van Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (2004). De waterspanningen zijn berekend aan de hand van de maatgevend hoogste waterstand en de gemiddeld jaarlijks hoogste waterstand. Afhankelijk van de aanwezigheid van een voorland en/of achterland zijn voor 3 situaties de waterspanningen bepaald.

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

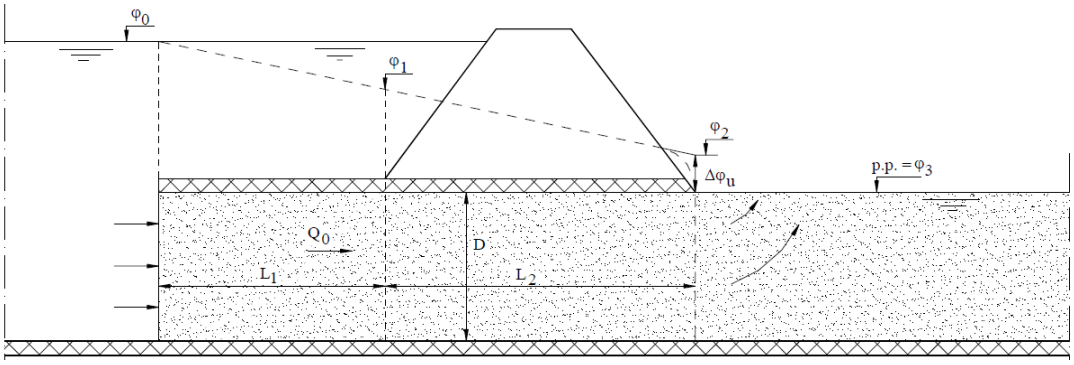
Input voor model 4B

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,17	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
EB;fr	3,8	m NAP	*Freatische lijn einde berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
φ;0	5,17	m NAP	*stijghoogte bij start voorland*	Gelijk aan MHW
φ;3	3,8	m NAP	*Polderpeil*	Gelijk aan EB;fr
L;1	0	m	*Lengte voorland*	Er is geen voorland aanwezig
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerendpakket*	Op basis van ervaring
L;2	21,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	-

Aanvullende input voor model 4A

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
k	2,01E-04	m/s	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Korrelverdelingen
d;1	0	m	*Dikte deklaag voorland*	Niet aanwezig
k;v;1	0	m/dag	*Verticale doorlatendheid deklaag voorland*	Niet aanwezig
d;3	1	m	*Dikte deklaag achterland*	-
k;v;3	0,01	m/dag	*Verticale doorlatendheid achterland*	-
L;3	1	m	*Lengte achterland*	-

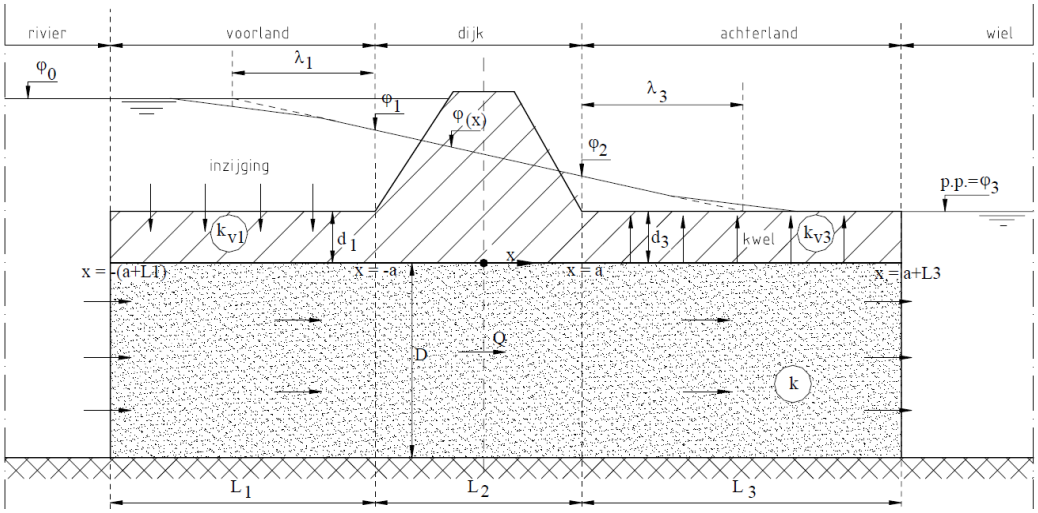
Berekening waterspanning model 4B (wel deklaag in voorland en geen deklaag in achterland)



Lineair verloop van de stijghoogte in de zandondergrond

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	L;1 m	L;2 m	D;wvp m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5,17	3,8	0	21,5	50	**5,17**	**4,67**	**4,49**
2	GHW	3,06	3,8	0	21,5	50	**3,06**	**3,33**	**3,43**
3	-	5,17	3,8	0	21,5	50	**5,17**	**4,67**	**4,49**
4	-	5,17	3,8	0	21,5	50	**5,17**	**4,67**	**4,49**
5	-	5,17	3,8	0	21,5	50	**5,17**	**4,67**	**4,49**
D	**Definitieve berekening**	5,17	3,8	0	21,5	50	**5,17**	**4,67**	**4,49**

Berekening waterspanning model 4A (kleidijk met deklaag in voorland en deklaag in achterland)



Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk

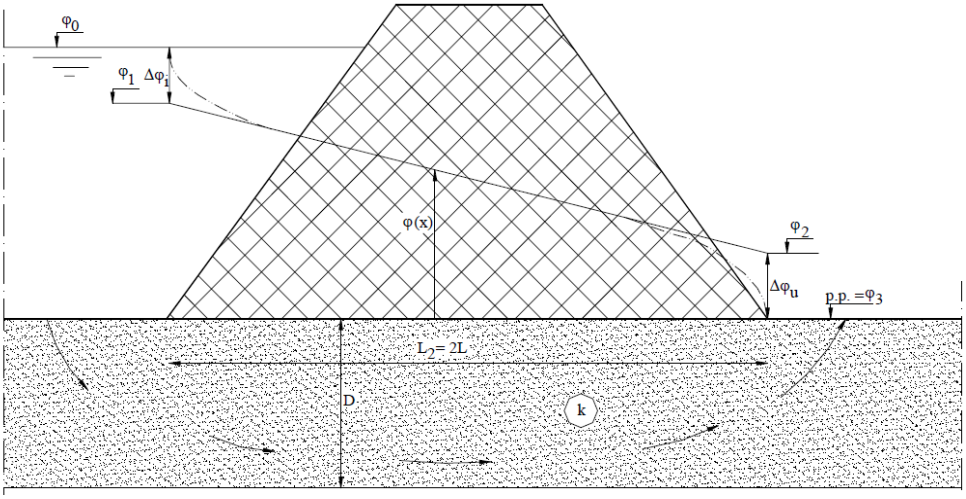
	Situatie	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	d;1 m	L;1 m	L;2 m	d;3 m	L;3 m
1	Basisschematisatie	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1
2	GHW	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1
3	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1
4	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1
5	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1
D	**Definitieve berekening**	2,01E-04	50	0,01005	0	0	21,5	1	1

Bepaling weerstand

	Situatie	c;1 s	λ;1 m	*voorland* W;1 m	*watervoerend pakket* W;2 m	c;3 s	λ;3 m	*achterland* W;3 m
1	Basisschematisatie	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9
2	GHW	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9
3	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9
4	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9
5	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9
D	**Definitieve berekening**	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2139,3	100,0	1,00	75,9

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;1 m NAP	φ;2 m NAP	φ;3 m NAP	ϕ;BIK m NAP
1	Basisschematisatie	5,17	**5,17**	**3,85**	3,8	**4,49**
2	GHW	3,06	**3,06**	**3,77**	3,8	**3,43**
3	-	5,17	**5,17**	**3,85**	3,8	**4,49**
4	-	5,17	**5,17**	**3,85**	3,8	**4,49**
5	-	5,17	**5,17**	**3,85**	3,8	**4,49**
D	**Definitieve berekening**	5,17	**5,17**	**3,85**	3,8	**4,49**

Berekening waterspanning model 4B (kleidijk zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland)



Schematisering van een lineair stijghoogteverloop in de dijk

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	L;2 m
1	Basisschematisatie	5,17	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5
2	GHW	3,06	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5
3	-	5,17	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5
4	-	5,17	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5
5	-	5,17	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5
D	Definitieve berekening	5,17	3,8	2,01E-04	50	0,01005	21,5

	Situatie	W;t m	W;2 m	W;u m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	6517,4	2139,3	2189,1	4,71	4,38	4,26
2	GHW	6517,4	2139,3	2189,1	3,31	3,49	3,55
3	-	6517,4	2139,3	2189,1	4,71	4,38	4,26
4	-	6517,4	2139,3	2189,1	4,71	4,38	4,26
5	-	6517,4	2139,3	2189,1	4,71	4,38	4,26
D	Definitieve berekening	6517,4	2139,3	2189,1	4,71	4,38	4,26

Opbarsten, heave en piping voor een groene kering (STPH)

Piping (onderloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten en heave niet relevant waardoor er direct een pipingberekening uitgevoerd kan worden.

Uitgangspunten

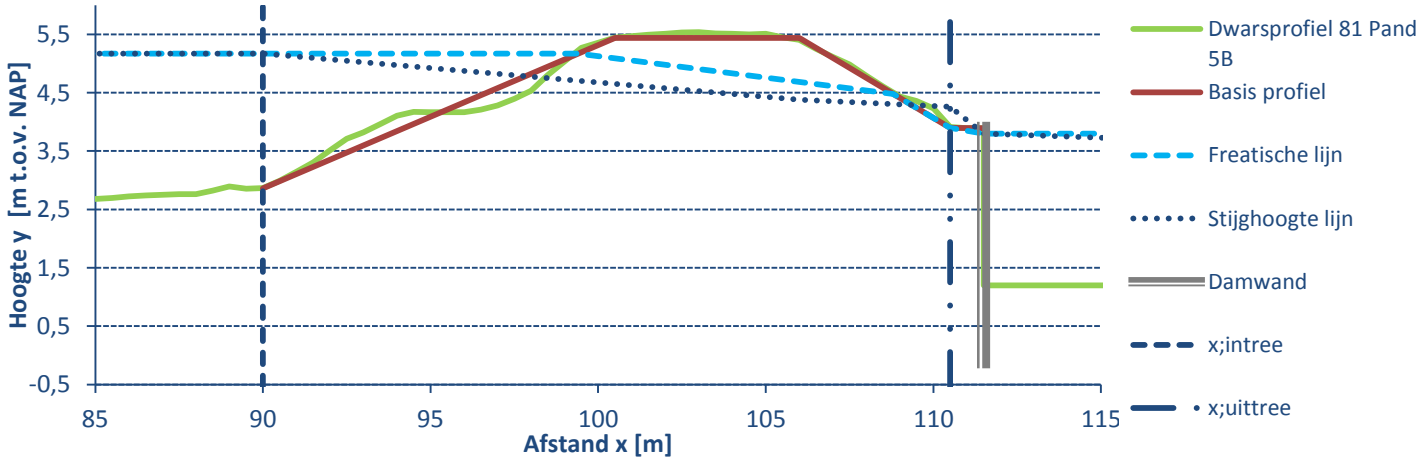
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;b	1,1	-	*Schematiseringsfactor, Sellmeijer*	GSD
γ;mp	1,2	-	*Schadefactor of sterktefactor, Sellmeijer*	GSD
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	90	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	110,5	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	3,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Kanaalpeil tijdens MHW
ϕ;BIT	4,26	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	4,6	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	ϕ;BIT+0,3 m (Opstuwing voorzijde damwand)
ΔH;aanwezig	1,37	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	MHW - h;p



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	klei, zandig	1,4	18,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	1,4	18,00

Maatgevende boring/sondering: DKM009 *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opbarsten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
OK deklaag	2,5	m NAP	*Onderkant van de deklaag*	DKM009
ϕ;z;HHW	0	m NAP	*Stijgh. bij historisch hoogwater*	Gegevens niet aanwezig
ϕ;z;GHW	3,8	m NAP	*Stijgh. bij gemiddelde jaarlijks hoogwater*	Gelijk aan h;p GHW=3,06

Heave

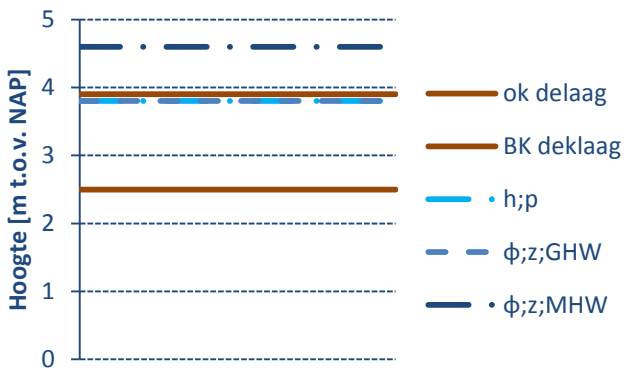
	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
ϕ;0	4,6	m NAP	*Stijghoogte onderkant deklaag*	is gelijk aan ϕ;z; MHW

Piping (formule van Sellmeijer)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	21,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	20,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
Θ	37	°	*Rolweerstandshoek van de zandkorrels*	ORZW 2012
η	0,25	-	*Coëfficiënt van White*	ORZW 2012
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerend pakket*	Op basis van ervaring
k	17,34	m/dag	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d70	304	µm	*70-percentielwaarde v/d korrelverdeling*	Op basis van korrelverdelingen
d70;m	208	µm	*Gemiddelde d70-waarde*	ORZW 2012
RD	n.v.t.	-	*De invloed van de relatieve dichtheid is in de toetsregel meegenomen*	
RD;m	n.v.t.	-	*in de modelonzekerheid (RD/RDm=1)*	
γ;p	16	kN/m3	*Volumegewicht zandkorrels onder water*	ORZW 2012
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Berekening op opbarsten

In naaststaande grafiek zijn de belangrijkste uitgangspunten van de berekening op opbarsten weergegeven. Deze bestaan uit de dikte van de deklaag en de bijbehorende stijghoogtelijnen onder verschillende omstandigheden. Ten aanzien van de stijghoogte lijnen geldt het volgende:
- De ϕ;z;HHW-lijn kan niet hoger zijn dan de ϕ;z;MHW-lijn
- de h;p-lijn kan niet lager zijn dan BK deklaag



Gronddruk

	Situatie	γ;G;std -	d m	γ;nat kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,9	1,4	18,00	10,08
2	Situatie 2	0,9	1,9	18,00	13,68
3	-	0,9	1,4	18,00	10,08
4	-	0,9	1,4	18,00	10,08
5	-	0,9	1,4	18,00	10,08
D	**Definitieve berekening**	0,9	1,4	18,00	10,08

Waterdruk

	Situatie	ϕ;z;GHW m NAP	h;p m NAP	ϕ;z;MHW m NAP	γ;Q;dst -	γ;G;dst -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
2	Situatie 2	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
3	-	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
4	-	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
5	-	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00
D	**Definitieve berekening**	3,8	3,8	4,6	1,5	1	12,00

Toets op opbarsten

De waterdruk kan nooit hoger zijn dan het niveau van het maatgevend hoog water aan buitendijkse zijde (zie 'Waterdruk bij MHW'). Daarom is hierop een controle uitgevoerd.

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Waterdruk bij MHW kN/m3	Controle -	Gronddruk kN/m3	Unity check -	Toetsresultaat -
1	Basisschematisatie	12,00	13,70	Oké	10,08	1,19	Voldoet niet
2	Situatie 2	12,00	13,70	Oké	13,68	0,88	Voldoet
3	-	12,00	13,70	Oké	10,08	1,19	Voldoet niet
4	-	12,00	13,70	Oké	10,08	1,19	Voldoet niet
5	-	12,00	13,70	Oké	10,08	1,19	Voldoet niet
	Definitieve berekening	12,00	13,70	Oké	10,08	1,19	Voldoet niet

Conclusie

Een situatie met een deklaag van 1,9 m dik voldoet op opbarsten. De definitieve berekening (deklaag van 1,4 m dik) voldoet niet op opbarsten. Daarom zal er een controle op heave uitgevoerd worden.

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	d m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4,6	3,8	0,8	1,4	0,57	0,50
2	Situatie 2	4,6	3,8	0,8	1,9	0,42	0,50
3	-	4,6	3,8	0,8	1,4	0,57	0,50
4	-	4,6	3,8	0,8	1,4	0,57	0,50
5	-	4,6	3,8	0,8	1,4	0,57	0,50
D	**Definitieve berekening**	4,6	3,8	0,8	1,4	0,57	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,57	0,50	1,14	Voldoet niet
2	Situatie 2	0,42	0,50	0,84	Voldoet
3	-	0,57	0,50	1,14	Voldoet niet
4	-	0,57	0,50	1,14	Voldoet niet
5	-	0,57	0,50	1,14	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	0,57	0,50	1,14	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Sellmeijer 2012)

	Situatie	MHW m NAP	h;p m NAP	DeltaH m	d m	D m	L;h;aanw. m	k m/dag	yp kN/m3
1	Basisschematisatie	5,17	3,8	1,37	1,4	50	20,5	17,34	16
2	Geen deklaag	5,17	3,8	1,37	0	50	20,5	17,34	16
3	Schematiseringsfactor 1,0	5,17	3,8	1,37	0	50	20,5	17,34	16
4	Schematiseringsfactor 1,2	5,17	3,8	1,37	0	50	20,5	17,34	16
5	Doorlatendheid x2	5,17	3,8	1,37	0	50	20,5	34,68	16
D	**Definitieve berekening**	5,17	3,8	1,37	0	50	20,5	17,34	16

	Situatie	d70 µm	yb -	ymp -	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m
1	Basisschematisatie	304	1,1	1,2	1,33	0,95
2	Geen deklaag	304	1,1	1,2	1,33	1,37
3	Schematiseringsfactor 1,0	304	1	1,2	1,46	1,37
4	Schematiseringsfactor 1,2	304	1,2	1,2	1,22	1,37
5	Doorlatendheid x2	304	1,1	1,2	1,06	1,37
D	**Definitieve berekening**	304	1,1	1,2	1,33	1,37

Toets op piping

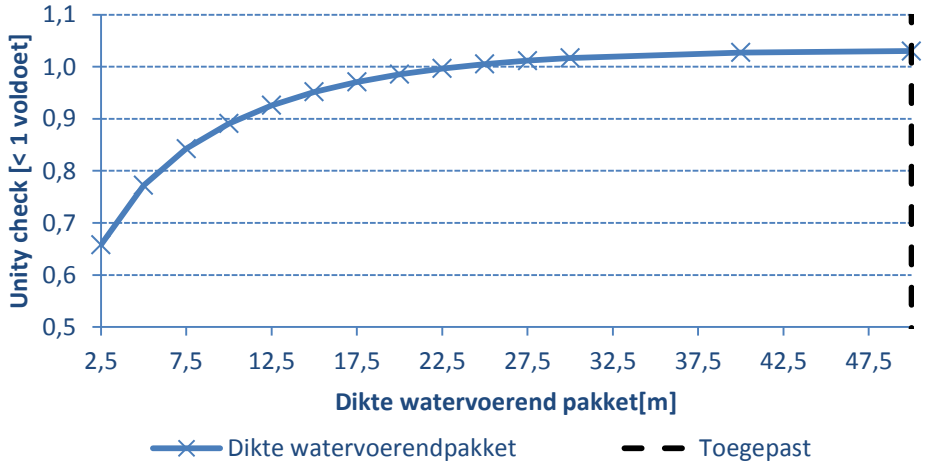
	Situatie	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m	Unity check -		L;benod m	L;tekort m
1	Basisschematisatie	1,33	0,95	0,71	Voldoet	12,28	-8,22
2	Geen deklaag	1,33	1,37	1,03	Voldoet niet	21,43	0,93
3	Schematiseringsfactor 1,0	1,46	1,37	0,94	Voldoet	18,58	-1,92
4	Schematiseringsfactor 1,2	1,22	1,37	1,12	Voldoet niet	24,33	3,83
5	Doorlatendheid x2	1,06	1,37	1,30	Voldoet niet	29,97	9,47
D	**Definitieve berekening**	1,33	1,37	1,03	Voldoet niet	21,42	0,92

Conclusie

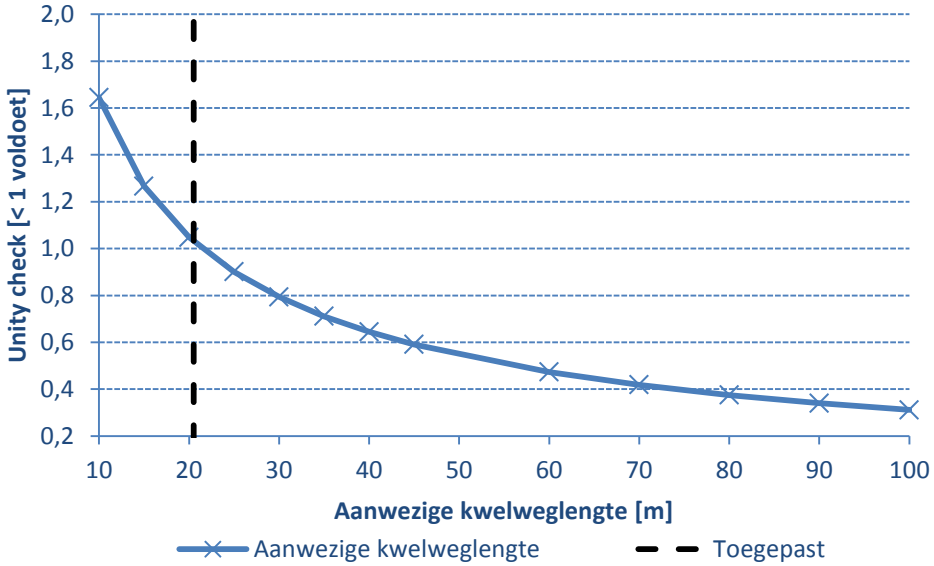
Een situatie met een deklaag van 1,4 m voldoet op piping. Dit komt door de extra uittrede weerstand als gevolg van deze deklaag. Indien de deklaag niet aanwezig is (situatie 2) is er onvoldoende veiligheid tegen piping aanwezig. Deze berekening is opgenomen als definitieve berekening. Er is gerekend met een relatief lage doorlatendheid, welke is berekend op basis van hoog gemiddelde waardes van de d10 en de d60 (berekend op basis van lokale normaal verdeelde korrelverdelingen). Deze relatief lage doorlatendheid gaat gepaard met een lage d70-waarde (laag gemiddelde waarde). Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet niet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Sellmeijer 2012 (o.b.v. definitieve berekening)

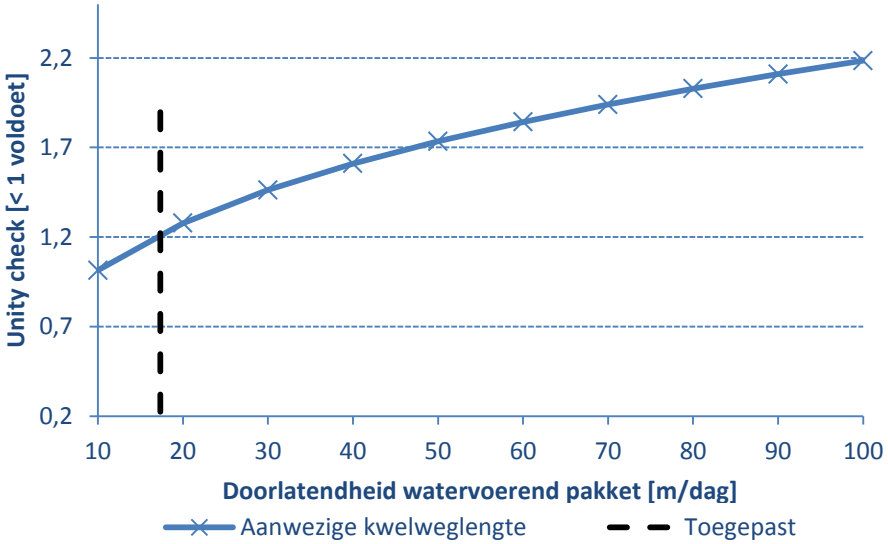
Dikte van het watervoerend pakket

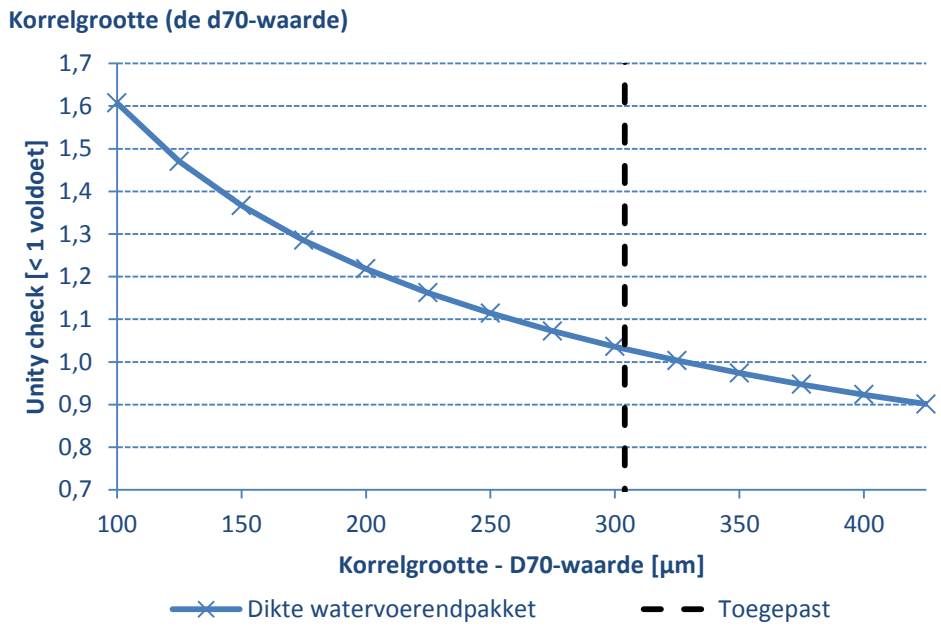


Aanwezig kwelweglengte



Doorlatendheid van het watervoerend pakket




Korrelgrootte (de d70-waarde)
Unity check [< 1 voldoet]
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
100
150
200
250
300
350
400
Korrelgrootte - D70-waarde [µm]
Dikte watervoerendpakket
Toegepast

Opbarsten, heave en piping voor een constructie (STPH)

Piping (onder- of achterloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten niet relevant waardoor er direct een heave berekening en een pipingberekening uitgevoerd kunnen worden.

