

Memo

Aan
Henk van Hemert, Ed Calle, Martin van der Meer

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
27 november 2014	1210598-000-GEO-0002	12
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Timo Schweckendiek	+31(0)88335 7236	timo.schweckendiek@deltares.nl

Onderwerp
Kalibratie veiligheidsfactoren voor piping bij regionale keringen

De invoering van de herziene rekenregel Sellmeijer voor piping heeft tot de vraag geleid welke veiligheidsfactoren voor dit faalmechanisme van toepassing zijn voor regionale keringen. Deze notitie geeft een beknopt overzicht van verkennende berekeningen waarin voor toepassing van verschillende waarden van veiligheidsfactoren wordt gekeken welke betrouwbaarheid (lees: faalkans) wordt bereikt voor typische waarden van dijkcondities en onzekerheden zoals ze voor regionale keringen in Nederland worden aangetroffen. Deze informatie is bedoeld om de keuze voor toe te passen veiligheidsfactoren door experts te ondersteunen.

1 Opzet kalibratieberekeningen

Het doel van de beslis-ondersteunende kalibratie berekeningen is om een indruk te krijgen welk niveau van betrouwbaarheid (faalkans) op doorsnedeniveau wordt bereikt t.o.v. verschillende mogelijke waarden toe te passen veiligheidsfactoren. Op hoofdlijnen worden hiervoor onderstaande stappen doorlopen:

- 1 Opstellen van representatieve testcases (fictief of echt)
- 2 “Ontwerpen” van doorsnedes die net aan het te controleren toetsvoorschrift voldoen, incl. variatie van de te kalibreren veiligheidsfactor(en)
- 3 Faalkansberekeningen voor de “ontworpen” doorsnedes en variaties in veiligheidsfactor

ad 1) In het voorliggende onderzoek worden fictieve testcases toegepast gebaseerd op combinaties van representatieve parameter ranges zoals beschreven in sectie 2.

ad 2) Het “ontwerpen” betekent in het geval van piping, dat de karakteristieke waarde van de kwelweglengte zo wordt gekozen dat het semi-probabilistische toetsvoorschrift (alleen voor piping, geen rekening houdend met uplift en heave, zie bijlage A) net de gewenste veiligheidsfactor oplevert.

ad 3) Bij de faalkansanalyses voor de “ontworpen” doorsnedes worden de kansverdelingen van alle variabelen gebruikt die ook bij het afleiden van de karakteristieke waarden in stap 2 zijn toegepast. Dat is nodig voor de consistentie tussen de verkregen veiligheidsfactor en faalkans (of betrouwbaarheidsindex).



2 Testcases en invoerparameters

Voor de vier invoerparameters in de regel van Sellmeijer zijn door STOWA t.b.v. de kalibratie de parameter ranges zoals weergegeven in Tabel 2.1 gebruikt.

Tabel 2.1 Default verdelingen en ranges verwachtingswaarden sterkteparameters.

Variabele	Kansverdeling		Verwachtingswaarden		
	Type	Variatie coefficient	Ongunstige	Gemiddeld	Gunstige
Aquifer dikte D [m]	Lognormaal	10%	50	15	5
doorlatendheid k [m/s]	Lognormaal	100%	5.00E-04	5.00E-05	5.00E-06
korreldiameter d_{70} [m]	Lognormaal	15%	1.20E-04	2.00E-04	4.00E-04
deklaagdikte d [m]	Lognormaal	30%	0.1	2.5	6

Aan de belastingkant zijn drie parameter sets voor het verval toegepast, waarvan één afkomstig van een boezemkade en twee van regionale rivieren (zie Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Parameters sets voor belasting.