Uitgangspunten

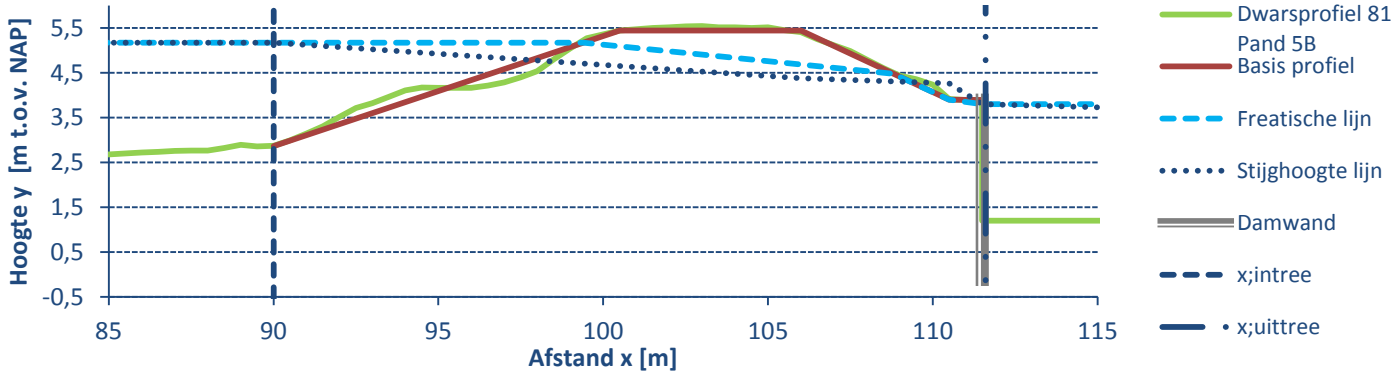
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;Lane	1	-	*Veiligheidsfactor voor Lane*	ORZW 2012
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	90	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	111,6	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	3,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Waterstand in het kanaal
ϕ;BIT	4,26	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	3,8	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	-
ΔH;aanwezig	1,37	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	= MHW - y;uittree



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, bodem kanaal open — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heave

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
L;v;heave	1,31	m	*Afstand waarover heave kan optreden*	Afstand tussen Okdamwand en kanaalbodem
ϕ;0	4,6	m NAP	*Stijghoogte onderkant constructie*	Gelijk aan stijghoogte voor de damwand

Piping (formule van Lane)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	21,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	21,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
C;w;creep	7	-	*creep factor Lane met γ=1,0*	Laaggemiddelde d50 = 209 um
L;damwand	4	m	*Lengte van de damwand*	-
L;v;aanw.	4,28	m	*Aanwezige verticale kwelweglengte*	Kanaalbodem = NAP +1,2 m
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming achter de constructie het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	L;v;heave m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50
2	-	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50
3	-	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50
4	-	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50
5	-	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50
D	**Definitieve berekening**	4,6	3,8	0,8	1,31	0,61	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**
2	-	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**
3	-	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**
4	-	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**
5	-	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**
D	**Definitieve berekening**	0,61	0,50	1,22	**Voldoet niet**

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Lane)

De pipingberekening is uitgevoerd aan de hand van de formule van Lane (ORZW 2012). De formule van Lane neemt zowel een horizontale als een verticale kwelweglengte in rekening.

	Situatie	MHW m NAP	Hbinnen m NAP	DeltaH m	d m	C;w;creep -	L;h;aanw. m	L;v;aanw. m	y;Lane -
1	Basisschematisatie	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1
2	-	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1
3	-	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1
4	-	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1
5	-	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1
D	**Definitieve berekening**	5,17	3,8	1,37	0	7	21,5	4,28	1

Toets op piping

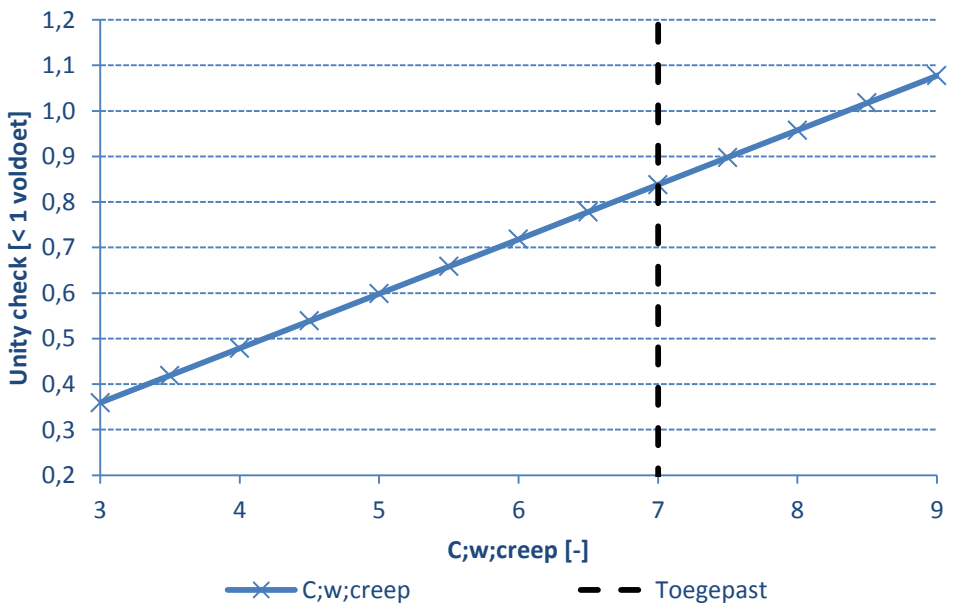
	Situatie	ΔHc;y;Lane m	ΔH;optr m	Unity check -		l;h;tekort [m]	l;v;tekort [m]	L;damwand [m]
1	Basisschematisatie	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00
2	-	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00
3	-	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00
4	-	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00
5	-	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00
D	**Definitieve berekening**	1,64	1,37	0,84	Voldoet	0,00	0,00	0,00

Conclusie

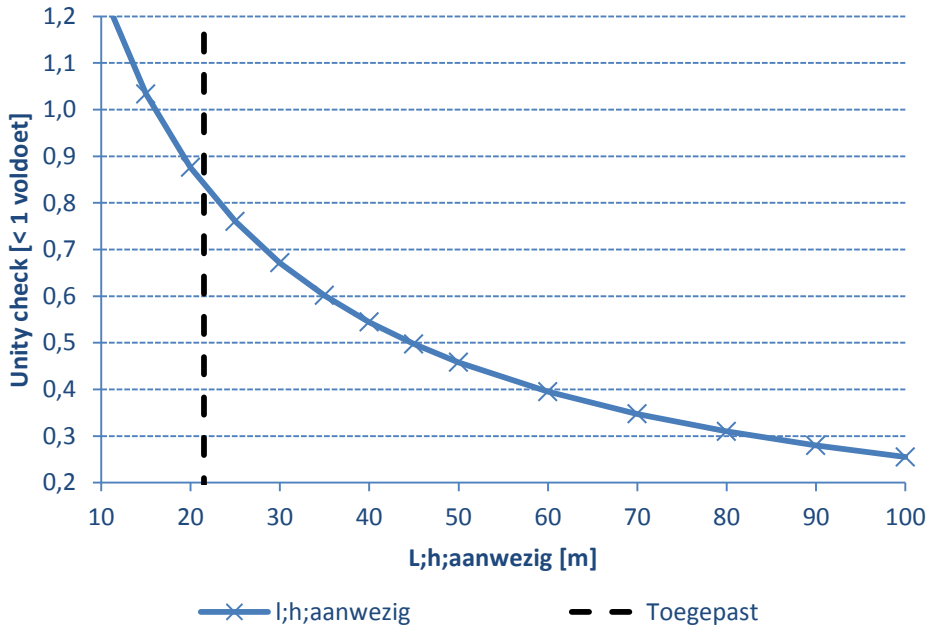
De definitieve berekening voldoet niet op heave maar wel op piping. Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme piping (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Lane (o.b.v. definitieve berekening)

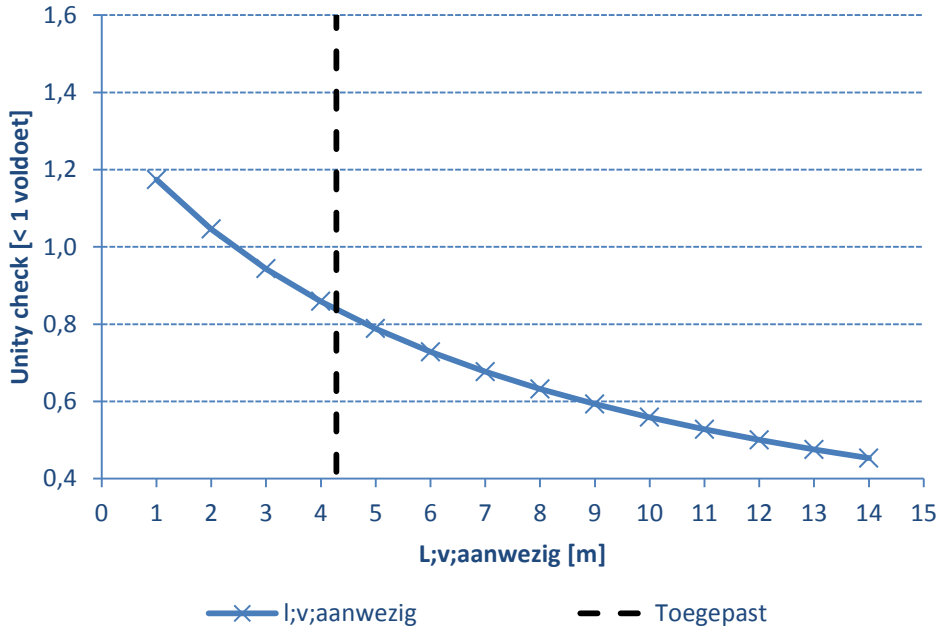
C;w;creep factor



Aanwezige horizontale kwelweglengte



Aanwezige verticale kwelweglengte (damwandlengte)



Microstabiliteit, opdrukken en afschuiven van de deklaag (STMI)

De toetsing/het ontwerp op microstabiliteit bestaat uit drie onderdelen: 1ste check opdrukken (globaal), 2e check opdrukken (gedetaillieerd) en afschuiven. Indien wordt voldaan aan zowel opbarsten en afschuiven is de eindscore voor het faalmechanisme STMI 'goed'. Conform Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies - TRWG (2001)

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;m;w	1,0	-	*Volumegewicht water*	TRWG 2001
γ;m;g	1,0	-	*Volumegewicht grond*	-
γ;m;c	1,25	-	*Cohesie*	-
γ;m;ϕ	1,1	-	*Hoek van inwendige wrijving*	-
γ;d*γ;n opd	2,0	-	*Overal veiligheidsfactor opdrukken*	-
γ;d;af	1,1	-	*Modelfactor afschuiven*	-
γ;n;af	1,1	-	*Schadefactor afschuiven*	-

Uitgangspunten basisschematisatie

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
Talud	1:2,92	-	*Binnentalud (verticaal : horizontaal)*	-
α	18,88	°	*Taludhelling*	-
BIT;fr	3,90	m NAP	*Freatischelijn ter plaatse van de binnenteer*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIK	4,38	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenkruin*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;Kern	4,5	m NAP	*Stijghoogte in de kern van de dijk*	Opstuwing voor damwand (+0,2 m)
ΔH;STMI	0,60	m	*Kerende hoogte op het laagste punt*	-
c	2,5	kN/m2	*Cohesie*	-
φ	22,5	°	*Hoek van inwendige wrijving*	-
tan(φ)	0,41	-	*Tangent hoek van inwendige wrijving*	-
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	-

Grondeigenschappen

Deel	Grondsoort	Dikte vertik	γ;nat [kN/m3]
1	klei	0,5	17,50
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Dikte vertikaal totaal	0,5	17,50
	Dikte loodrecht totaal	0,47	

Maatgevende boring/sondering: B113 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opdrukken - 1ste check: 1-dimensionaal (zonder cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	γ;nat kN/m3	d m	α °	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	17,50	0,47	18,88	1,00	7,69
2	0,7 m klei sterk zandig	18,00	0,70	18,88	1,00	11,70
3	-	17,50	0,47	18,88	1,00	7,69
4	-	17,50	0,47	18,88	1,00	7,69
5	-	17,50	0,47	18,88	1,00	7,69
D	**Definitieve berekening**	17,50	0,47	18,88	1,00	7,69

Waterdruk onder de deklaag

	Situatie	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	ΔH;STMI m	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2	1	0,60	11,77
2	0,7 m klei sterk zandig	2	1	0,60	11,77
3	-	2	1	0,60	11,77
4	-	2	1	0,60	11,77
5	-	2	1	0,60	11,77
D	**Definitieve berekening**	2	1	0,60	11,77

Toets op opdrukken 1ste check

	Situatie	Gronddruk kN/m3	Waterdruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	7,69	11,77	1,53	Voldoet niet
2	0,7 m klei sterk zandig	11,70	11,77	1,01	Voldoet niet
3	-	7,69	11,77	1,53	Voldoet niet
4	-	7,69	11,77	1,53	Voldoet niet
5	-	7,69	11,77	1,53	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	7,69	11,77	1,53	Voldoet niet

Opdrukken - 2e check: 2-dimensionaal (inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Waterdruk onder de deklaag

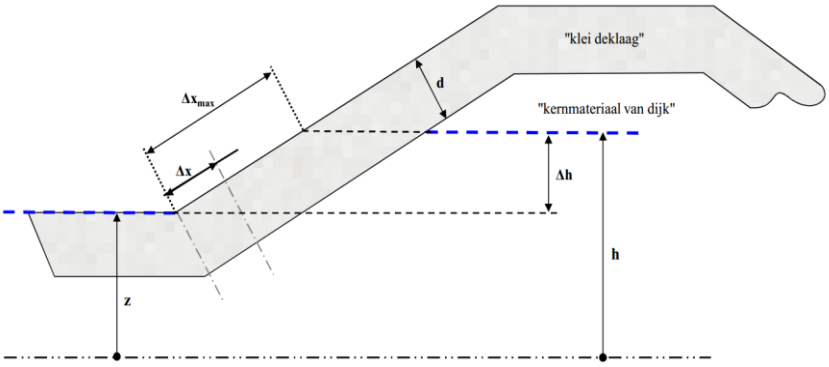
	Situatie	ΔH;STMI m	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,60	2,00	1,00	6,76
2	0,7 m klei sterk zandig	0,60	2,00	1,00	6,69
3	-	0,60	2,00	1,00	6,76
4	-	0,60	2,00	1,00	6,76
5	-	0,60	2,00	1,00	6,76
D	**Definitieve berekening**	0,60	2,00	1,00	6,76

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	c kN/m2	tan(φ) -	φ °	γ;nat kN/m3	d m	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2,50	0,41	22,50	17,50	0,47	1,00	8,05
2	0,7 m klei sterk zandig	2,50	0,41	22,50	18,00	0,70	1,00	12,04
3	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,47	1,00	8,05
4	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,47	1,00	8,05
5	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,47	1,00	8,05
D	**Definitieve berekening**	2,50	0,41	22,50	17,50	0,47	1,00	8,05

Controlle en toetsing op opdrukken

	Situatie	α °	Δx;max m	Δx m	Δx<Δxmax -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	18,88	1,85	0,71	Oké	6,76	8,05	0,84	Voldoet
2	0,7 m klei sterk zandig	18,88	1,85	0,70	Oké	6,69	12,04	0,56	Voldoet
3	-	18,88	1,85	0,71	Oké	6,76	8,05	0,84	Voldoet
4	-	18,88	1,85	0,71	Oké	6,76	8,05	0,84	Voldoet
5	-	18,88	1,85	0,71	Oké	6,76	8,05	0,84	Voldoet
D	Definitieve berekening	18,88	1,85	0,71	Oké	6,76	8,05	0,84	Voldoet



Afschuiven

(inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

	Situatie	ΔH;STMI m	α °	sin(α) °	tan(α) °	d m	φ °	tan(φ) -	c kN/m2
1	Basisschematisatie	0,60	18,88	0,32	0,34	0,47	22,50	0,41	2,50
2	0,7 m klei sterk zandig	0,60	18,88	0,32	0,34	0,70	22,50	0,41	2,50
3	-	0,60	18,88	0,32	0,34	0,47	22,50	0,41	2,50
4	-	0,60	18,88	0,32	0,34	0,47	22,50	0,41	2,50
5	-	0,60	18,88	0,32	0,34	0,47	22,50	0,41	2,50
D	Definitieve berekening	0,60	18,88	0,32	0,34	0,47	22,50	0,41	2,50

	γ;nat kN/m3	γ;m;g -	γ;m;w -	γ;m;c -	γ;m;ϕ -	γ;d;af -	γ;n;af -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-3,74	8,86
2	18,00	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-4,60	17,70
3	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-3,74	8,86
4	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-3,74	8,86
5	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-3,74	8,86
D	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-3,74	8,86

Toets op afschuiven

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	-3,74	8,86	0,00	Voldoet
2	0,7 m klei sterk zandig	-4,60	17,70	0,00	Voldoet
3	-	-3,74	8,86	0,00	Voldoet
4	-	-3,74	8,86	0,00	Voldoet
5	-	-3,74	8,86	0,00	Voldoet
D	Definitieve berekening	-3,74	8,86	0,00	Voldoet

Conclusie

Voor dit dwarsprofiel zijn twee situaties doorgerekend met een verschillende dikte en eigenschappen van de deklaag. Beide situaties voldoen aan opdrukken en afschuiven. Omdat er geen sprake is van opdrukken onder maatgevende omstandigheden voldoet dit dwarsprofiel aan het faalmechanisme microstabiliteit (STMI)

Ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen Royal Haskoning DHV

Apeldoorns Kanaal

Klant:	Waterschap Vallei en Veluwe
Referentie:	CALF01
Projectnummer:	BE5115-100-100
Versie:	1/Definitief
Ontwerpniveau:	Veiligheidsanalyse
Datum:	25-10-2016
Dwarsprofiel:	100/102 Pand 5C
Auteur(s):	Tom de Wit
Gecontroleerd door:	Ilse Hergarden
Datum/Initialen:	

De volgende onderdelen zijn toegepast en onderdeel van deze bijlage:

Uitgangspunten	Ja
Waterspanningen (WS)	Ja
Piping (STPH) groen	Ja
Piping (STPH) constructie	Ja
Microstabiliteit (STMI)	Ja

Inputcel
Berekencel
Standaard waarde
Rekenresultaat

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Uitgangspunten

Voorliggende bijlage is een product van de ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen. Deze Excel sheet is gebaseerd op het Ontwerp Instrumentarium 2014 versie 3 (OI2014v3).

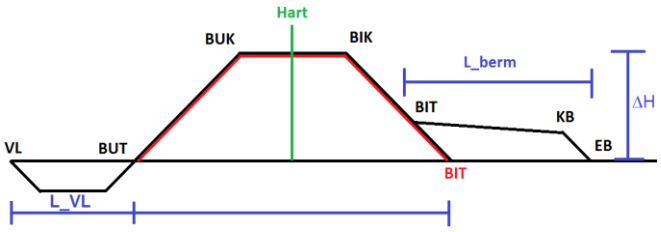
Algemene dijkring informatie

	Waarde	Eenheid	Bron
Normtraject	52-4	-	-
Traject lengte	4,5	km	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
Signaalkans	1:3000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
MTK	1:1000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)

Basisschematisatie

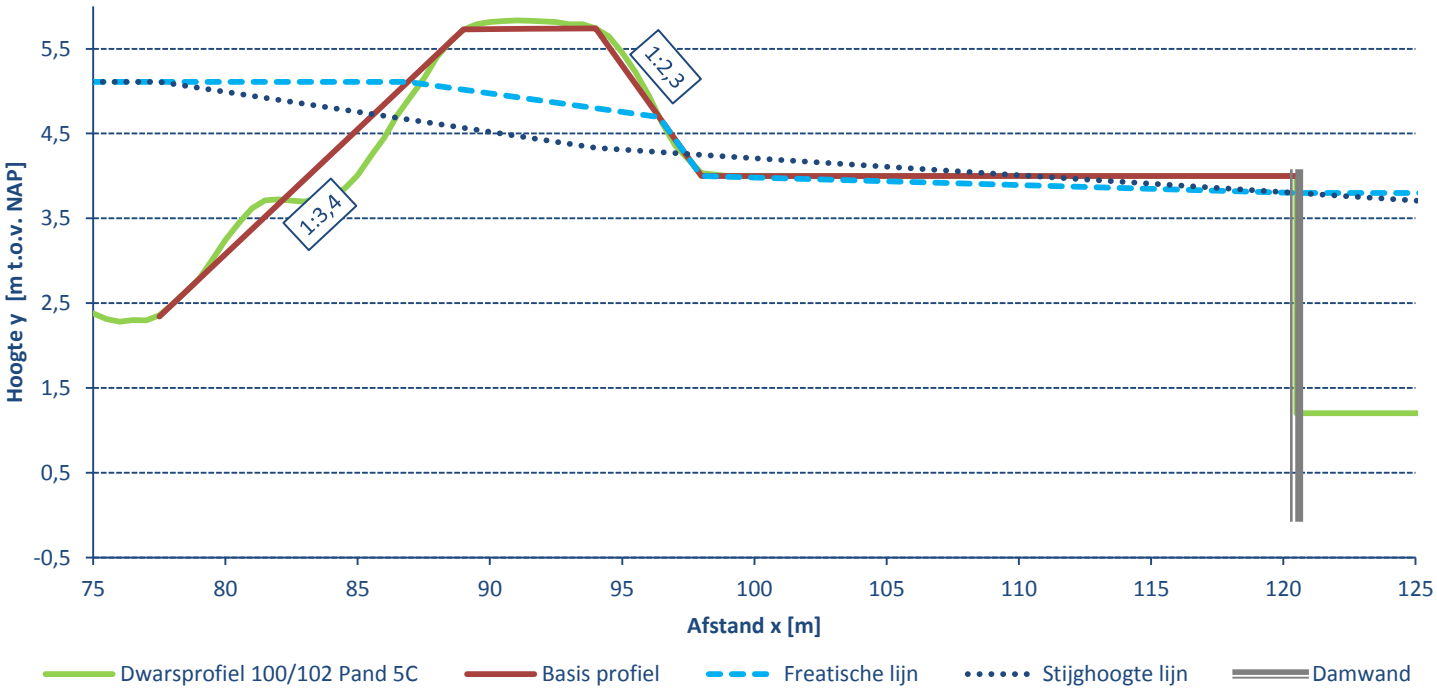
De geometrie van het dijklichaam zoals deze is meegenomen in de hierop volgende berekeningen

Dijklichaam	x	y	
Buitenteen	77,5	2,34	BUT
Buitenkruin	89	5,73	BUK
Hart	91,5	5,735	Hart
Binnenkruin	94	5,74	BIK
Binnenteen	98	4	BIT
Kruinberm	120,5	4	KB
Einde berm	120,5	4	EB



Damwand	x	y	
van	120,5	4	m NAP
tot	120,5	0	m NAP

Freatische lijn (FL)	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,11	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
BIK;fr	#N/A	m NAP	*FL binnenkruin*	Conform waterspanningen bij dijken
BIT;fr	4,69	m NAP	*FL binnenteen*	Conform waterspanningen bij dijken
KB;fr	3,8	m NAP	*FL kruin van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
EB;fr	3,8	m NAP	*FL einde van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
GHW	2,94	m NAP	*Gem. jaarlijks hoogwater*	Waternormalen rijkswaterstaat



Stijghoogte

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
ϕ;VL	5,11	m NAP	*Stijghoogte start voorland*	Gelijk aan het maatgevend hoog water
ϕ;BUT	5,11	m NAP	*Stijghoogte buitenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIT	4,25	m NAP	*Stijghoogte binnenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;EB	3,8	m NAP	*Stijghoogte einde berm*	Waterspanningen bij dijken

Toegepast model waterspanningen: 3. Model B: Zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland

Verloop waterspanningen

Het verloop van de waterspanningen in de waterkering is bepaald aan de hand van Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (2004). De waterspanningen zijn berekend aan de hand van de maatgevend hoogste waterstand en de gemiddeld jaarlijks hoogste waterstand. Afhankelijk van de aanwezigheid van een voorland en/of achterland zijn voor 3 situaties de waterspanningen bepaald.

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

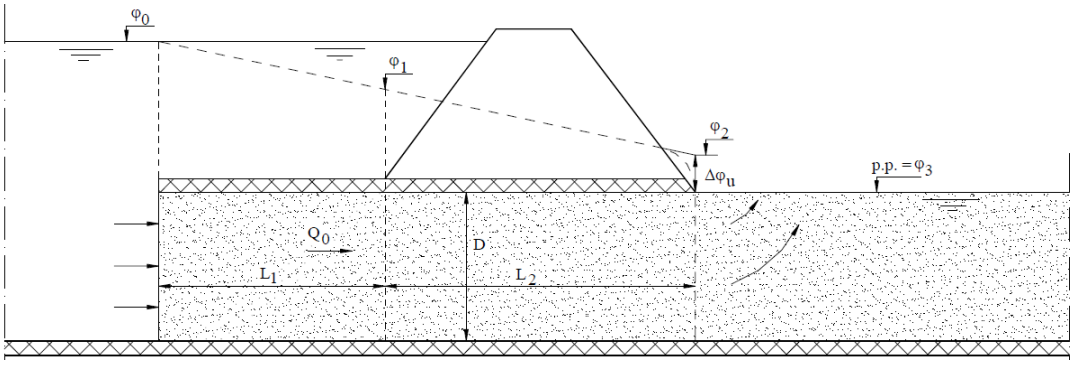
Input voor model 4B

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,11	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
EB;fr	3,8	m NAP	*Freatische lijn einde berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
φ;0	5,11	m NAP	*stijghoogte bij start voorland*	Gelijk aan MHW
φ;3	3,8	m NAP	*Polderpeil*	Gelijk aan EB;fr
L;1	0	m	*Lengte voorland*	Er is geen voorland aanwezig
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerendpakket*	Op basis van ervaring
L;2	20,5	m	*Afstand tussen buitenteen en binnenteen*	-

Aanvullende input voor model 4A

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
k	2,01E-04	m/s	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d;1	0	m	*Dikte deklaag voorland*	Niet aanwezig
k;v;1	0	m/dag	*Verticale doorlatendheid deklaag voorland*	Niet aanwezig
d;3	1	m	*Dikte deklaag achterland*	-
k;v;3	0,01	m/dag	*Verticale doorlatendheid achterland*	-
L;3	22,5	m	*Lengte achterland*	-

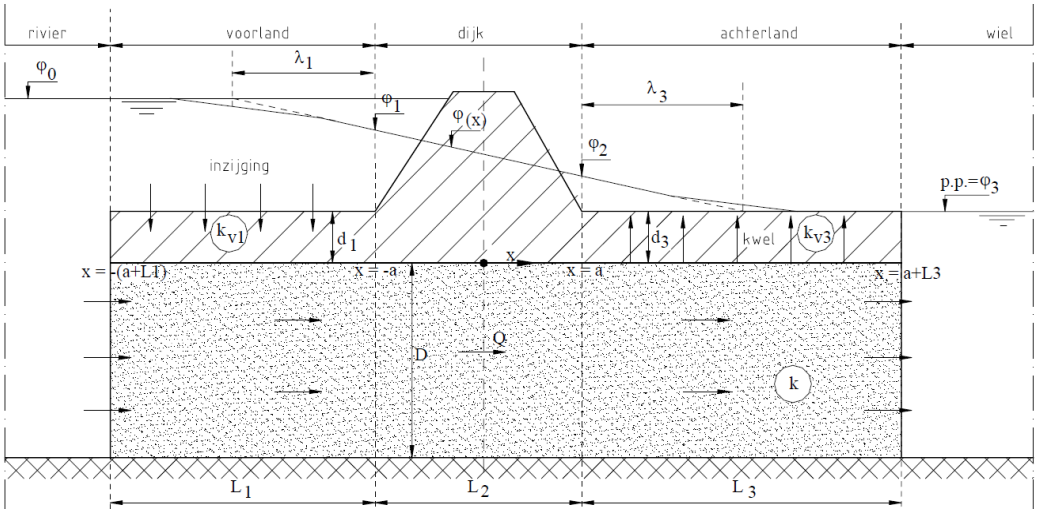
Berekening waterspanning model 4B (wel deklaag in voorland en geen deklaag in achterland)



Lineair verloop van de stijghoogte in de zandondergrond

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	L;1 m	L;2 m	D;wvp m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5,11	3,8	0	20,5	50	**5,11**	**4,60**	**4,48**
2	GHW	2,94	3,8	0	20,5	50	**2,94**	**3,27**	**3,35**
3	-	5,11	3,8	0	20,5	50	**5,11**	**4,60**	**4,48**
4	-	5,11	3,8	0	20,5	50	**5,11**	**4,60**	**4,48**
5	-	5,11	3,8	0	20,5	50	**5,11**	**4,60**	**4,48**
D	**Definitieve berekening**	5,11	3,8	0	20,5	50	**5,11**	**4,60**	**4,48**

Berekening waterspanning model 4A (kleidijk met deklaag in voorland en deklaag in achterland)



Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk

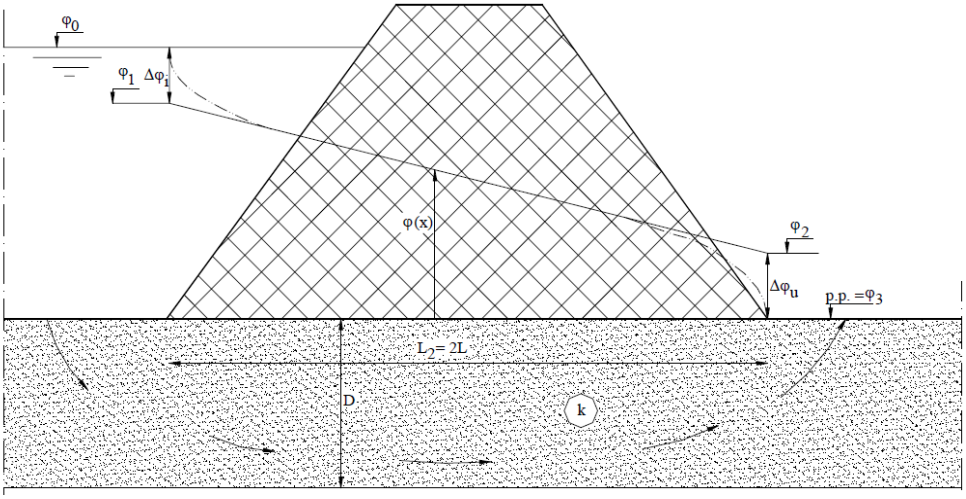
	Situatie	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	d;1 m	L;1 m	L;2 m	d;3 m	L;3 m
1	Basisschematisatie	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5
2	GHW	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5
3	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5
4	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5
5	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5
D	**Definitieve berekening**	2,01E-04	50	0,01005	0	0	20,5	1	22,5

Bepaling weerstand

	Situatie	c;1 s	λ;1 m	*voorland* W;1 m	*watervoerend pakket* W;2 m	c;3 s	λ;3 m	*achterland* W;3 m
1	Basisschematisatie	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8
2	GHW	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8
3	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8
4	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8
5	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8
D	**Definitieve berekening**	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2039,8	100,0	1,00	99,8

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;1 m NAP	φ;2 m NAP	φ;3 m NAP	ϕ;BIK m NAP
1	Basisschematisatie	5,11	**5,11**	**3,86**	3,8	**4,47**
2	GHW	2,94	**2,94**	**3,76**	3,8	**3,36**
3	-	5,11	**5,11**	**3,86**	3,8	**4,47**
4	-	5,11	**5,11**	**3,86**	3,8	**4,47**
5	-	5,11	**5,11**	**3,86**	3,8	**4,47**
D	**Definitieve berekening**	5,11	**5,11**	**3,86**	3,8	**4,47**

Berekening waterspanning model 4B (kleidijk zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland)



Schematisering van een lineair stijghoogteverloop in de dijk

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	L;2 m
1	Basisschematisatie	5,11	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5
2	GHW	2,94	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5
3	-	5,11	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5
4	-	5,11	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5
5	-	5,11	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5
D	Definitieve berekening	5,11	3,8	2,01E-04	50	0,01005	20,5

	Situatie	W;t m	W;2 m	W;u m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	6417,9	2039,8	2189,1	4,66	4,33	4,25
2	GHW	6417,9	2039,8	2189,1	3,23	3,45	3,51
3	-	6417,9	2039,8	2189,1	4,66	4,33	4,25
4	-	6417,9	2039,8	2189,1	4,66	4,33	4,25
5	-	6417,9	2039,8	2189,1	4,66	4,33	4,25
D	Definitieve berekening	6417,9	2039,8	2189,1	4,66	4,33	4,25

Opbarsten, heave en piping voor een groene kering (STPH)

Piping (onderloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten en heave niet relevant waardoor er direct een pipingberekening uitgevoerd kan worden.

Uitgangspunten

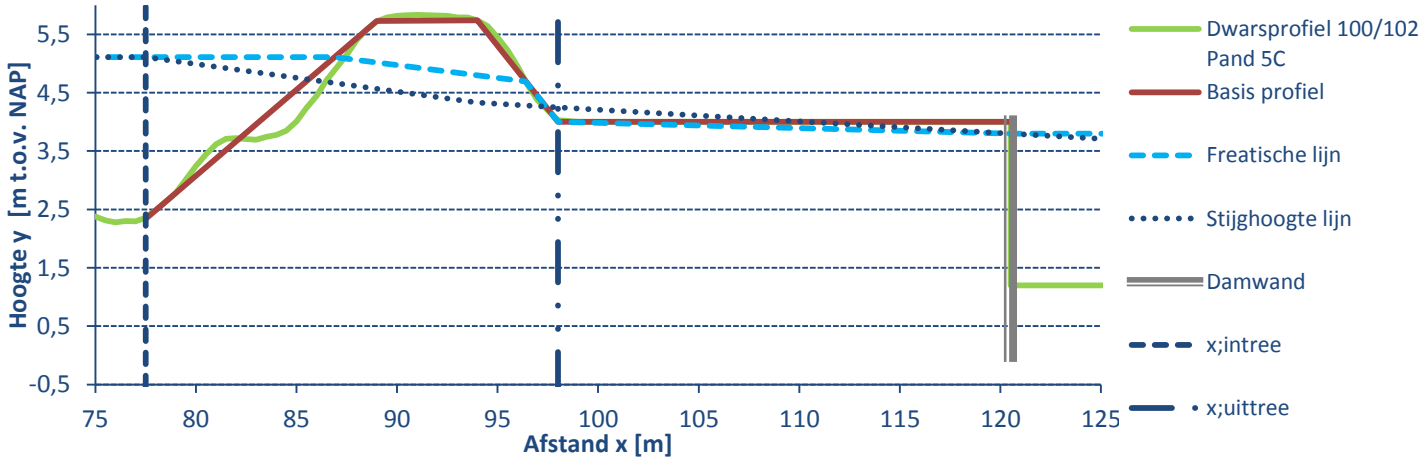
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;b	1,1	-	*Schematiseringsfactor, Sellmeijer*	GSD
γ;mp	1,2	-	*Schadefactor of sterktefactor, Sellmeijer*	GSD
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	77,5	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	98	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	4	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Kanaalpeil tijdens MHW
ϕ;BIT	4,25	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	4,35	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	ϕ;BIT+0,1 m (Opstuwing voorzijde damwand)
ΔH;aanwezig	1,31	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	MHW - h;p



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, geen deklaag aanwezig *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten en heave is niet uitgevoerd

Piping (formule van Sellmeijer)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	43	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	20,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
ϴ	37	°	*Rolweerstandshoek van de zandkorrels*	ORZW 2012
ŋ	0,25	-	*Coëfficiënt van White*	ORZW 2012
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerend pakket*	Op basis van ervaring
k	17,34	m/dag	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d70	304	µm	*70-percentielwaarde v/d korrelverdeling*	Op basis van korrelverdelingen
d70;m	208	µm	*Gemiddelde d70-waarde*	ORZW 2012
RD	n.v.t.	-	*De invloed van de relatieve dichtheid is in de toetsregel meegenomen*	
RD;m	n.v.t.	-	*in de modelonzekerheid (RD/RDm=1)*	
y;p	16	kN/m3	*Volumegewicht zandkorrels onder water*	ORZW 2012
y;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten en heave is niet uitgevoerd

Pipingberekening (formule van Sellmeijer 2012)

	Situatie	MHW m NAP	h;p m NAP	DeltaH m	d m	D m	L;h;aanw. m	k m/dag	yp kN/m3
1	Basisschematisatie	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	17,34	16
2	Schematiseringsfactor 1,0	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	17,34	16
3	Schematiseringsfactor 1,2	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	17,34	16
4	Doorlatendheid x2	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	34,68	16
5	-	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	17,34	16
D	**Definitieve berekening**	5,11	3,8	1,31	0	50	20,5	17,34	16

	Situatie	d70 µm	yb -	ymp -	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m
1	Basisschematisatie	304	1,1	1,2	1,33	1,31
2	Schematiseringsfactor 1,0	304	1	1,2	1,46	1,31
3	Schematiseringsfactor 1,2	304	1,2	1,2	1,22	1,31
4	Doorlatendheid x2	304	1,1	1,2	1,06	1,31
5	-	304	1,1	1,2	1,33	1,31
D	**Definitieve berekening**	304	1,1	1,2	1,33	1,31

Toets op piping

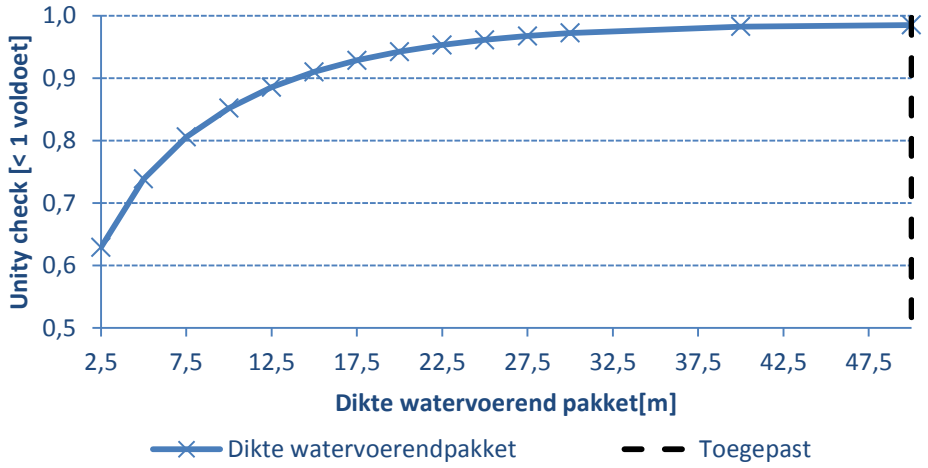
	Situatie	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m	Unity check -		L;benod m	L;tekort m
1	Basisschematisatie	1,33	1,31	0,99	Voldoet	20,05	-0,45
2	Schematiseringsfactor 1,0	1,46	1,31	0,90	Voldoet	17,37	-3,13
3	Schematiseringsfactor 1,2	1,22	1,31	1,07	Voldoet niet	22,82	2,32
4	Doorlatendheid x2	1,06	1,31	1,24	Voldoet niet	28,14	7,64
5	-	1,33	1,31	0,99	Voldoet	20,05	-0,45
D	**Definitieve berekening**	1,33	1,31	0,99	Voldoet	20,05	-0,45

Conclusie

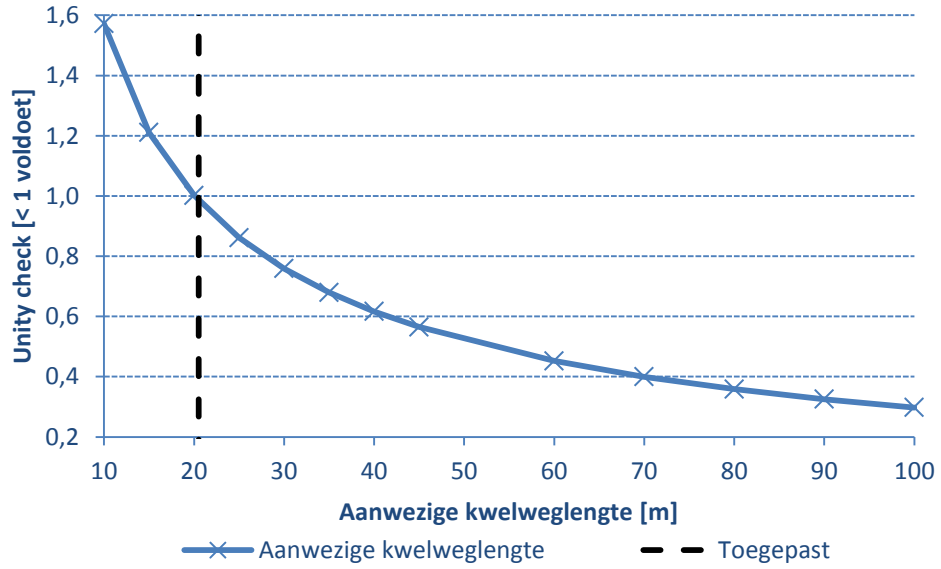
Er is geen deklaag aanwezig in het voorland. Daarom is er enkel een pipingberekening uitgevoerd en geen opbarst- en heaveberekening. Er zijn 4 verschillende situaties berekend. De basisschematisatie voldoet net op piping (schematiseringsfactor 1,1). Indien de schematiseringsfactor wordt verhoogd naar 1,2 voldoet het dwarsprofiel niet op het faalmechanisme piping. Omdat het dijkvak relatief klein is met slecht een beperkte variatie in bodemopbouw is er voor gekozen om de veiligheidsfactor van 1,1 te handhaven. Er is gerekend met een relatief lage doorlatendheid, welke is berekend op basis van hoog gemiddelde waardes van de d10 en de d60 (berekend op basis van lokale normaal verdeelde korrelverdelingen). Deze relatief lage doorlatendheid gaat gepaard met een lage d70-waarde (laag gemiddelde waarde). Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Sellmeijer 2012 (o.b.v. definitieve berekening)

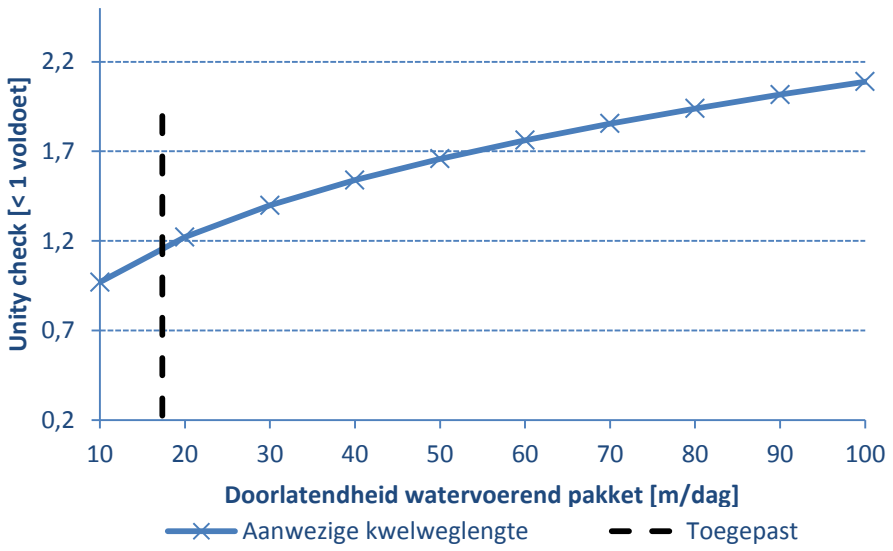
Dikte van het watervoerend pakket



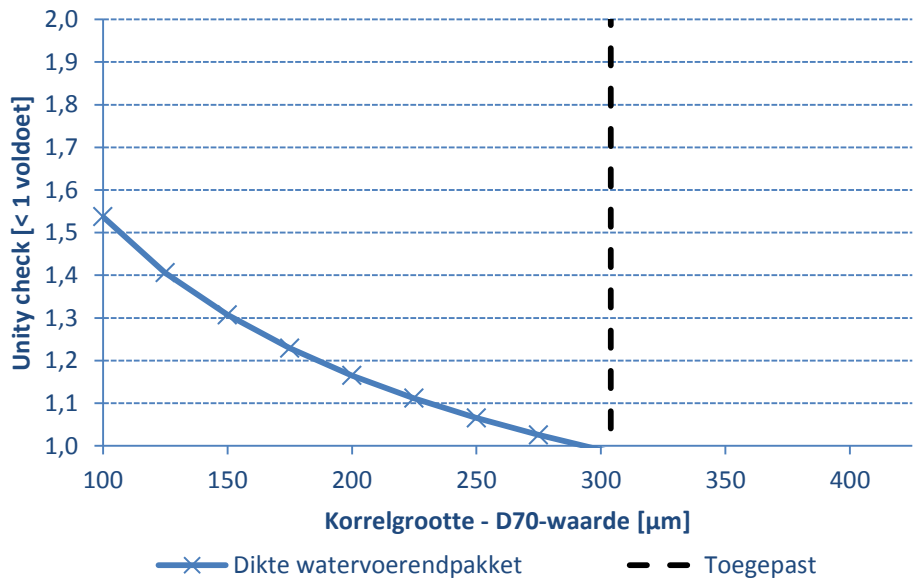
Aanwezig kwelweglengte



Doorlatendheid van het watervoerend pakket



Korrelgrootte (de d70-waarde)



Opbarsten, heave en piping voor een constructie (STPH)

Piping (onder- of achterloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten niet relevant waardoor er direct een heave berekening en een pipingberekening uitgevoerd kunnen worden.

Uitgangspunten

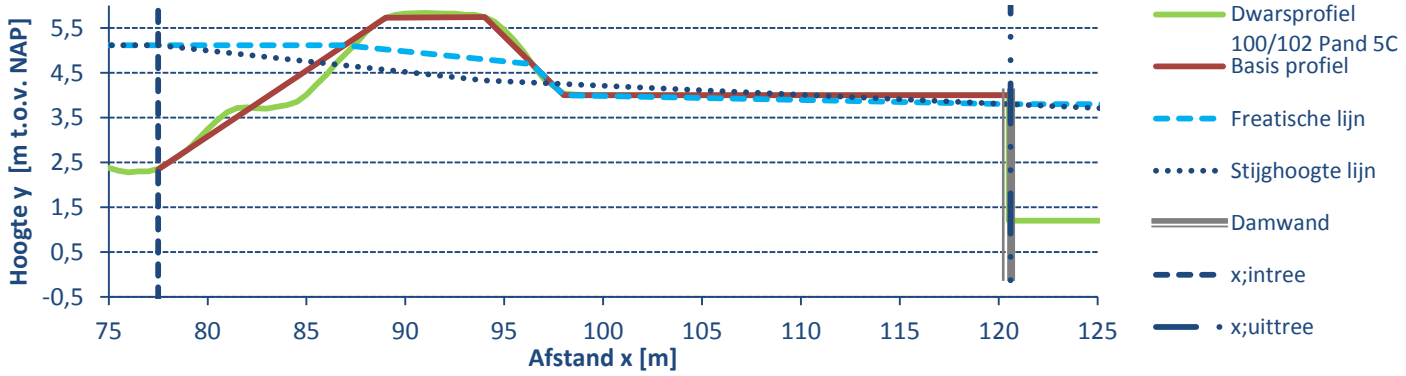
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;Lane	1	-	*Veiligheidsfactor voor Lane*	ORZW 2012
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	77,5	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	120,6	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	4	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3,8	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	maaiveld
ϕ;BIT	4,25	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	4,25	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	-
ΔH;aanwezig	1,31	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	= MHW - y;uittree



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, bodem kanaal — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heave

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
L;v;heave	1,2	m	*Afstand waarover heave kan optreden*	Afstand tussen Okdamwand en kanaalbodem
ϕ;0	4,25	m NAP	*Stijghoogte onderkant constructie*	Gelijk aan stijghoogte voor de damwand

Piping (formule van Lane)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	43	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	43,1	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
C;w;creep	7	-	*creep factor Lane met γ=1,0*	Laaggemiddelde d50 = 209 um
L;damwand	4	m	*Lengte van de damwand*	-
L;v;aanw.	2,43	m	*Aanwezige verticale kwelweglengte*	Kanaalbodem = NAP +1,2 m, Okdeklaag 1,23
y;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming achter de constructie het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	L;v;heave m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50
2	-	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50
3	-	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50
4	-	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50
5	-	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50
D	**Definitieve berekening**	4,25	3,8	0,45	1,2	0,38	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,38	0,50	0,75	Voldoet
2	-	0,38	0,50	0,75	Voldoet
3	-	0,38	0,50	0,75	Voldoet
4	-	0,38	0,50	0,75	Voldoet
5	-	0,38	0,50	0,75	Voldoet
D	**Definitieve berekening**	0,38	0,50	0,75	Voldoet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet op heave. Dit betekend dat voor het dwarsprofiel met constructie geen piping kan optreden.
De berekening op piping is toch uitgevoerd ter informatie.

Pipingberekening (formule van Lane)

De pipingberekening is uitgevoerd aan de hand van de formule van Lane (ORZW 2012). De formule van Lane neemt zowel een horizontale als een verticale kwelweglengte in rekening.

	Situatie	MHW m NAP	Hbinnen m NAP	DeltaH m	d m	C;w;creep -	L;h;aanw. m	L;v;aanw. m	y;Lane -
1	Basisschematisatie	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1
2	-	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1
3	-	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1
4	-	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1
5	-	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1
D	**Definitieve berekening**	5,11	3,8	1,31	0	7	43,1	2,43	1

Toets op piping

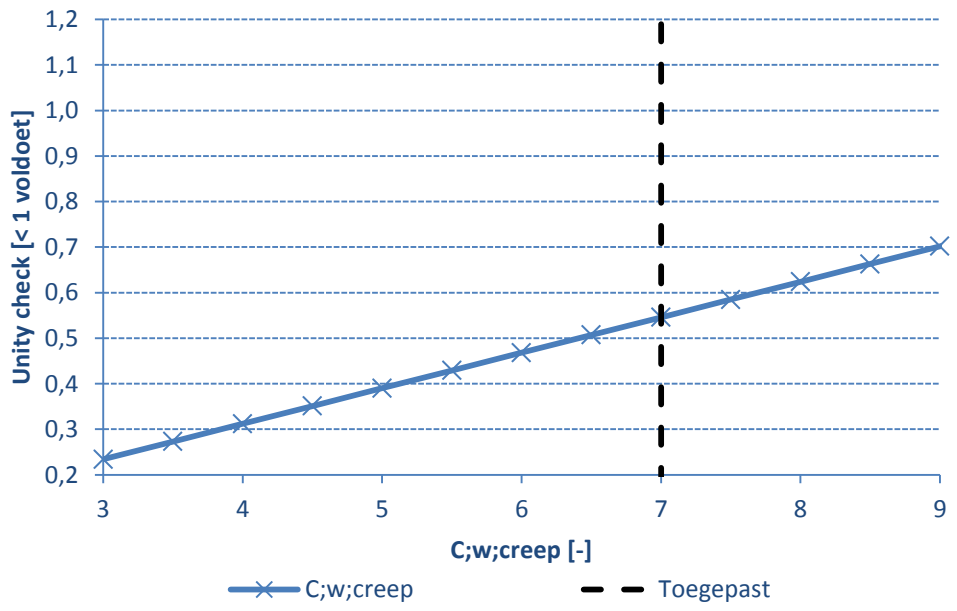
	Situatie	ΔHc;y;Lane m	ΔH;optr m	Unity check -		l;h;tekort [m]	l;v;tekort [m]	L;damwand [m]
1	Basisschematisatie	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00
2	-	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00
3	-	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00
4	-	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00
5	-	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00
D	**Definitieve berekening**	2,40	1,31	0,55	Voldoet	0,00	0,00	0,00

Conclusie

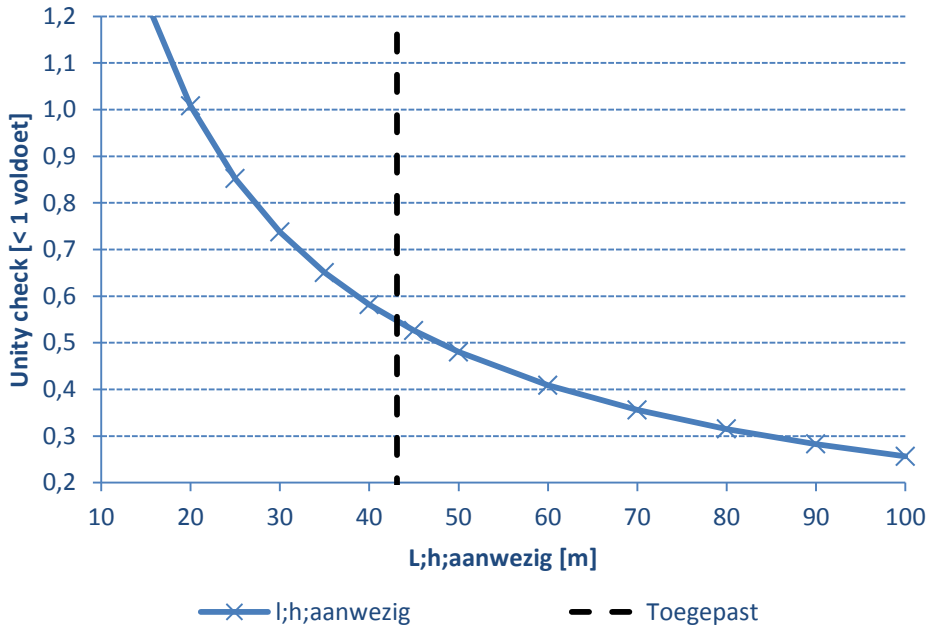
De definitieve berekening voldoet op zowel heave als piping. Er is enkel sprake van een kwelweg tot aan de damwand indien de kleilaag (onderkant NAP +1,23) doorloopt vanaf de buitenteen tot aan het kanaal. Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme piping en heave (STPH) met constructie.

Gevoeligheidsanalyse Lane (o.b.v. definitieve berekening)

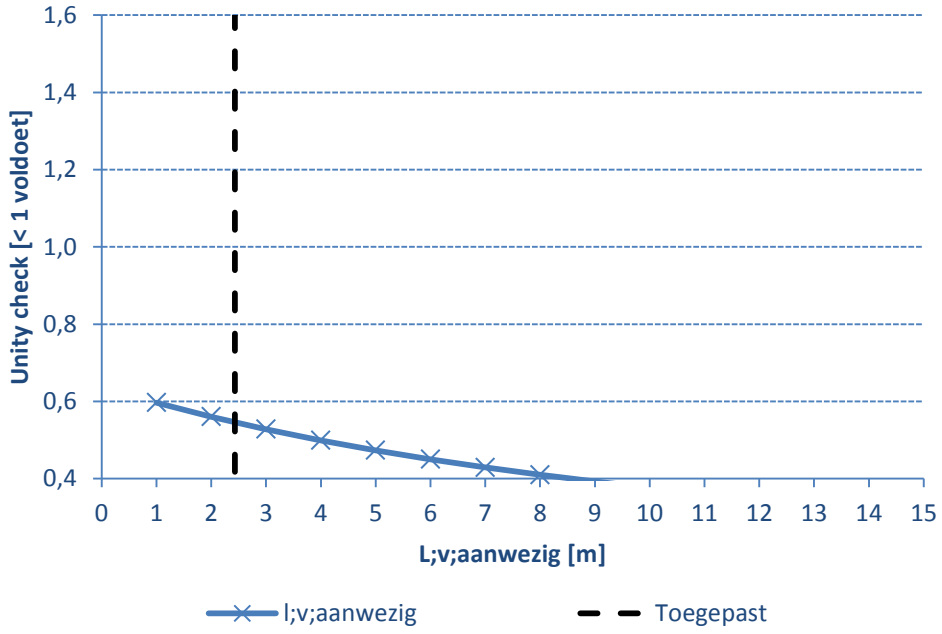
C;w;creep factor



Aanwezige horizontale kwelweglengte



Aanwezige verticale kwelweglengte (damwandlengte)



Microstabiliteit, opdrukken en afschuiven van de deklaag (STMI)

De toetsing/het ontwerp op microstabiliteit bestaat uit drie onderdelen: 1ste check opdrukken (globaal), 2e check opdrukken (gedetailleerd) en afschuiven. Indien wordt voldaan aan zowel opbarsten en afschuiven is de eindscore voor het faalmechanisme STMI 'goed'. Conform Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies - TRWG (2001)

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;m;w	1,0	-	*Volumegewicht water*	TRWG 2001
γ;m;g	1,0	-	*Volumegewicht grond*	-
γ;m;c	1,25	-	*Cohesie*	-
γ;m;ϕ	1,1	-	*Hoek van inwendige wrijving*	-
γ;d*γ;n opd	2,0	-	*Overal veiligheidsfactor opdrukken*	-
γ;d;af	1,1	-	*Modelfactor afschuiven*	-
γ;n;af	1,1	-	*Schadefactor afschuiven*	-

Uitgangspunten basisschematisatie

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
Talud	1:2,30	-	*Binnentalud (verticaal : horizontaal)*	-
α	23,46	°	*Taludhelling*	-
BIT;fr	4,00	m NAP	*Freatischelijn ter plaatse van de binnenteer*	Maaiveldniveau binnenteen
ϕ;BIK	4,33	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenkruin*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;Kern	4,43	m NAP	*Stijghoogte in de kern van de dijk*	Opstuwing voor damwand (+0,1 m)
ΔH;STMI	0,43	m	*Kerende hoogte op het laagste punt*	-
c	2,5	kN/m2	*Cohesie*	-
φ	22,5	°	*Hoek van inwendige wrijving*	-
tan(φ)	0,41	-	*Tangent hoek van inwendige wrijving*	-
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	-

Grondeigenschappen

Deel	Grondsoort	Dikte vertic	γ;nat [kN/m3]
1	Klei	0,6	17,50
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Dikte verticaal totaal	0,6	17,50
	Dikte loodrecht totaal	0,55	

Maatgevende boring/sondering: B-111 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opdrukken - 1ste check: 1-dimensionaal (zonder cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	γ;nat kN/m3	d m	α °	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67
2	-	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67
3	-	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67
4	-	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67
5	-	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67
D	**Definitieve berekening**	17,50	0,55	23,46	1,00	8,67

Waterdruk onder de deklaag

	Situatie	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	ΔH;STMI m	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2	1	0,43	8,44
2	-	2	1	0,43	8,44
3	-	2	1	0,43	8,44
4	-	2	1	0,43	8,44
5	-	2	1	0,43	8,44
D	**Definitieve berekening**	2	1	0,43	8,44

Toets op opdrukken 1ste check

	Situatie	Gronddruk kN/m3	Waterdruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	8,67	8,44	0,97	Voldoet
2	-	8,67	8,44	0,97	Voldoet
3	-	8,67	8,44	0,97	Voldoet
4	-	8,67	8,44	0,97	Voldoet
5	-	8,67	8,44	0,97	Voldoet
D	**Definitieve berekening**	8,67	8,44	0,97	Voldoet

Opdrukken - 2e check: 2-dimensionaal (inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Waterdruk onder de deklaag

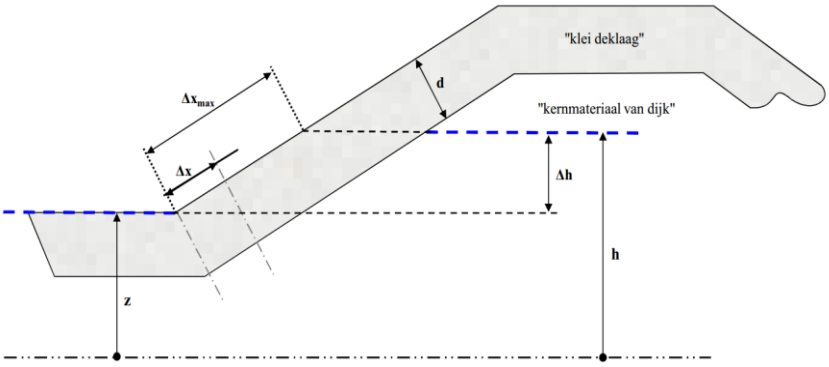
	Situatie	ΔH;STMI m	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,43	2,00	1,00	3,24
2	-	0,43	2,00	1,00	3,24
3	-	0,43	2,00	1,00	3,24
4	-	0,43	2,00	1,00	3,24
5	-	0,43	2,00	1,00	3,24
D	**Definitieve berekening**	0,43	2,00	1,00	3,24

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	c kN/m2	tan(φ) -	φ °	γ;nat kN/m3	d m	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24
2	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24
3	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24
4	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24
5	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24
D	**Definitieve berekening**	2,50	0,41	22,50	17,50	0,55	1,00	7,24

Controle en toetsing op opdrukken

	Situatie	α °	Δx;max m	Δx m	Δx<Δxmax -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet
2	-	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet
3	-	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet
4	-	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet
5	-	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet
D	Definitieve berekening	23,46	1,08	0,50	Oké	3,24	7,24	0,45	Voldoet



Afschuiven

(inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

	Situatie	ΔH;STMI m	α °	sin(α) °	tan(α) °	d m	φ °	tan(φ) -	c kN/m2
1	Basisschematisatie	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50
2	-	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50
3	-	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50
4	-	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50
5	-	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50
D	Definitieve berekening	0,43	23,46	0,40	0,43	0,55	22,50	0,41	2,50

	γ;nat kN/m3	γ;m;g -	γ;m;w -	γ;m;c -	γ;m;ϕ -	γ;d;af -	γ;n;af -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30
2	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30
3	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30
4	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30
5	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30
D	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	-2,26	9,30

Toets op afschuiven

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	-2,26	9,30	0,00	Voldoet
2	-	-2,26	9,30	0,00	Voldoet
3	-	-2,26	9,30	0,00	Voldoet
4	-	-2,26	9,30	0,00	Voldoet
5	-	-2,26	9,30	0,00	Voldoet
D	Definitieve berekening	-2,26	9,30	0,00	Voldoet

Conclusie

Voor dit dwarsprofiel is een situatie doorgerekend met een deklaag van 0,55 m dik (loodrecht op het talud). De situatie voldoet onder maatgevende omstandigheden op opdrukken en afschuiven van de kleilaag. Dit dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme microstabiliteit (STMI).

Ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen Royal Haskoning DHV

Apeldoorns Kanaal

Klant:	Waterschap Vallei en Veluwe
Referentie:	CALF01
Projectnummer:	BE5115-100-100
Versie:	1/Definitief
Ontwerpniveau:	Veiligheidsanalyse
Datum:	25-10-2016
Dwarsprofiel:	111 Pand 6B
Auteur(s):	Tom de Wit
Gecontroleerd door:	Ilse Hergarden
Datum/Initialen:	

De volgende onderdelen zijn toegepast en onderdeel van deze bijlage:

Uitgangspunten	Ja
Waterspanningen (WS)	Ja
Piping (STPH) groen	Ja
Piping (STPH) constructie	Ja
Microstabiliteit (STMI)	Ja

Inputcel
Berekencel
Standaard waarde
Rekenresultaat

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Uitgangspunten

Voorliggende bijlage is een product van de ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen. Deze Excel sheet is gebaseerd op het Ontwerp Instrumentarium 2014 versie 3 (OI2014v3).

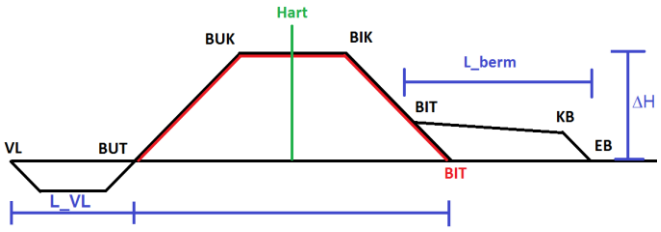
Algemene dijkring informatie

	Waarde	Eenheid	Bron
Normtraject	52-4	-	-
Traject lengte	4,5	km	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
Signaalkans	1:3000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
MTK	1:1000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)

Basisschematisatie

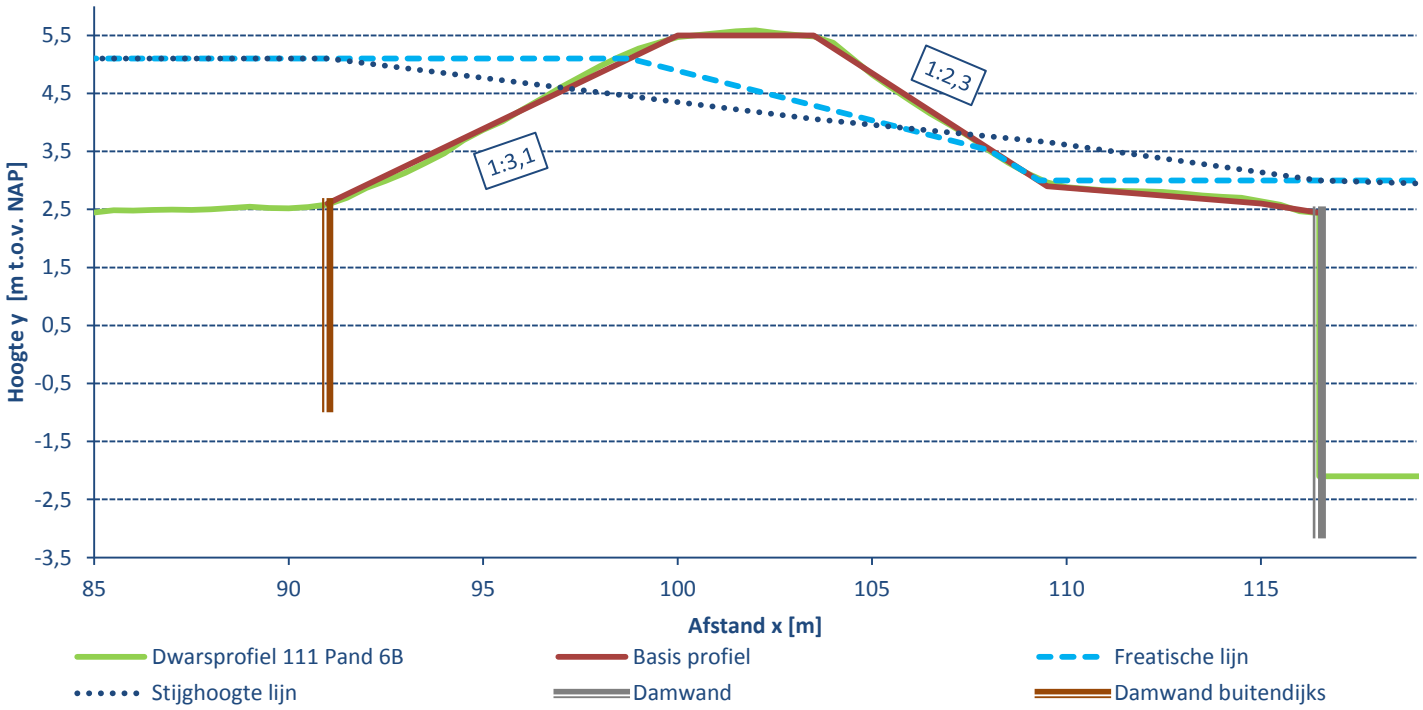
De geometrie van het dijklichaam zoals deze is meegenomen in de hierop volgende berekeningen

Dijklichaam	x	y	
Buitenteen	91	2,6	BUT
Buitenkruin	100	5,5	BUK
Hart	101,75	5,5	Hart
Binnenkruin	103,5	5,5	BIK
Binnenteen	109,5	2,9	BIT
Kruinberm	115	2,6	KB
Einde berm	116,5	2,44	EB



Damwand	x	y	
van	116,5	2,44	m NAP
tot	116,5	-3,06	m NAP

Freatische lijn (FL)	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,1	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
BIK;fr	#N/A	m NAP	*FL binnenkruin*	Conform waterspanningen bij dijken
BIT;fr	3,53	m NAP	*FL binnenteen*	Conform waterspanningen bij dijken
KB;fr	3	m NAP	*FL kruin van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
EB;fr	3	m NAP	*FL einde van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
GHW	2,92	m NAP	*Gem. jaarlijks hoogwater*	Waternormalen rijkswaterstaat



Stijghoogte

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
ϕ;VL	5,1	m NAP	*Stijghoogte start voorland*	Gelijk aan het maatgevend hoog water
ϕ;BUT	5,1	m NAP	*Stijghoogte buitenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIT	3,66	m NAP	*Stijghoogte binnenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;EB	3	m NAP	*Stijghoogte einde berm*	Waterspanningen bij dijken

Toegepast model waterspanningen: 3. Model B: Zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland

Verloop waterspanningen

Het verloop van de waterspanningen in de waterkering is bepaald aan de hand van Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (2004). De waterspanningen zijn berekend aan de hand van de maatgevend hoogste waterstand en de gemiddeld jaarlijks hoogste waterstand. Afhankelijk van de aanwezigheid van een voorland en/of achterland zijn voor 3 situaties de waterspanningen bepaald.

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

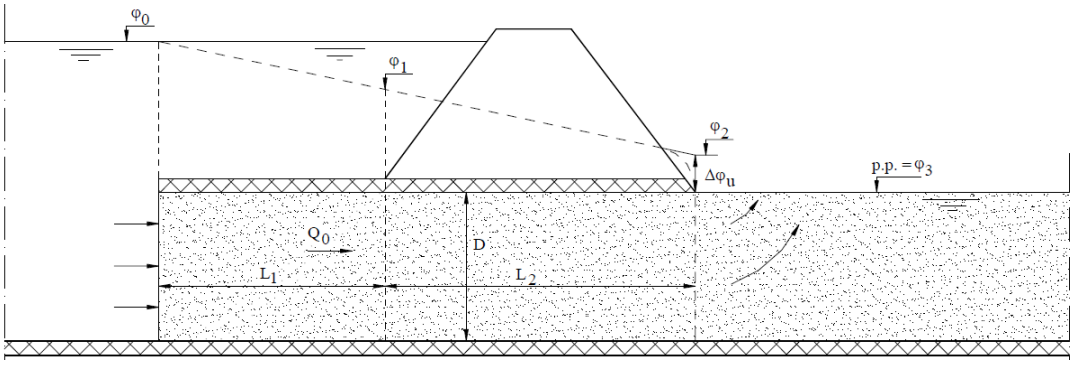
Input voor model 4B

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,1	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
EB;fr	3	m NAP	*Freatische lijn einde berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
φ;0	5,1	m NAP	*stijghoogte bij start voorland*	Gelijk aan MHW
φ;3	3	m NAP	*Polderpeil*	Gelijk aan EB;fr
L;1	0	m	*Lengte voorland*	Er is geen voorland aanwezig
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerendpakket*	Op basis van ervaring
L;2	25,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	-

Aanvullende input voor model 4A

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
k	2,01E-04	m/s	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	ORZW 2012, rivierzand rivierengebied
d;1	0	m	*Dikte deklaag voorland*	Niet aanwezig
k;v;1	0	m/dag	*Verticale doorlatendheid deklaag voorland*	Niet aanwezig
d;3	1	m	*Dikte deklaag achterland*	-
k;v;3	0,01	m/dag	*Verticale doorlatendheid achterland*	-
L;3	7	m	*Lengte achterland*	-

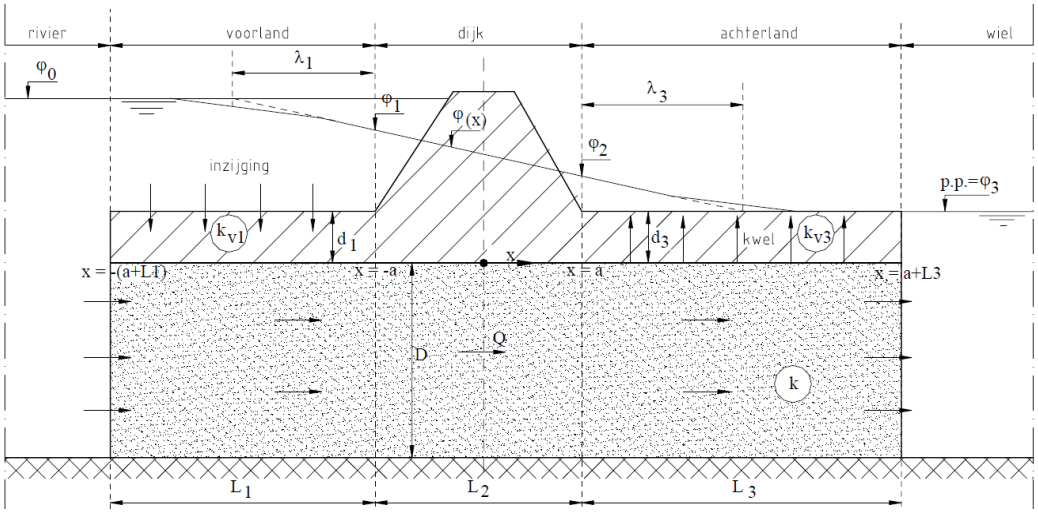
Berekening waterspanning model 4B (wel deklaag in voorland en geen deklaag in achterland)



Lineair verloop van de stijghoogte in de zandondergrond

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	L;1 m	L;2 m	D;wvp m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5,1	3	0	25,5	50	**5,10**	**4,55**	**3,97**
2	GHW	2,92	3	0	25,5	50	**2,92**	**2,94**	**2,96**
3	-	5,1	3	0	25,5	50	**5,10**	**4,55**	**3,97**
4	-	5,1	3	0	25,5	50	**5,10**	**4,55**	**3,97**
5	-	5,1	3	0	25,5	50	**5,10**	**4,55**	**3,97**
D	**Definitieve berekening**	5,1	3	0	25,5	50	**5,10**	**4,55**	**3,97**

Berekening waterspanning model 4A (kleidijk met deklaag in voorland en deklaag in achterland)



Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk

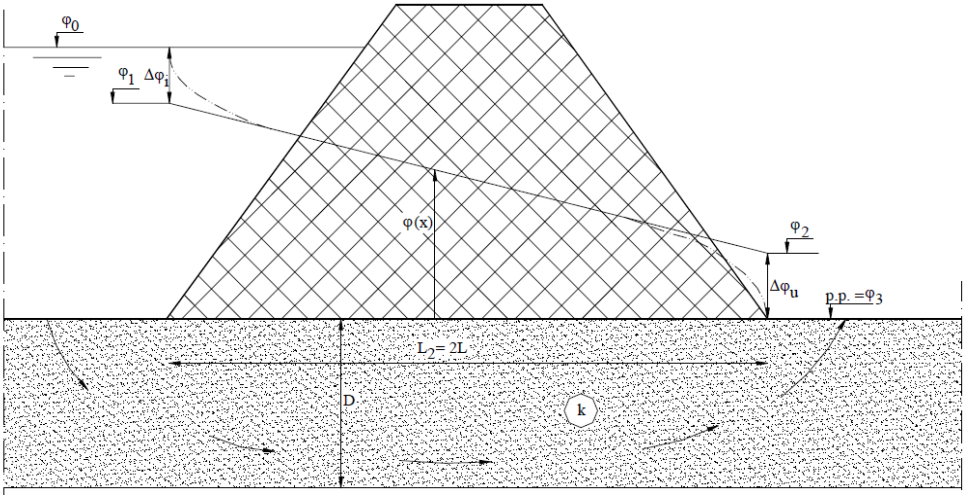
	Situatie	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	d;1 m	L;1 m	L;2 m	d;3 m	L;3 m
1	Basisschematisatie	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7
2	GHW	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7
3	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7
4	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7
5	-	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7
D	**Definitieve berekening**	2,01E-04	50	0,01005	0	0	25,5	1	7

Bepaling weerstand

	Situatie	c;1 s	λ;1 m	*voorland* W;1 m	*watervoerend pakket* W;2 m	c;3 s	λ;3 m	*achterland* W;3 m
1	Basisschematisatie	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8
2	GHW	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8
3	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8
4	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8
5	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8
D	**Definitieve berekening**	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2537,3	100,0	1,00	99,8

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;1 m NAP	φ;2 m NAP	φ;3 m NAP	ϕ;BIK m NAP
1	Basisschematisatie	5,1	**5,10**	**3,08**	3	**4,07**
2	GHW	2,92	**2,92**	**3,00**	3	**2,96**
3	-	5,1	**5,10**	**3,08**	3	**4,07**
4	-	5,1	**5,10**	**3,08**	3	**4,07**
5	-	5,1	**5,10**	**3,08**	3	**4,07**
D	**Definitieve berekening**	5,1	**5,10**	**3,08**	3	**4,07**

Berekening waterspanning model 4B (kleidijk zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland)



Schematisering van een lineair stijghoogteverloop in de dijk

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	L;2 m
1	Basisschematisatie	5,1	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5
2	GHW	2,92	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5
3	-	5,1	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5
4	-	5,1	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5
5	-	5,1	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5
D	Definitieve berekening	5,1	3	2,01E-04	50	0,01005	25,5

	Situatie	W;t m	W;2 m	W;u m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	6915,4	2537,3	2189,1	4,44	4,06	3,66
2	GHW	6915,4	2537,3	2189,1	2,95	2,96	2,97
3	-	6915,4	2537,3	2189,1	4,44	4,06	3,66
4	-	6915,4	2537,3	2189,1	4,44	4,06	3,66
5	-	6915,4	2537,3	2189,1	4,44	4,06	3,66
D	Definitieve berekening	6915,4	2537,3	2189,1	4,44	4,06	3,66

Opbarsten, heave en piping voor een groene kering (STPH)

Piping (onderloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten en heave niet relevant waardoor er direct een pipingberekening uitgevoerd kan worden.

Uitgangspunten

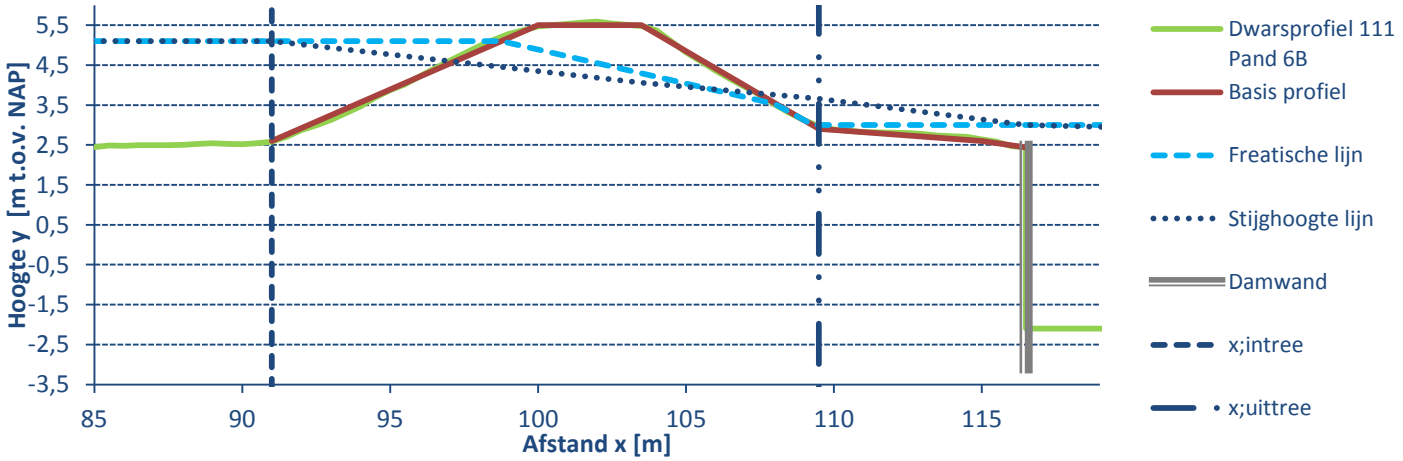
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;b	1,1	-	*Schematiseringsfactor, Sellmeijer*	GSD
γ;mp	1,2	-	*Schadefactor of sterktefactor, Sellmeijer*	GSD
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	91	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	109,5	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	2,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Kanaalpeil tijdens MHW
ϕ;BIT	3,66	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	3,96	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	ϕ;BIT+0,3 m (Opstuwing voorzijde damwand)
ΔH;aanwezig	2,1	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	MHW - h;p



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	klei	1,1	17,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	1,1	17,00

Maatgevende boring/sondering: DKM 006/007/008 *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opbarsten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
OK deklaag	1,8	m NAP	*Onderkant van de deklaag*	DKM006/007/008
ϕ;z;HHW	0	m NAP	*Stijgh. bij historisch hoogwater*	Gegevens niet aanwezig
ϕ;z;GHW	3	m NAP	*Stijgh. bij gemiddelde jaarlijks hoogwater*	Gelijk aan h;p GHW=2,92

Heave

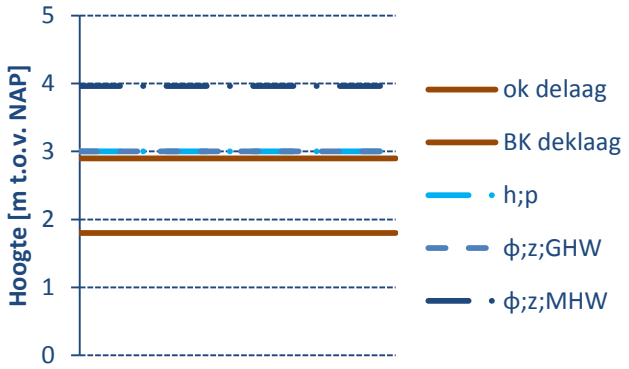
	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
ϕ;0	3,96	m NAP	*Stijghoogte onderkant deklaag*	is gelijk aan ϕ;z; MHW

Piping (formule van Sellmeijer)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	25,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	18,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
Θ	37	°	*Rolweerstandshoek van de zandkorrels*	ORZW 2012
η	0,25	-	*Coëfficiënt van White*	ORZW 2012
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerend pakket*	Op basis van ervaring
k	17,34	m/dag	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d70	304	µm	*70-percentielwaarde v/d korrelverdeling*	Op basis van korrelverdelingen
d70;m	208	µm	*Gemiddelde d70-waarde*	ORZW 2012
RD	n.v.t.	-	*De invloed van de relatieve dichtheid is in de toetsregel meegenomen*	
RD;m	n.v.t.	-	*in de modelonzekerheid (RD/RDm=1)*	
γ;p	16	kN/m3	*Volumegewicht zandkorrels onder water*	ORZW 2012
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Berekening op opbarsten

In naaststaande grafiek zijn de belangrijkste uitgangspunten van de berekening op opbarsten weergegeven. Deze bestaan uit de dikte van de deklaag en de bijbehorende stijghoogtelijnen onder verschillende omstandigheden. Ten aanzien van de stijghoogte lijnen geldt het volgende:
- De ϕ;z;HHW-lijn kan niet hoger zijn dan de ϕ;z;MHW-lijn
- de h;p-lijn kan niet lager zijn dan BK deklaag



Gronddruk

	Situatie	γ;G;std -	d m	γ;nat kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,9	1,1	17,00	6,93
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,9	1,1	17,00	6,93
3	-	0,9	1,1	17,00	6,93
4	-	0,9	1,1	17,00	6,93
5	-	0,9	1,1	17,00	6,93
D	**Definitieve berekening**	0,9	1,1	17,00	6,93

Waterdruk

	Situatie	ϕ;z;GHW m NAP	h;p m NAP	ϕ;z;MHW m NAP	γ;Q;dst -	γ;G;dst -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	3	3	3,96	1,5	1	14,40
2	Zonder opstuwing stijgh.	3	3	3,69	1,5	1	10,35
3	-	3	3	3,96	1,5	1	14,40
4	-	3	3	3,96	1,5	1	14,40
5	-	3	3	3,96	1,5	1	14,40
D	**Definitieve berekening**	3	3	3,96	1,5	1	14,40

Toets op opbarsten

De waterdruk kan nooit hoger zijn dan het niveau van het maatgevend hoog water aan buitendijkse zijde (zie 'Waterdruk bij MHW'). Daarom is hierop een controle uitgevoerd.

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Waterdruk bij MHW kN/m3	Controle -	Gronddruk kN/m3	Unity check -	Toetsresultaat -
1	Basisschematisatie	14,40	21,00	Oké	6,93	2,08	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	10,35	21,00	Oké	6,93	1,49	Voldoet niet
3	-	14,40	21,00	Oké	6,93	2,08	Voldoet niet
4	-	14,40	21,00	Oké	6,93	2,08	Voldoet niet
5	-	14,40	21,00	Oké	6,93	2,08	Voldoet niet
	Definitieve berekening	14,40	21,00	Oké	6,93	2,08	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op opbarsten. Daarom zal er een controle op heave uitgevoerd worden.

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	d m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	3,96	3	0,96	1,1	0,87	0,50
2	Zonder opstuwing stijgh.	3,69	3	0,69	1,1	0,63	0,50
3	-	3,96	3	0,96	1,1	0,87	0,50
4	-	3,96	3	0,96	1,1	0,87	0,50
5	-	3,96	3	0,96	1,1	0,87	0,50
D	**Definitieve berekening**	3,96	3	0,96	1,1	0,87	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,87	0,50	1,75	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,63	0,50	1,25	Voldoet niet
3	-	0,87	0,50	1,75	Voldoet niet
4	-	0,87	0,50	1,75	Voldoet niet
5	-	0,87	0,50	1,75	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	0,87	0,50	1,75	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Sellmeijer 2012)

	Situatie	MHW m NAP	h;p m NAP	DeltaH m	d m	D m	L;h;aanw. m	k m/dag	yp kN/m3
1	Basisschematisatie	5,1	3	2,1	1,1	50	18,5	17,34	16
2	Geen deklaag	5,1	3	2,1	0	50	18,5	17,34	16
3	Schematiseringsfactor 1,0	5,1	3	2,1	0	50	18,5	17,34	16
4	Schematiseringsfactor 1,2	5,1	3	2,1	0	50	18,5	17,34	16
5	Doorlatendheid x2	5,1	3	2,1	0	50	18,5	34,68	16
D	**Definitieve berekening**	5,1	3	2,1	0	50	18,5	17,34	16

	Situatie	d70 µm	yb -	ymp -	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m
1	Basisschematisatie	304	1,1	1,2	1,24	1,77
2	Geen deklaag	304	1,1	1,2	1,24	2,10
3	Schematiseringsfactor 1,0	304	1	1,2	1,37	2,10
4	Schematiseringsfactor 1,2	304	1,2	1,2	1,14	2,10
5	Doorlatendheid x2	304	1,1	1,2	0,99	2,10
D	**Definitieve berekening**	304	1,1	1,2	1,24	2,10

Toets op piping

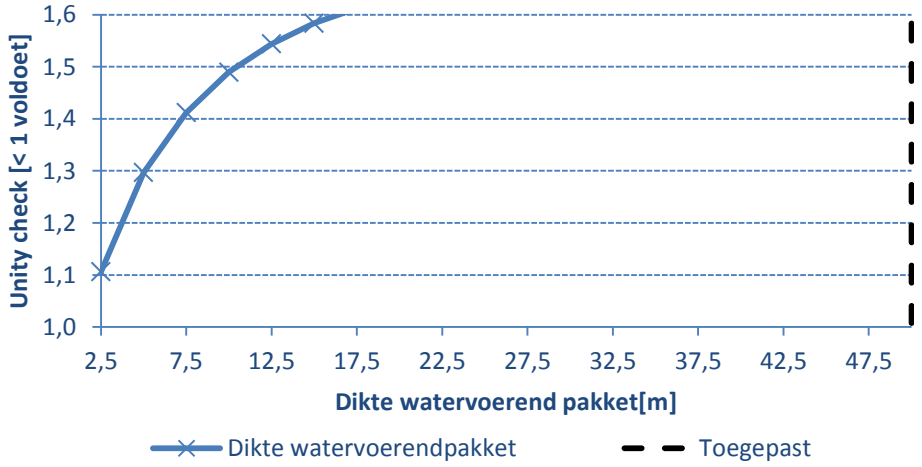
	Situatie	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m	Unity check -		L;benod m	L;tekort m
1	Basisschematisatie	1,24	1,77	1,43	Voldoet niet	31,07	12,57
2	Geen deklaag	1,24	2,10	1,69	Voldoet niet	39,38	20,88
3	Schematiseringsfactor 1,0	1,37	2,10	1,54	Voldoet niet	34,55	16,05
4	Schematiseringsfactor 1,2	1,14	2,10	1,84	Voldoet niet	44,27	25,77
5	Doorlatendheid x2	0,99	2,10	2,13	Voldoet niet	53,47	34,97
D	**Definitieve berekening**	1,24	2,10	1,69	Voldoet niet	39,38	20,88

Conclusie

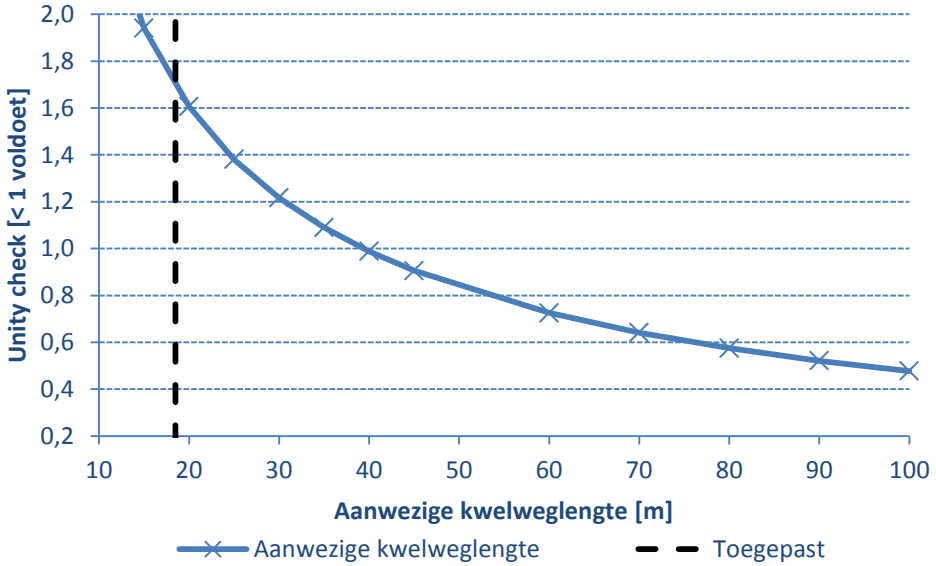
Een situatie met een deklaag van1,1 m voldoet niet op piping. Ondanks de extra uittrede weerstand als gevolg van deze deklaag. Indien de deklaag niet aanwezig is (situatie 2) is er een nog lagere veiligheid tegen piping aanwezig. Deze berekening is opgenomen als definitieve berekening. Er is gerekend met een relatief lage doorlatendheid, welke is berekend op basis van hoog gemiddelde waardes van de d10 en de d60 (berekend op basis van lokale normaal verdeelde korrelverdelingen). Deze relatief lage doorlatendheid gaat gepaard met een lage d70-waarde (laag gemiddelde waarde). Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet niet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Sellmeijer 2012 (o.b.v. definitieve berekening)

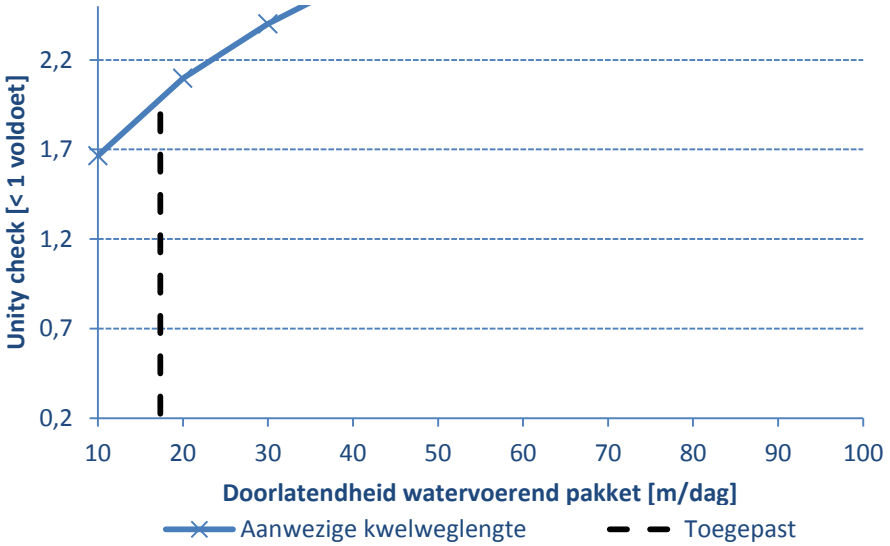
Dikte van het watervoerend pakket

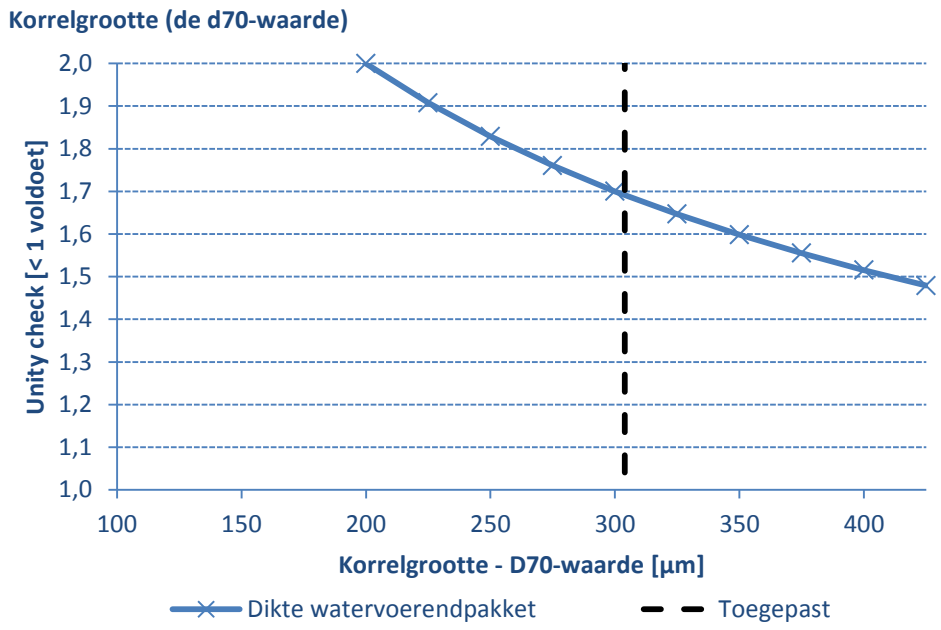


Aanwezig kwelweglengte



Doorlatendheid van het watervoerend pakket




Korrelgrootte (de d70-waarde)
Unity check [< 1 voldoet]
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
100
150
200
250
300
350
400
Korrelgrootte - D70-waarde [µm]
Dikte watervoerendpakket
Toegepast

Opbarsten, heave en piping voor een constructie (STPH)

Piping (onder- of achterloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten niet relevant waardoor er direct een heave berekening en een pipingberekening uitgevoerd kunnen worden.

Uitgangspunten

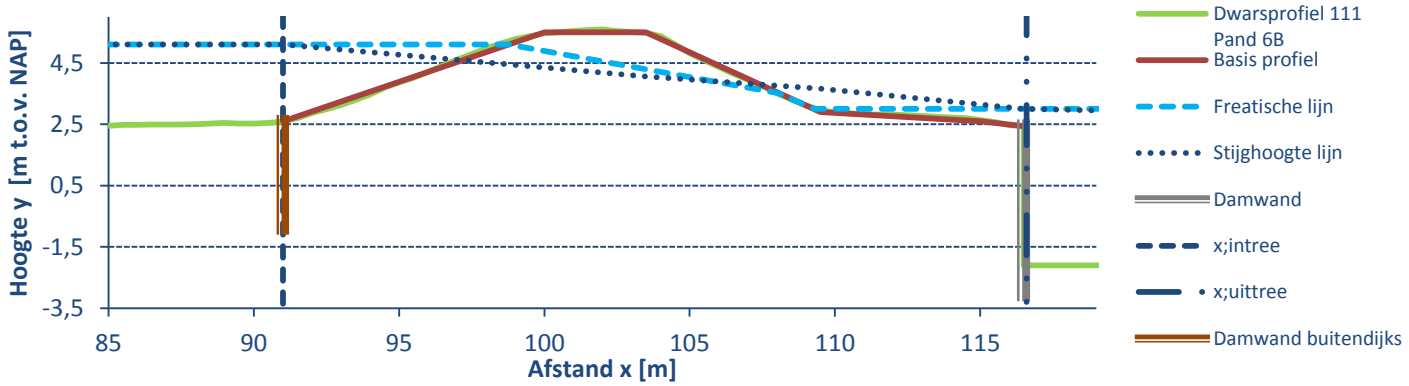
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;Lane	1	-	*Veiligheidsfactor voor Lane*	ORZW 2012
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	91	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	116,6	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	2,9	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	maaiveld
ϕ;BIT	3,66	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	3	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	-
ΔH;aanwezig	2,1	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	= MHW - y;uittree



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, tpv kanaalbodem — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heave

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
L;v;heave	0,96	m	*Afstand waarover heave kan optreden*	Afstand tussen Okdamwand en kanaalbodem
ϕ;0	3,66	m NAP	*Stijghoogte onderkant constructie*	Gelijk aan stijghoogte voor de damwand

Piping (formule van Lane)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	25,5	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	25,5	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
C;w;creep	7	-	*creep factor Lane met γ=1,0*	Laaggemiddelde d50 = 209 um
L;damwand	5,5	m	*Lengte van de damwand*	-
L;v;aanw.	6,62	m	*Aanwezige verticale kwelweglengte*	Kanaalbodem = NAP +1,2 m
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming achter de constructie het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	L;v;heave m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50
2	-	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50
3	-	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50
4	-	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50
5	-	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50
D	**Definitieve berekening**	3,66	3	0,66	0,96	0,69	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**
2	-	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**
3	-	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**
4	-	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**
5	-	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**
D	**Definitieve berekening**	0,69	0,50	1,38	**Voldoet niet**

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Lane)

De pipingberekening is uitgevoerd aan de hand van de formule van Lane (ORZW 2012). De formule van Lane neemt zowel een horizontale als een verticale kwelweglengte in rekening.

	Situatie	MHW m NAP	Hbinnen m NAP	DeltaH m	d m	C;w;creep -	L;h;aanw. m	L;v;aanw. m	y;Lane -
1	Basisschematisatie	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1
2	-	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1
3	-	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1
4	-	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1
5	-	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1
D	**Definitieve berekening**	5,1	3	2,1	0	7	25,5	6,62	1

Toets op piping

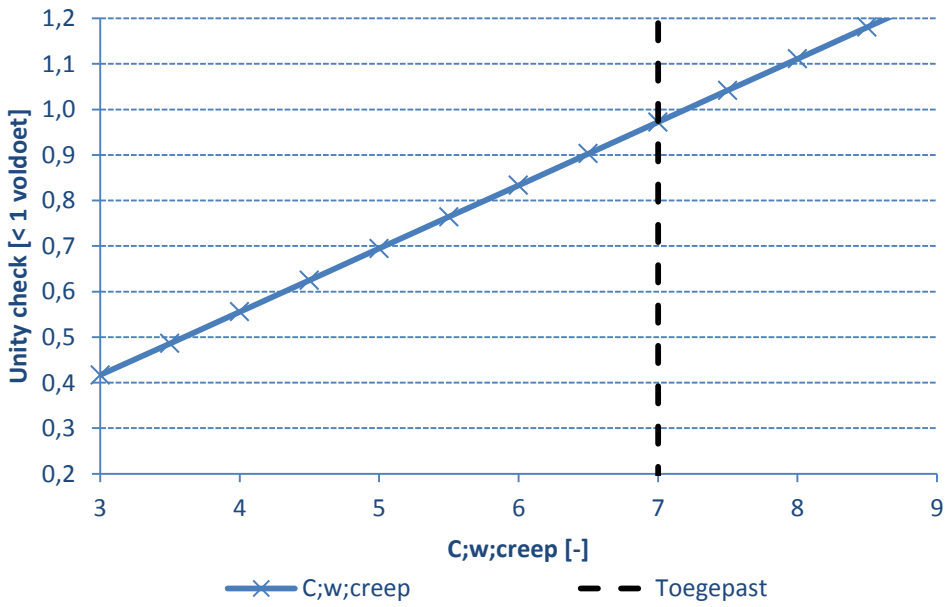
	Situatie	ΔHc;y;Lane m	ΔH;optr m	Unity check -		l;h;tekort [m]	l;v;tekort [m]	L;damwand [m]
1	Basisschematisatie	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00
2	-	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00
3	-	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00
4	-	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00
5	-	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00
D	**Definitieve berekening**	2,16	2,10	0,97	Voldoet	0,00	0,00	0,00

Conclusie

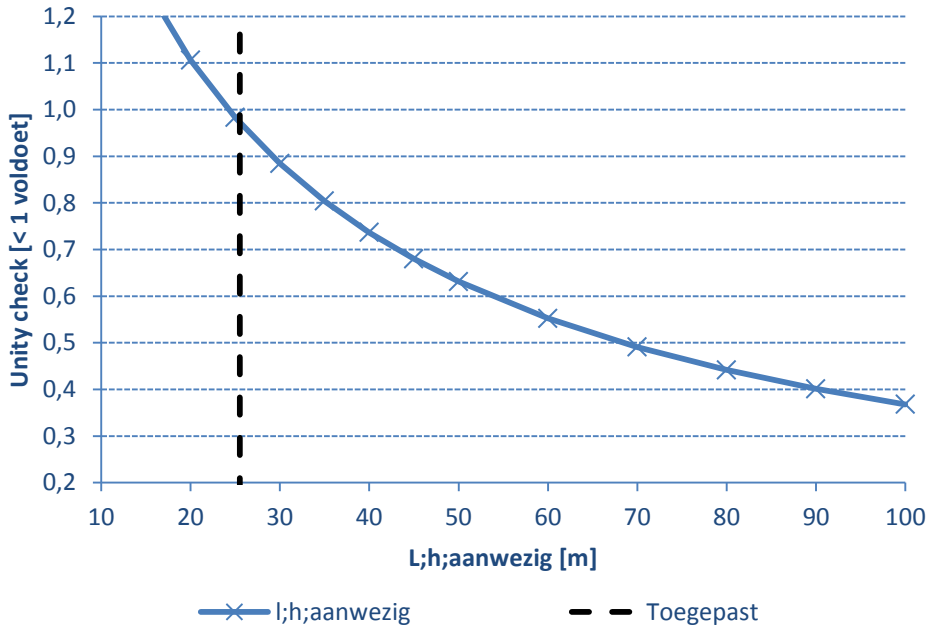
De definitieve berekening voldoet niet op heave maar wel op piping. Er is voldoende verticale en horizontale kwelweglengte aanwezig. De buitendijkse damwand is niet meegenomen in de piping analyse. Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet niet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Lane (o.b.v. definitieve berekening)

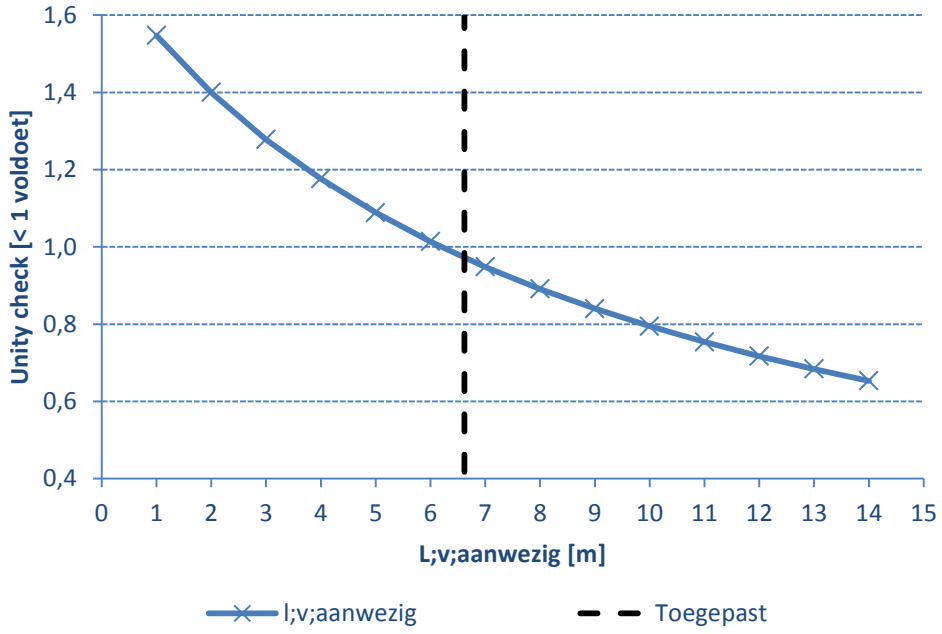
C;w;creep factor



Aanwezige horizontale kwelweglengte



Aanwezige verticale kwelweglengte (damwandlengte)



Microstabiliteit, opdrukken en afschuiven van de deklaag (STMI)

De toetsing/het ontwerp op microstabiliteit bestaat uit drie onderdelen: 1ste check opdrukken (globaal), 2e check opdrukken (gedetailleerd) en afschuiven. Indien wordt voldaan aan zowel opbarsten en afschuiven is de eindscore voor het faalmechanisme STMI 'goed'. Conform Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies - TRWG (2001)

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;m;w	1,0	-	*Volumegewicht water*	TRWG 2001
γ;m;g	1,0	-	*Volumegewicht grond*	-
γ;m;c	1,25	-	*Cohesie*	-
γ;m;ϕ	1,1	-	*Hoek van inwendige wrijving*	-
γ;d*γ;n opd	2,0	-	*Overal veiligheidsfactor opdrukken*	-
γ;d;af	1,1	-	*Modelfactor afschuiven*	-
γ;n;af	1,1	-	*Schadefactor afschuiven*	-

Uitgangspunten basisschematisatie

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
Talud	1:2,31	-	*Binnentalud (verticaal : horizontaal)*	-
α	23,38	°	*Taludhelling*	-
BIT;fr	3,00	m NAP	*Freatischelijn ter plaatse van de binnenteer*	Kanaalpeil
ϕ;BIK	4,06	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenkruin*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;Kern	4,26	m NAP	*Stijghoogte in de kern van de dijk*	Opstuwing voor damwand (+0,2 m)
ΔH;STMI	1,26	m	*Kerende hoogte op het laagste punt*	-
c	2,5	kN/m2	*Cohesie*	-
φ	22,5	°	*Hoek van inwendige wrijving*	-
tan(φ)	0,41	-	*Tangent hoek van inwendige wrijving*	-
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	-

Grondeigenschappen

Deel	Grondsoort	Dikte vertic	γ;nat [kN/m3]
1	klei	1,5	17,50
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Dikte verticaal totaal	1,5	17,50
	Dikte loodrecht totaal	1,38	

Maatgevende boring/sondering: B107 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opdrukken - 1ste check: 1-dimensionaal (zonder cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	γ;nat kN/m3	d m	α °	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	17,50	1,38	23,38	1,00	**21,70**
2	1,2 m klei verticaal	17,50	1,10	23,38	1,00	**17,33**
3	-	17,50	1,38	23,38	1,00	**21,70**
4	-	17,50	1,38	23,38	1,00	**21,70**
5	-	17,50	1,38	23,38	1,00	**21,70**
D	**Definitieve berekening**	17,50	1,10	23,38	1,00	**17,33**

Waterdruk onder de deklaag

	Situatie	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	ΔH;STMI m	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2	1	1,26	**24,72**
2	1,2 m klei verticaal	2	1	1,26	**24,72**
3	-	2	1	1,26	**24,72**
4	-	2	1	1,26	**24,72**
5	-	2	1	1,26	**24,72**
D	**Definitieve berekening**	2	1	1,26	**24,72**

Toets op opdrukken 1ste check

	Situatie	Gronddruk kN/m3	Waterdruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	**21,70**	**24,72**	**1,14**	**Voldoet niet**
2	1,2 m klei verticaal	**17,33**	**24,72**	**1,43**	**Voldoet niet**
3	-	**21,70**	**24,72**	**1,14**	**Voldoet niet**
4	-	**21,70**	**24,72**	**1,14**	**Voldoet niet**
5	-	**21,70**	**24,72**	**1,14**	**Voldoet niet**
D	**Definitieve berekening**	**17,33**	**24,72**	**1,43**	**Voldoet niet**

Opdrukken - 2e check: 2-dimensionaal (inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Waterdruk onder de deklaag

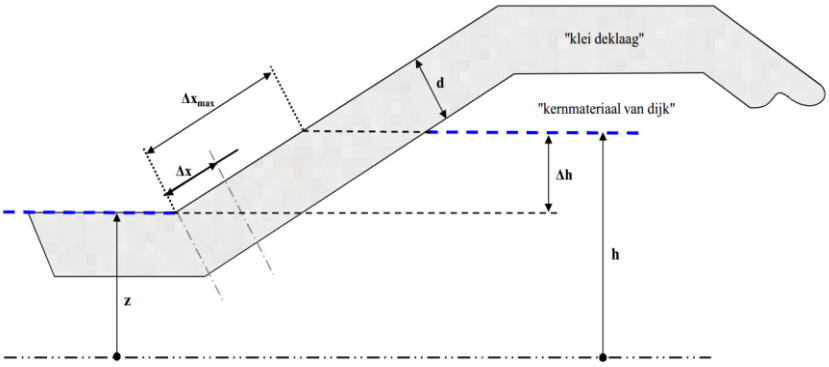
	Situatie	ΔH;STMI m	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	1,26	2,00	1,00	**20,49**
2	1,2 m klei verticaal	1,26	2,00	1,00	**20,49**
3	-	1,26	2,00	1,00	**20,49**
4	-	1,26	2,00	1,00	**20,49**
5	-	1,26	2,00	1,00	**20,49**
D	**Definitieve berekening**	1,26	2,00	1,00	**20,49**

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	c kN/m2	tan(φ) -	φ °	γ;nat kN/m3	d m	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2,50	0,41	22,50	17,50	1,38	1,00	**30,23**
2	1,2 m klei verticaal	2,50	0,41	22,50	17,50	1,10	1,00	**24,15**
3	-	2,50	0,41	22,50	17,50	1,38	1,00	**30,23**
4	-	2,50	0,41	22,50	17,50	1,38	1,00	**30,23**
5	-	2,50	0,41	22,50	17,50	1,38	1,00	**30,23**
D	**Definitieve berekening**	2,50	0,41	22,50	17,50	1,10	1,00	**24,15**

Controle en toetsing op opdrukken

	Situatie	α °	Δx;max m	Δx m	Δx<Δxmax -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**30,23**	**0,68**	**Voldoet**
2	1,2 m klei verticaal	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**24,15**	**0,85**	**Voldoet**
3	-	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**30,23**	**0,68**	**Voldoet**
4	-	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**30,23**	**0,68**	**Voldoet**
5	-	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**30,23**	**0,68**	**Voldoet**
D	Definitieve berekening	23,38	**3,17**	**0,98**	**Oké**	**20,49**	**24,15**	**0,85**	**Voldoet**



Afschuiven

(inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

	Situatie	ΔH;STMI m	α °	sin(α) °	tan(α) °	d m	φ °	tan(φ) -	c kN/m2
1	Basisschematisatie	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,38	22,50	**0,41**	2,50
2	1,2 m klei verticaal	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,10	22,50	**0,41**	2,50
3	-	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,38	22,50	**0,41**	2,50
4	-	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,38	22,50	**0,41**	2,50
5	-	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,38	22,50	**0,41**	2,50
D	Definitieve berekening	1,26	23,38	**0,40**	**0,43**	1,10	22,50	**0,41**	2,50

	γ;nat kN/m3	γ;m;g -	γ;m;w -	γ;m;c -	γ;m;ϕ -	γ;d;af -	γ;n;af -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,58**	**47,94**
2	18,00	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,42**	**32,46**
3	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,58**	**47,94**
4	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,58**	**47,94**
5	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,58**	**47,94**
D	18,00	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	**2,42**	**32,46**

Toets op afschuiven

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	2,58	47,94	0,05	Voldoet
2	1,2 m klei verticaal	2,42	32,46	0,07	Voldoet
3	-	2,58	47,94	0,05	Voldoet
4	-	2,58	47,94	0,05	Voldoet
5	-	2,58	47,94	0,05	Voldoet
D	Definitieve berekening	2,42	32,46	0,07	Voldoet

Conclusie

Voor dit dwarsprofiel zijn twee situaties doorgerekend met een verschillende dikte en eigenschappen van de deklaag. Een situatie voldoet niet onder maatgevende omstandigheden op opdrukken. Dit dwarsprofiel voldoet daarom niet op het faalmechanisme microstabiliteit (STMI)

Ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen Royal Haskoning DHV

Apeldoorns Kanaal

Klant:	Waterschap Vallei en Veluwe
Referentie:	CALF01
Projectnummer:	BE5115-100-100
Versie:	1/Definitief
Ontwerpniveau:	Veiligheidsanalyse
Datum:	25-10-2016
Dwarsprofiel:	138 Pand 6D
Auteur(s):	Tom de Wit
Gecontroleerd door:	Ilse Hergarden
Datum/Initialen:	

De volgende onderdelen zijn toegepast en onderdeel van deze bijlage:

Uitgangspunten	Ja
Waterspanningen (WS)	Ja
Piping (STPH) groen	Ja
Piping (STPH) constructie	Ja
Microstabiliteit (STMI)	Ja

Inputcel
Berekencel
Standaard waarde
Rekenresultaat

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Uitgangspunten

Voorliggende bijlage is een product van de ontwerp en toetsrekensheet waterkeringen. Deze Excel sheet is gebaseerd op het Ontwerp Instrumentarium 2014 versie 3 (OI2014v3).

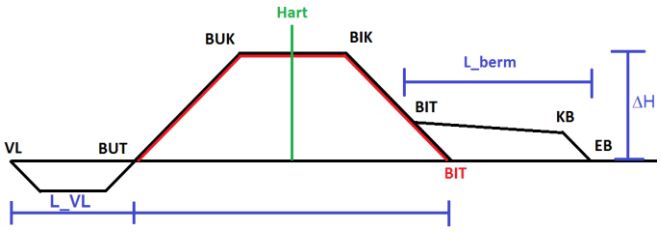
Algemene dijkring informatie

	Waarde	Eenheid	Bron
Normtraject	52-4	-	-
Traject lengte	4,5	km	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
Signaalkans	1:3000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)
MTK	1:1000	1/x per jaar	Ontwerp Instrumentarium v3 (2014)

Basisschematisatie

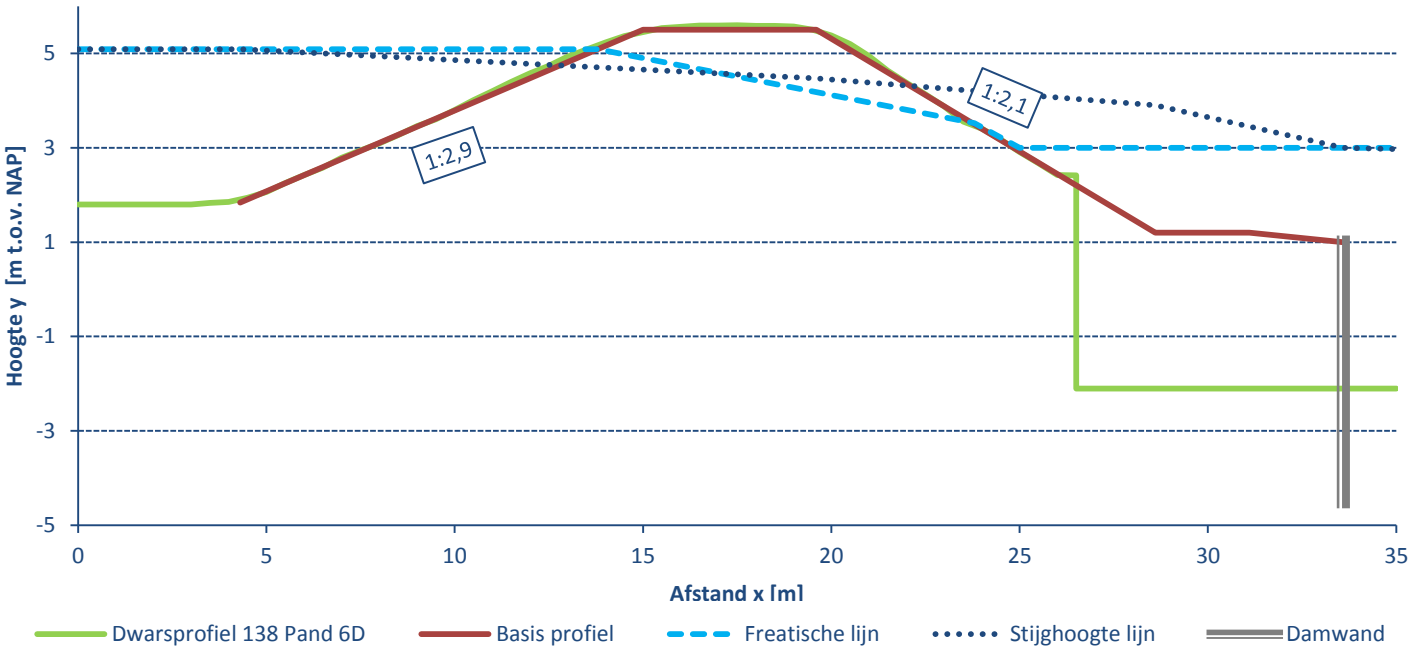
De geometrie van het dijklichaam zoals deze is meegenomen in de hierop volgende berekeningen

Dijklichaam	x	y	
Buitenteen	4,3	1,84	BUT
Buitenkruin	15	5,5	BUK
Hart	17,3	5,5	Hart
Binnenkruin	19,6	5,5	BIK
Binnenteen	28,6	1,2	BIT
Kruinberm	31,1	1,2	KB
Einde berm	33,6	1	EB



Damwand	x	y	
van	33,6	1	m NAP
tot	33,6	-4,5	m NAP

Freatische lijn (FL)	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,09	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
BIK;fr	#N/A	m NAP	*FL binnenkruin*	Conform waterspanningen bij dijken
BIT;fr	3,52	m NAP	*FL binnenteen*	Conform waterspanningen bij dijken
KB;fr	3	m NAP	*FL kruin van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
EB;fr	3	m NAP	*FL einde van de berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
GHW	2,9	m NAP	*Gem. jaarlijks hoogwater*	Waternormalen rijkswaterstaat



Stijghoogte

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
ϕ;VL	5,09	m NAP	*Stijghoogte start voorland*	Gelijk aan het maatgevend hoog water
ϕ;BUT	5,09	m NAP	*Stijghoogte buitenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIT	3,9	m NAP	*Stijghoogte binnenteen*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;EB	3	m NAP	*Stijghoogte einde berm*	Waterspanningen bij dijken

Toegepast model waterspanningen: 1. Model B: Wel deklaag in voorland, geen deklaag in achterland

Verloop waterspanningen

Het verloop van de waterspanningen in de waterkering is bepaald aan de hand van Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (2004). De waterspanningen zijn berekend aan de hand van de maatgevend hoogste waterstand en de gemiddeld jaarlijks hoogste waterstand. Afhankelijk van de aanwezigheid van een voorland en/of achterland zijn voor 3 situaties de waterspanningen bepaald.

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

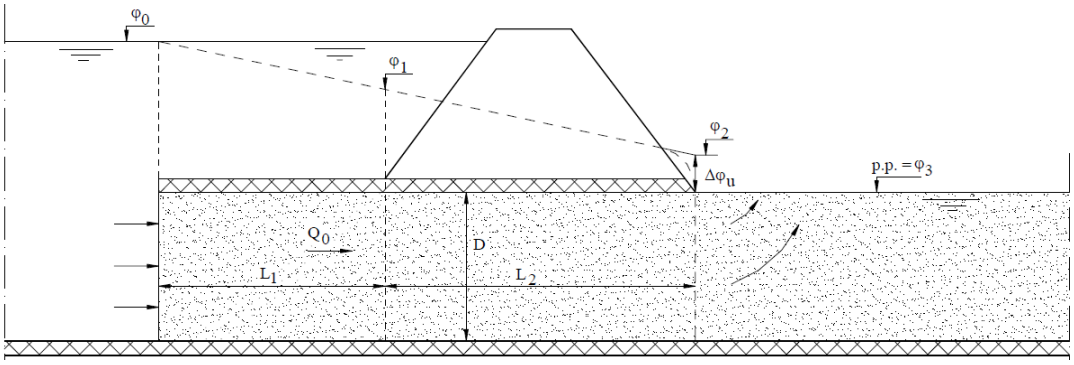
Input voor model 4B

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
MHW	5,09	m NAP	*Maatgevend hoog water*	Zie rapport hydraulische uitgangspunten
EB;fr	3	m NAP	*Freatische lijn einde berm*	Hier gelijk aan het kanaalpeil
φ;0	5,09	m NAP	*stijghoogte bij start voorland*	Gelijk aan MHW
φ;3	3	m NAP	*Polderpeil*	Gelijk aan EB;fr
L;1	0	m	*Lengte voorland*	Er is geen voorland aanwezig
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerendpakket*	Op basis van ervaring
L;2	29,3	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	-

Aanvullende input voor model 4A

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
k	2,01E-04	m/s	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Korrelverdelingen
d;1	0	m	*Dikte deklaag voorland*	Niet aanwezig
k;v;1	0	m/dag	*Verticale doorlatendheid deklaag voorland*	Niet aanwezig
d;3	1,2	m	*Dikte deklaag achterland*	-
k;v;3	0,01	m/dag	*Verticale doorlatendheid achterland*	-
L;3	5	m	*Lengte achterland*	-

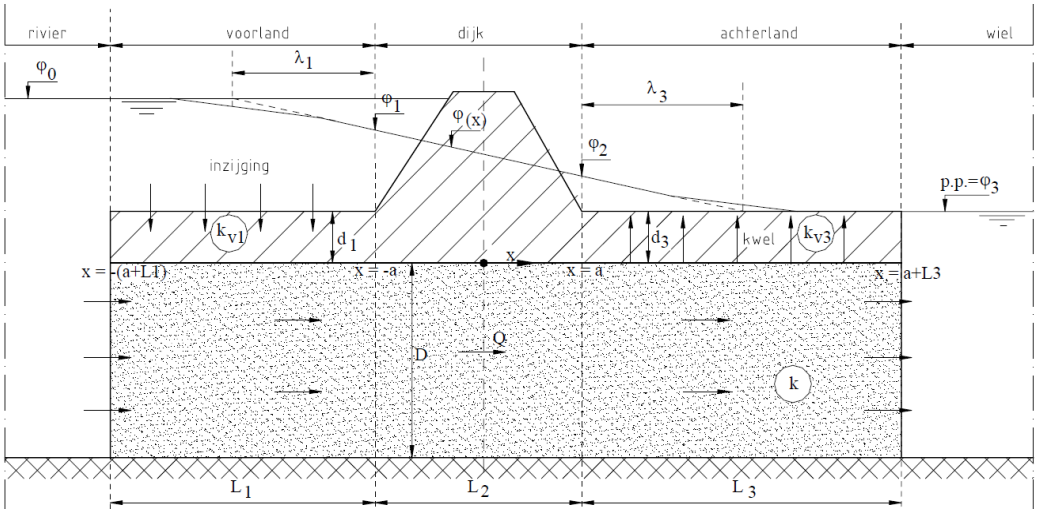
Berekening waterspanning model 4B (wel deklaag in voorland en geen deklaag in achterland)



Lineair verloop van de stijghoogte in de zandondergrond

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	L;1 m	L;2 m	D;wvp m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	5,09	3	0	29,3	50	**5,09**	**4,47**	**3,90**
2	GHW	2,90	3	0	29,3	50	**2,90**	**2,93**	**2,96**
3	-	5,09	3	0	29,3	50	**5,09**	**4,47**	**3,90**
4	-	5,09	3	0	29,3	50	**5,09**	**4,47**	**3,90**
5	-	5,09	3	0	29,3	50	**5,09**	**4,47**	**3,90**
D	**Definitieve berekening**	5,09	3	0	29,3	50	**5,09**	**4,47**	**3,90**

Berekening waterspanning model 4A (kleidijk met deklaag in voorland en deklaag in achterland)



Schematisering van grondwaterstroming ter plaatse van een kleidijk

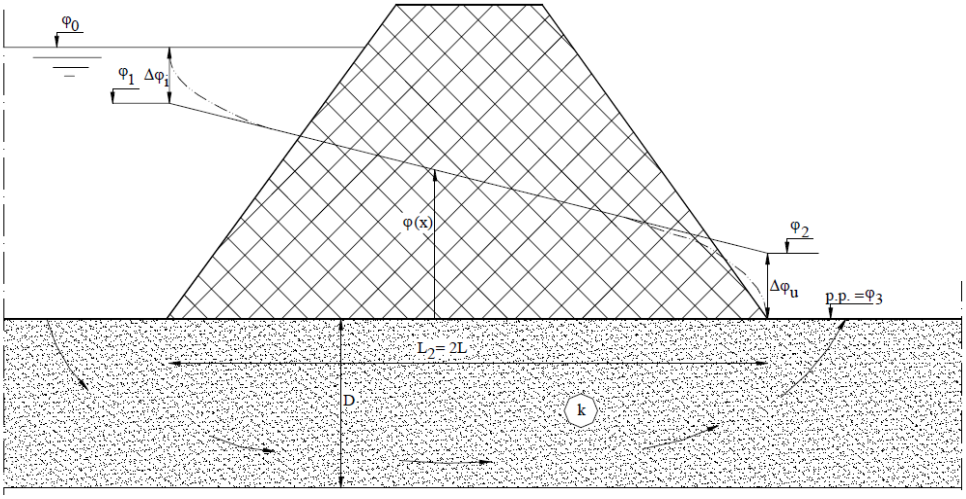
	Situatie	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	d;1 m	L;1 m	L;2 m	d;3 m	L;3 m
1	Basisschematisatie	2,01E-04	50	0,0100347	0	0	29,3	1,2	5
2	GHW	2,01E-04	50	0,0100347	0	0	29,3	1,2	5
3	geen lengte achterland	1,00E-03	50	0,05	0	0	29,3	1,2	0
4	-	1,00E-03	50	0,05	0	0	29,3	1,2	5
5	-	2,01E-04	50	0,0100347	0	0	29,3	1,2	5
D	**Definitieve berekening**	2,01E-04	50	0,0100347	0	0	29,3	1,2	5

Bepaling weerstand

	Situatie	c;1 s	λ;1 m	*voorland* W;1 m	*watervoerend pakket* W;2 m	c;3 s	λ;3 m	*achterland* W;3 m
1	Basisschematisatie	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2919,9	120,0	1,10	109,3
2	GHW	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2919,9	120,0	1,10	109,3
3	geen lengte achterland	n.v.t.	n.v.t.	0,0	586,0	120,0	2,45	0,0
4	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	586,0	120,0	2,45	47,4
5	-	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2919,9	120,0	1,10	109,3
D	**Definitieve berekening**	n.v.t.	n.v.t.	0,0	2919,9	120,0	1,10	109,3

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;1 m NAP	φ;2 m NAP	φ;3 m NAP	ϕ;BIK m NAP
1	Basisschematisatie	5,09	**5,09**	**3,08**	3	**4,00**
2	GHW	2,9	**2,90**	**3,00**	3	**2,95**
3	geen lengte achterland	5,09	**5,09**	**3,00**	3	**3,96**
4	-	5,09	**5,09**	**3,16**	3	**4,05**
5	-	5,09	**5,09**	**3,08**	3	**4,00**
D	**Definitieve berekening**	5,09	**5,09**	**3,08**	3	**4,00**

Berekening waterspanning model 4B (kleidijk zonder deklaag in voorland en zonder deklaag in achterland)



Schematisering van een lineair stijghoogteverloop in de dijk

	Situatie	φ;0 m NAP	φ;3 m NAP	k m/s	D;wvp m	kD m2/s	L;2 m
1	Basisschematisatie	5,09	3	2,01E-04	50	0,0100347	29,3
2	GHW	2,9	3	2,01E-04	50	0,0100347	29,3
3	-	5,09	3	1,00E-03	50	0,05	29,3
4	-	5,09	3	2,01E-04	50	0,0100347	29,3
5	-	5,09	3	2,01E-04	50	0,0100347	29,3
D	Definitieve berekening	5,09	3	2,01E-04	50	0,0100347	29,3

	Situatie	W;t m	W;2 m	W;u m	φ;1 m NAP	φ;BIK m NAP	φ;2 m NAP
1	Basisschematisatie	7304,6	2919,9	2192,4	4,46	4,03	3,63
2	GHW	7304,6	2919,9	2192,4	2,93	2,95	2,97
3	-	1466,0	586,0	440,0	4,46	4,03	3,63
4	-	7304,6	2919,9	2192,4	4,46	4,03	3,63
5	-	7304,6	2919,9	2192,4	4,46	4,03	3,63
D	Definitieve berekening	7304,6	2919,9	2192,4	4,46	4,03	3,63

Opbarsten, heave en piping voor een groene kering (STPH)

Piping (onderloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten en heave niet relevant waardoor er direct een pipingberekening uitgevoerd kan worden.

Uitgangspunten

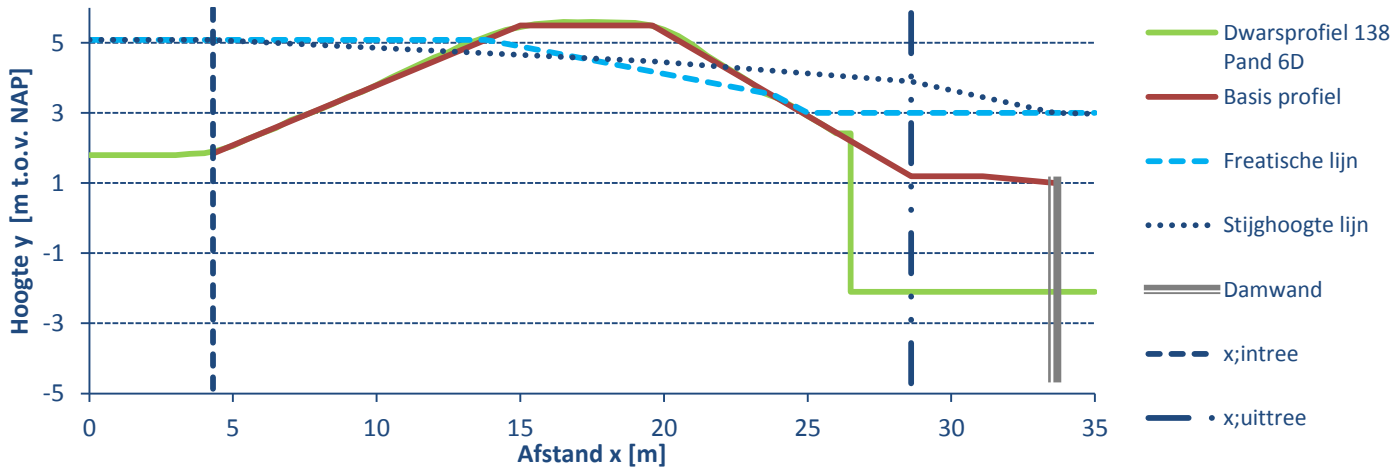
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;b	1,1	-	*Schematiseringsfactor, Sellmeijer*	GSD
γ;mp	1,2	-	*Schadefactor of sterktefactor, Sellmeijer*	GSD
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	4,3	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	28,6	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	1,2	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	Kanaalpeil tijdens MHW
ϕ;BIT	3,9	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	4	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	ϕ;BIT+0,1 m (Opstuwing voorzijde damwand)
ΔH;aanwezig	2,09	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	MHW - h;p



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	Zand	0,7	19,00
2	Klei, zwak siltig, stevig	0,5	17,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	1,2	18,17

Maatgevende boring/sondering: PB001 *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opbarsten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
OK deklaag	0	m NAP	*Onderkant van de deklaag*	Boring B-201A
ϕ;z;HHW	0	m NAP	*Stijgh. bij historisch hoogwater*	Gegevens niet aanwezig
ϕ;z;GHW	3	m NAP	*Stijgh. bij gemiddelde jaarlijks hoogwater*	Gelijk aan h;p GHW=2,9

Heave

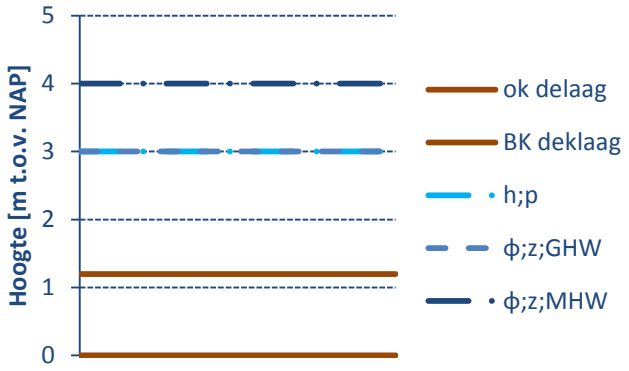
	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
ϕ;0	4	m NAP	*Stijghoogte onderkant deklaag*	is gelijk aan ϕ;z; MHW

Piping (formule van Sellmeijer)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	29,3	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	24,3	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
Θ	37	°	*Rolweerstandshoek van de zandkorrels*	ORZW 2012
η	0,25	-	*Coëfficiënt van White*	ORZW 2012
D;wvp	50	m	*Dikte watervoerend pakket*	Op basis van ervaring
k	17,34	m/dag	*Doorlatendheid watervoerendpakket*	Op basis van korrelverdelingen
d70	304	µm	*70-percentielwaarde v/d korrelverdeling*	Op basis van korrelverdelingen
d70;m	208	µm	*Gemiddelde d70-waarde*	ORZW 2012
RD	n.v.t.	-	*De invloed van de relatieve dichtheid is in de toetsregel meegenomen*	
RD;m	n.v.t.	-	*in de modelonzekerheid (RD/RDm=1)*	
y;p	16	kN/m3	*Volumegewicht zandkorrels onder water*	ORZW 2012
y;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Berekening op opbarsten

In naaststaande grafiek zijn de belangrijkste uitgangspunten van de berekening op opbarsten weergegeven. Deze bestaan uit de dikte van de deklaag en de bijbehorende stijghoogtelijnen onder verschillende omstandigheden. Ten aanzien van de stijghoogte lijnen geldt het volgende:
- De ϕ;z;HHW-lijn kan niet hoger zijn dan de ϕ;z;MHW-lijn
- de h;p-lijn kan niet lager zijn dan BK deklaag



Gronddruk

	Situatie	γ;G;std -	d m	γ;nat kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	0,9	1,2	18,17	8,82
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,9	1,2	18,17	8,82
3	Ondergrondschematisatie 2	0,9	0,7	17,00	4,41
4	-	0,9	1,2	18,17	8,82
5	-	0,9	1,2	18,17	8,82
D	**Definitieve berekening**	0,9	0,7	17,00	4,41

Waterdruk

	Situatie	ϕ;z;GHW m NAP	h;p m NAP	ϕ;z;MHW m NAP	γ;Q;dst -	γ;G;dst -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	3	3	4	1,5	1	15,00
2	Zonder opstuwing stijgh.	3	3	3,9	1,5	1	13,50
3	Ondergrondschematisatie 2	3	3	4	1,5	1	15,00
4	-	3	3	4	1,5	1	15,00
5	-	3	3	4	1,5	1	15,00
D	**Definitieve berekening**	3	3	4	1,5	1	15,00

Toets op opbarsten

De waterdruk kan nooit hoger zijn dan het niveau van het maatgevend hoog water aan buitendijks zijde (zie 'Waterdruk bij MHW'). Daarom is hierop een controle uitgevoerd.

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Waterdruk bij MHW kN/m3	Controle -	Gronddruk kN/m3	Unity check -	Toetsresultaat -
1	Basisschematisatie	15,00	20,90	Oké	8,82	1,70	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	13,50	20,90	Oké	8,82	1,53	Voldoet niet
3	Ondergrondschematisatie 2	15,00	20,90	Oké	4,41	3,40	Voldoet niet
4	-	15,00	20,90	Oké	8,82	1,70	Voldoet niet
5	-	15,00	20,90	Oké	8,82	1,70	Voldoet niet
	Definitieve berekening	15,00	20,90	Oké	4,41	3,40	Voldoet niet

Conclusie
De definitieve berekening voldoet niet op opbarsten. Daarom zal er een controle op heave uitgevoerd worden.

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	d m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4	3	1	1,2	0,83	0,50
2	Zonder opstuwing stijgh.	3,9	3	0,9	1,2	0,75	0,50
3	Ondergrondschematisatie 2	4	3	1	0,7	1,43	0,50
4	-	4	3	1	1,2	0,83	0,50
5	-	4	3	1	1,2	0,83	0,50
D	**Definitieve berekening**	4	3	1	0,7	1,43	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,83	0,50	1,67	Voldoet niet
2	Zonder opstuwing stijgh.	0,75	0,50	1,50	Voldoet niet
3	Ondergrondschematisatie 2	1,43	0,50	2,86	Voldoet niet
4	-	0,83	0,50	1,67	Voldoet niet
5	-	0,83	0,50	1,67	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	1,43	0,50	2,86	Voldoet niet

Conclusie

De definitieve berekening voldoet niet op heave. Daarom zal er een controle op piping uitgevoerd worden.

Pipingberekening (formule van Sellmeijer 2012)

	Situatie	MHW m NAP	h;p m NAP	DeltaH m	d m	D m	L;h;aanw. m	k m/dag	yp kN/m3
1	Basisschematisatie	5,09	3	2,09	0,7	50	24,3	17,34	16
2	Geen deklaag	5,09	3	2,09	0	50	24,3	17,34	16
3	Schematiseringsfactor 1,0	5,09	3	2,09	0	50	24,3	17,34	16
4	Schematiseringsfactor 1,2	5,09	3	2,09	0	50	24,3	17,34	16
5	Doorlatendheid x2	5,09	3	2,09	0	50	24,3	34,68	16
D	**Definitieve berekening**	5,09	3	2,09	0	50	24,3	17,34	16

	Situatie	d70 µm	yb -	ymp -	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m
1	Basisschematisatie	304	1,1	1,2	1,49	1,88
2	Geen deklaag	304	1,1	1,2	1,49	2,09
3	Schematiseringsfactor 1,0	304	1	1,2	1,64	2,09
4	Schematiseringsfactor 1,2	304	1,2	1,2	1,37	2,09
5	Doorlatendheid x2	304	1,1	1,2	1,18	2,09
D	**Definitieve berekening**	304	1,1	1,2	1,49	2,09

Toets op piping

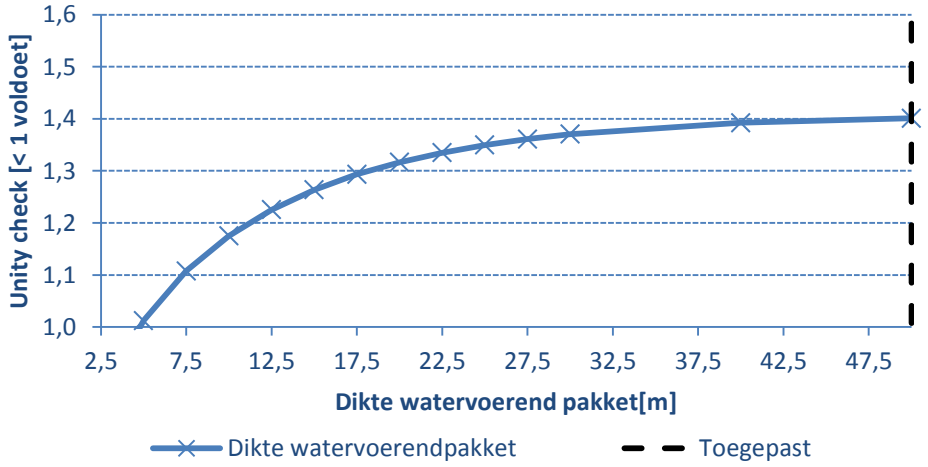
	Situatie	ΔH;kritiek m	ΔH;optr m	Unity check -		L;benod m	L;tekort m
1	Basisschematisatie	1,49	1,88	1,26	Voldoet niet	33,82	9,52
2	Geen deklaag	1,49	2,09	1,40	Voldoet niet	39,13	14,83
3	Schematiseringsfactor 1,0	1,64	2,09	1,27	Voldoet niet	34,35	10,05
4	Schematiseringsfactor 1,2	1,37	2,09	1,53	Voldoet niet	43,99	19,69
5	Doorlatendheid x2	1,18	2,09	1,77	Voldoet niet	53,13	28,83
D	**Definitieve berekening**	1,49	2,09	1,40	Voldoet niet	39,13	14,83

Conclusie

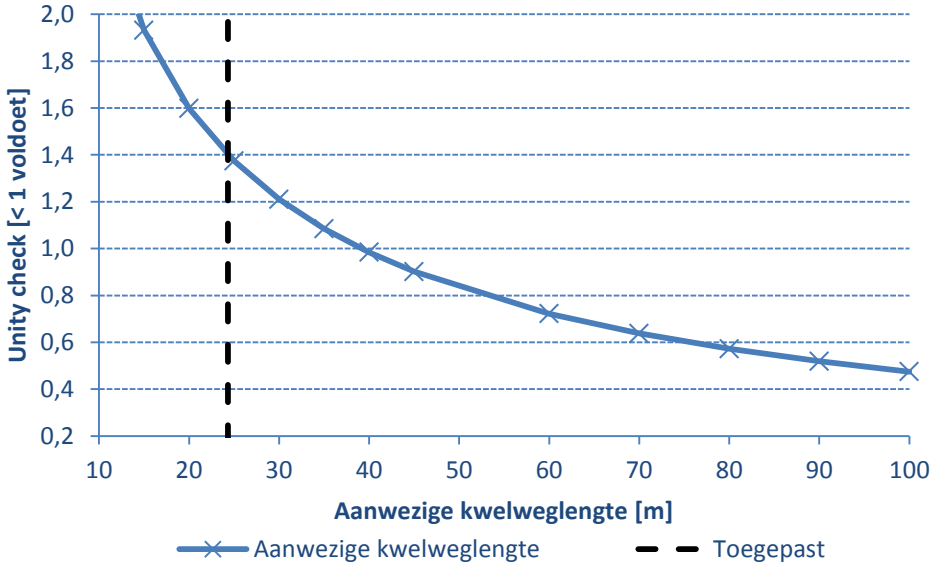
Een situatie met een deklaag van 0,7 m voldoet niet op piping. Ondanks de extra uittrede weerstand als gevolg van deze deklaag. Indien de deklaag niet aanwezig is (situatie 2) is er een nog lagere veiligheid tegen piping aanwezig. Deze berekening is opgenomen als definitieve berekening. Er is gerekend met een relatief lage doorlatendheid, welke is berekend op basis van hoog gemiddelde waardes van de d10 en de d60 (berekend op basis van lokale normaal verdeelde korrelverdelingen). Deze relatief lage doorlatendheid gaat gepaard met een lage d70-waarde (laag gemiddelde waarde). Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet niet op het faalmechanisme piping en heave (STPH).

Gevoeligheidsanalyse Sellmeijer 2012 (o.b.v. definitieve berekening)

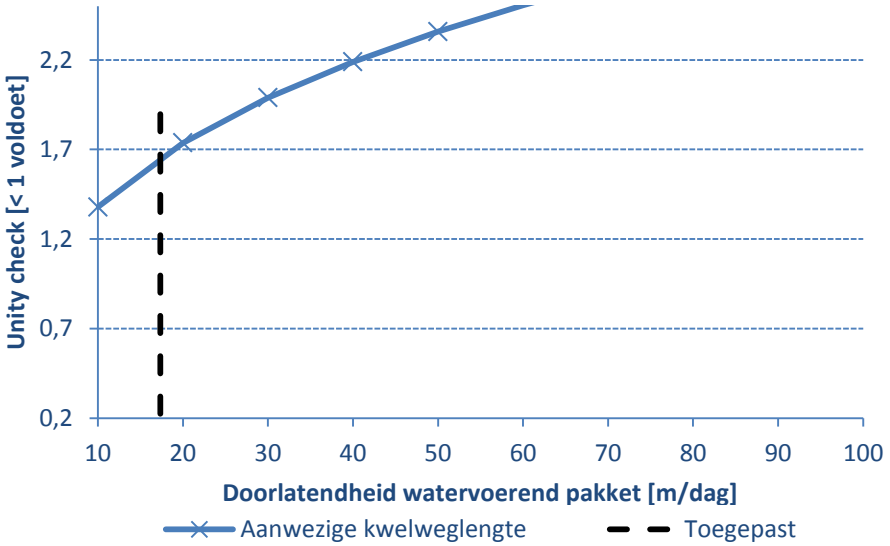
Dikte van het watervoerend pakket

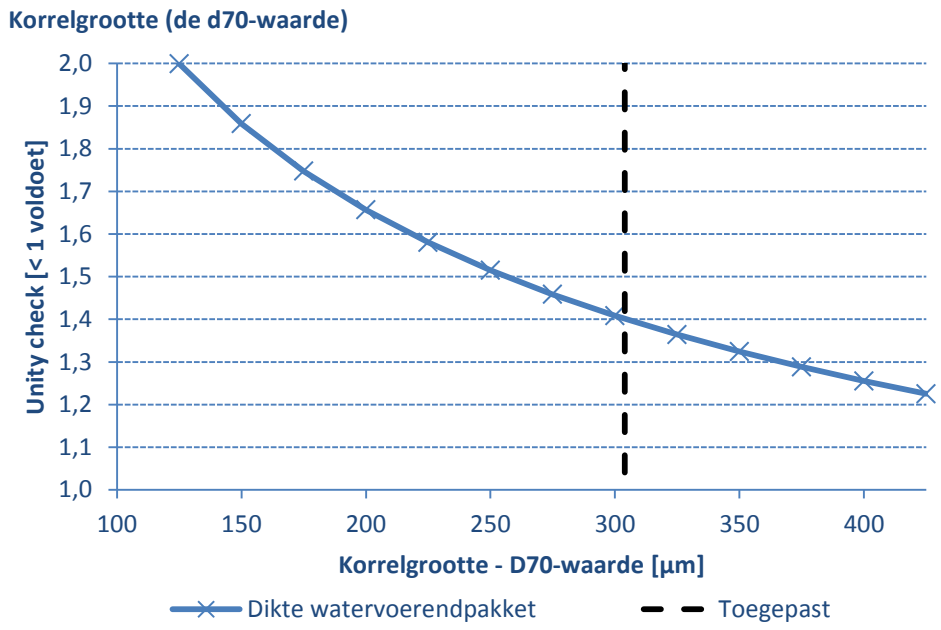


Aanwezig kwelweglengte



Doorlatendheid van het watervoerend pakket




Korrelgrootte (de d70-waarde)
Unity check [< 1 voldoet]
2,0
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
100
150
200
250
300
350
400
Korrelgrootte - D70-waarde [µm]
Dikte watervoerendpakket
Toegepast

Opbarsten, heave en piping voor een constructie (STPH)

Piping (onder- of achterloopsheid) is een verschijnsel wat ontstaat als gevolg van kwelstroming door verval over de kering. Door deze kwelstroming kunnen gronddeeltjes in erosiegevoelige grondlagen worden meegevoerd. Het faalmechanisme piping kan alleen optreden wanneer er ten eerste sprake is van opbarsten en ten tweede van heave. Heave kan enkel optreden wanneer er sprake is van opbarsten. Indien er geen deklaag aanwezig is achter de waterkering is een controle op opbarsten niet relevant waardoor er direct een heave berekening en een pipingberekening uitgevoerd kunnen worden.

Uitgangspunten

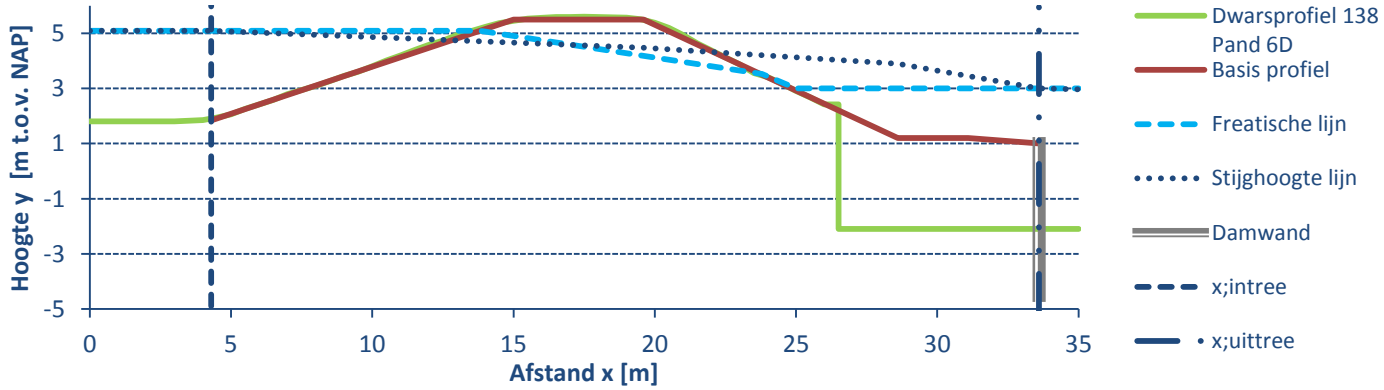
Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;Lane	1	-	*Veiligheidsfactor voor Lane*	ORZW 2012
γ;G;dst	1	-	*Blijvende belasting ongunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;G;std	0,9	-	*Blijvende belasting gunstig, opbarsten*	OI2014 v3
γ;Q;dst	1,5	-	*Veranderlijke belasting ongunsting*	OI2014 v3
γ;heave	1	-	*Veiligheidsfactor voor Heave*	ORZW 2012

Algemene uitgangspunten

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
x;intree	4,3	-	*Maatgevende locatie intredepunt*	-
x;uittree	33,6	-	*Maatgevende locatie uittredepunt*	-
BIT	1,2	m NAP	*Maaiveldniveau tpv de binnenteen*	ter informatie
h;p	3	m NAP	*Polderpeil, vrije waterstand of maaiveld*	maaiveld
ϕ;BIT	3,9	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen*	ter informatie
ϕ;z;MHW	3	m NAP	*Stijghoogte bij het uittredepunt*	-
ΔH;aanwezig	2,09	m	*Aanwezig stijghoogteverval*	= MHW - y;uittree



Deklaag

Deel	Grondsoort	Dikte [m]	γ;nat [kN/m3]
1	0	0	0,00
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Totaal	0	#DIV/0!

Maatgevende boring/sondering: nvt, bodem kanaal — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heave

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
i;crit	0,5	-	*Maximaal toelaatbaar verval*	ORZW 2012
L;v;heave	2,4	m	*Afstand waarover heave kan optreden*	Afstand tussen Okdamwand en kanaalbodem
ϕ;0	4	m NAP	*Stijghoogte onderkant constructie*	Gelijk aan stijghoogte voor de damwand

Piping (formule van Lane)

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
B;dijkzate	29,3	m	*Afstand tussen buitenteen en einde berm*	(berekening ter informatie)
L;h;aanw.	29,3	m	*Aanwezige horizontale kwelweglengte*	x;uittree - x;intree
STPH;grond	Zand matig grof		*Piping gevoelige grondsoort*	-
C;w;creep	7	-	*creep factor Lane met γ=1,0*	Laaggemiddelde d50 = 209 um
L;damwand	5,5	m	*Lengte van de damwand*	-
L;v;aanw.	6,9	m	*Aanwezige verticale kwelweglengte*	Kanaalbodem = NAP -2,1m
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	ORZW 2012

Er is geen deklaag aanwezig, berekening op opbarsten is niet uitgevoerd

Heaveberekening

Bij hydraulische grondbreuk ('Heave') vallen in de opwaarts gerichte kwelstroming de korrelspanningen in de grond weg, waardoor een drijfzandsituatie ontstaat. Om voldoende veiligheid tegen heave te waarborgen dient bij een verticale kwelstroming achter de constructie het maximaal optredende verhang kleiner te zijn dan het verhang waarbij heave optreedt.

	Situatie	ϕ;z;MHW m NAP	h;p m NAP	ΔH;heave m	L;v;heave m	i;optr -	i;crit -
1	Basisschematisatie	4	3	1	2,4	0,42	0,50
2	-	4	3	1	2,4	0,42	0,50
3	-	4	3	1	2,4	0,42	0,50
4	-	4	3	1	2,4	0,42	0,50
5	-	4	3	1	2,4	0,42	0,50
D	**Definitieve berekening**	4	3	1	2,4	0,42	0,50

Toets op heave

	Situatie	i;optr -	i;crit -	Unity check -	
1	Basisschematisatie	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**
2	-	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**
3	-	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**
4	-	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**
5	-	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**
D	**Definitieve berekening**	0,42	0,50	**0,83**	**Voldoet**

Conclusie

De definitieve berekening voldoet op heave. De doorsnede voldoet op piping inclusief damwand omdat er geen heave zal optreden. Toch is er een controle op piping uitgevoerd.

Pipingberekening (formule van Lane)

De pipingberekening is uitgevoerd aan de hand van de formule van Lane (ORZW 2012). De formule van Lane neemt zowel een horizontale als een verticale kwelweglengte in rekening.

	Situatie	MHW m NAP	Hbinnen m NAP	DeltaH m	d m	C;w;creep -	L;h;aanw. m	L;v;aanw. m	y;Lane -
1	Basisschematisatie	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1
2	-	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1
3	-	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1
4	-	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1
5	-	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1
D	**Definitieve berekening**	5,09	3	2,09	0	7	29,3	6,9	1

Toets op piping

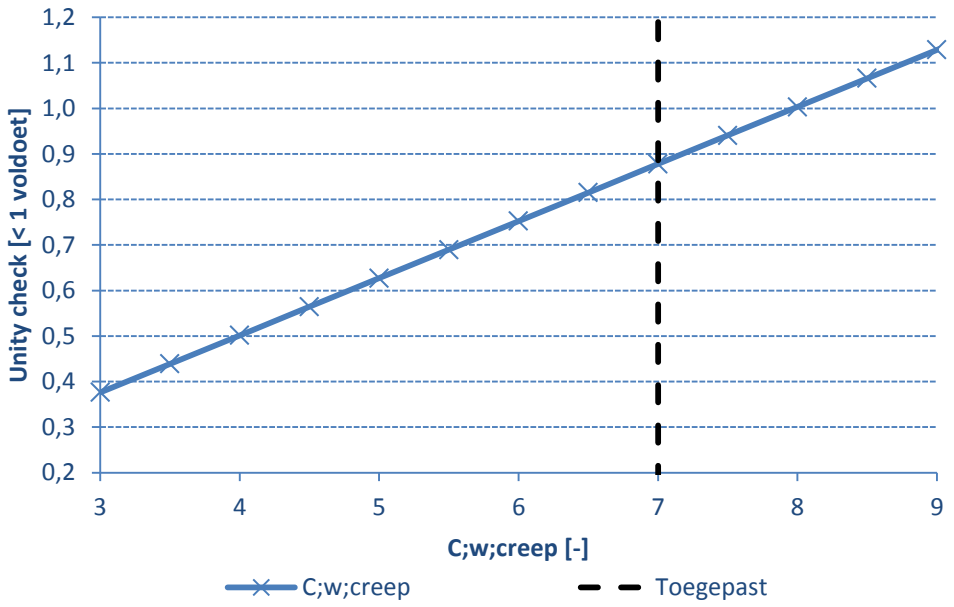
	Situatie	ΔHc;y;Lane m	ΔH;optr m	Unity check -		l;h;tekort [m]	l;v;tekort [m]	L;damwand [m]
1	Basisschematisatie	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00
2	-	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00
3	-	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00
4	-	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00
5	-	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00
D	**Definitieve berekening**	2,38	2,09	0,88	Voldoet	0,00	0,00	0,00

Conclusie

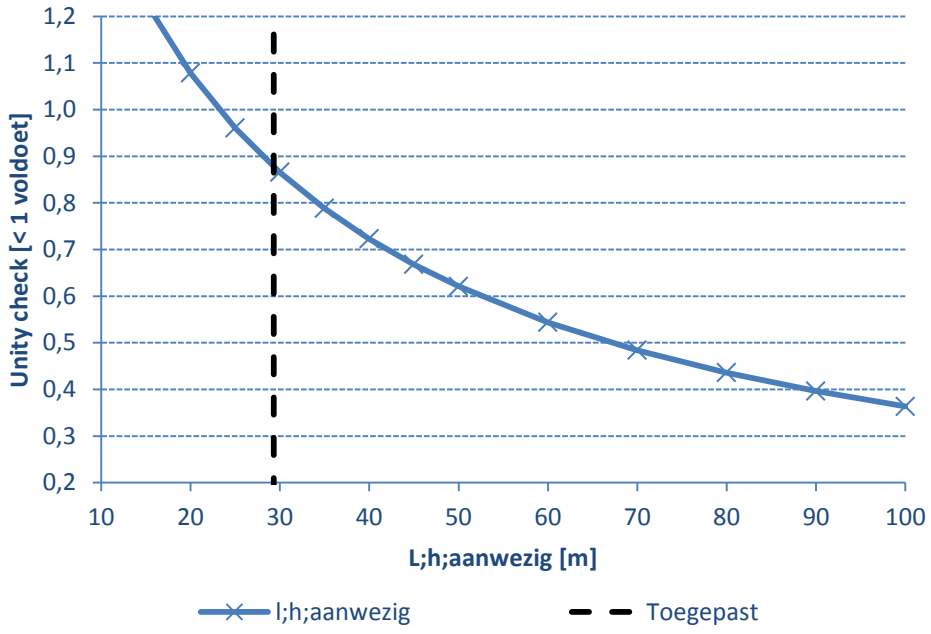
De definitieve berekening voldoet zowel op piping maar wel op heave. Onderstaand is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om inzicht te geven in de invloed van de meest kritieke parameters. Het dwarsprofiel voldoet op het faalmechanisme piping waardoor het eindoordeel voldoende is.

Gevoeligheidsanalyse Lane (o.b.v. definitieve berekening)

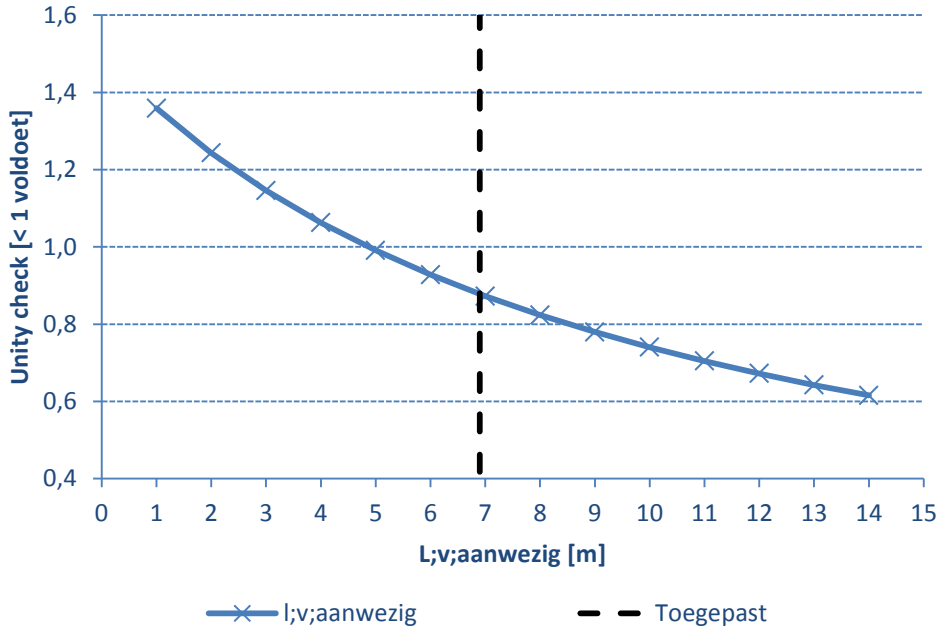
C;w;creep factor



Aanwezige horizontale kwelweglengte



Aanwezige verticale kwelweglengte (damwandlengte)



Microstabiliteit, opdrukken en afschuiven van de deklaag (STMI)

De toetsing/het ontwerp op microstabiliteit bestaat uit drie onderdelen: 1ste check opdrukken (globaal), 2e check opdrukken (gedetailleerd) en afschuiven. Indien wordt voldaan aan zowel opbarsten en afschuiven is de eindscore voor het faalmechanisme STMI 'goed'. Conform Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies - TRWG (2001)

Uitgangspunten

Onderstaand zijn de uitgangspunten weergegeven welke zijn gehanteerd in de basisschematisatie. De uitgangspunten kunnen afwijken van de definitieve berekening.

Veiligheidsfactoren

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
γ;m;w	1,0	-	*Volumegewicht water*	TRWG 2001
γ;m;g	1,0	-	*Volumegewicht grond*	-
γ;m;c	1,25	-	*Cohesie*	-
γ;m;ϕ	1,1	-	*Hoek van inwendige wrijving*	-
γ;d*γ;n opd	2,0	-	*Overal veiligheidsfactor opdrukken*	-
γ;d;af	1,1	-	*Modelfactor afschuiven*	-
γ;n;af	1,1	-	*Schadefactor afschuiven*	-

Uitgangspunten basisschematisatie

	Waarde	Eenheid	Verklarende tekst	Bron
Talud	1:2,09	-	*Binnentalud (verticaal : horizontaal)*	-
α	25,47	°	*Taludhelling*	-
BIT;fr	3,00	m NAP	*Freatischelijn ter plaatse van de binnenteer*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;BIK	4,47	m NAP	*Stijghoogte ter plaatse van de binnenkruin*	Waterspanningen bij dijken
ϕ;Kern	4,47	m NAP	*Stijghoogte in de kern van de dijk*	Opstuwing voor damwand (+0,2 m)
ΔH;STMI	1,47	m	*Kerende hoogte op het laagste punt*	-
c	2,5	kN/m2	*Cohesie*	-
φ	22,5	°	*Hoek van inwendige wrijving*	-
tan(φ)	0,41	-	*Tangent hoek van inwendige wrijving*	-
γ;w	10	kN/m3	*Volumegewicht van het water*	-

Grondeigenschappen

Deel	Grondsoort	Dikte vertic	γ;nat [kN/m3]
1	Klei, matig siltig	0,45	17,50
2	0	0	0,00
3	0	0	0,00
4	0	0	0,00
	Dikte verticaal totaal	0,45	17,50
	Dikte loodrecht totaal	0,41	

Maatgevende boring/sondering: B-101 — *De bodemopbouw is op dit punt gebaseerd*

Opdrukken - 1ste check: 1-dimensionaal (zonder cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	γ;nat kN/m3	d m	α °	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	17,50	0,41	25,47	1,00	6,30
2	0,7 m klei sterk zandig	18,00	0,70	25,47	1,00	11,16
3	-	17,50	0,41	25,47	1,00	6,30
4	-	17,50	0,41	25,47	1,00	6,30
5	-	17,50	0,41	25,47	1,00	6,30
D	**Definitieve berekening**	17,50	0,41	25,47	1,00	6,30

Waterdruk onder de deklaag

	Situatie	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	ΔH;STMI m	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2	1	1,47	28,84
2	0,7 m klei sterk zandig	2	1	1,47	28,84
3	-	2	1	1,47	28,84
4	-	2	1	1,47	28,84
5	-	2	1	1,47	28,84
D	**Definitieve berekening**	2	1	1,47	28,84

Toets op opdrukken 1ste check

	Situatie	Gronddruk kN/m3	Waterdruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	6,30	28,84	4,58	Voldoet niet
2	0,7 m klei sterk zandig	11,16	28,84	2,58	Voldoet niet
3	-	6,30	28,84	4,58	Voldoet niet
4	-	6,30	28,84	4,58	Voldoet niet
5	-	6,30	28,84	4,58	Voldoet niet
D	**Definitieve berekening**	6,30	28,84	4,58	Voldoet niet

Opdrukken - 2e check: 2-dimensionaal (inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

Waterdruk onder de deklaag

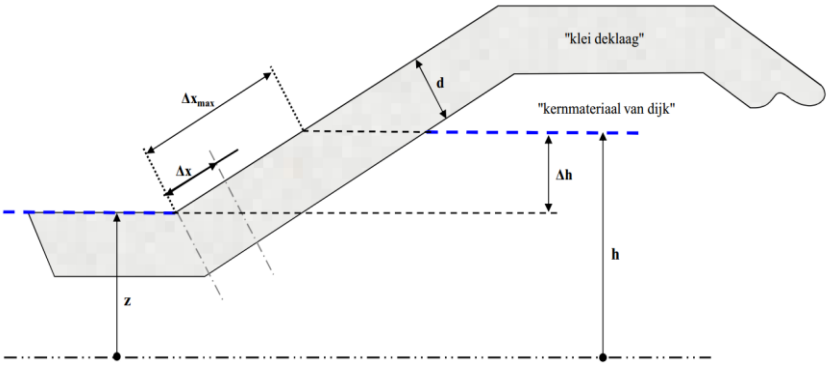
	Situatie	ΔH;STMI m	γ;d*γ;n opd -	γ;m;w -	Waterdruk kN/m3
1	Basisschematisatie	1,47	2,00	1,00	25,03
2	0,7 m klei sterk zandig	1,47	2,00	1,00	24,83
3	-	1,47	2,00	1,00	25,03
4	-	1,47	2,00	1,00	25,03
5	-	1,47	2,00	1,00	25,03
D	**Definitieve berekening**	1,47	2,00	1,00	25,03

Gewicht van de deklaag loodrecht op het talud

	Situatie	c kN/m2	tan(φ) -	φ °	γ;nat kN/m3	d m	γ;m;g -	Gronddruk kN/m3
1	Basisschematisatie	2,50	0,41	22,50	17,50	0,41	1,00	9,20
2	0,7 m klei sterk zandig	2,50	0,41	22,50	18,00	0,70	1,00	16,09
3	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,41	1,00	9,20
4	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,41	1,00	9,20
5	-	2,50	0,41	22,50	17,50	0,41	1,00	9,20
D	**Definitieve berekening**	2,50	0,41	22,50	17,50	0,41	1,00	9,20

Controle en toetsing op opdrukken

	Situatie	α °	Δx;max m	Δx m	Δx<Δxmax -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	25,47	3,42	1,02	Oké	25,03	9,20	2,72	Voldoet niet
2	0,7 m klei sterk zandig	25,47	3,42	1,01	Oké	24,83	16,09	1,54	Voldoet niet
3	-	25,47	3,42	1,02	Oké	25,03	9,20	2,72	Voldoet niet
4	-	25,47	3,42	1,02	Oké	25,03	9,20	2,72	Voldoet niet
5	-	25,47	3,42	1,02	Oké	25,03	9,20	2,72	Voldoet niet
D	Definitieve berekening	25,47	3,42	1,02	Oké	25,03	9,20	2,72	Voldoet niet



Afschuiven

(inclusief cohesie en hoek van inwendige wrijving)

	Situatie	ΔH;STMI m	α °	sin(α) °	tan(α) °	d m	φ °	tan(φ) -	c kN/m2
1	Basisschematisatie	1,47	25,47	0,43	0,48	0,41	22,50	0,41	2,50
2	0,7 m klei sterk zandig	1,47	25,47	0,43	0,48	0,70	22,50	0,41	2,50
3	-	1,47	25,47	0,43	0,48	0,41	22,50	0,41	2,50
4	-	1,47	25,47	0,43	0,48	0,41	22,50	0,41	2,50
5	-	1,47	25,47	0,43	0,48	0,41	22,50	0,41	2,50
D	Definitieve berekening	1,47	25,47	0,43	0,48	0,41	22,50	0,41	2,50

	γ;nat kN/m3	γ;m;g -	γ;m;w -	γ;m;c -	γ;m;ϕ -	γ;d;af -	γ;n;af -	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3
1	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	4,57	5,19
2	18,00	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	5,87	13,32
3	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	4,57	5,19
4	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	4,57	5,19
5	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	4,57	5,19
D	17,50	1,00	1,00	1,25	1,10	1,10	1,10	4,57	5,19

Toets op afschuiven

	Situatie	Waterdruk kN/m3	Gronddruk kN/m3	UC -	
1	Basisschematisatie	4,57	5,19	0,88	Voldoet
2	0,7 m klei sterk zandig	5,87	13,32	0,44	Voldoet
3	-	4,57	5,19	0,88	Voldoet
4	-	4,57	5,19	0,88	Voldoet
5	-	4,57	5,19	0,88	Voldoet
D	Definitieve berekening	4,57	5,19	0,88	Voldoet

Conclusie

Voor dit dwarsprofiel zijn twee situaties doorgerekend met een verschillende dikte en eigenschappen van de deklaag. Beide situaties voldoen niet op opdrukken maar wel op afschuiven. Omdat er sprake is van opdrukken onder maatgevende omstandigheden voldoet dit dwarsprofiel niet aan het faalmechanisme microstabiliteit (STMI)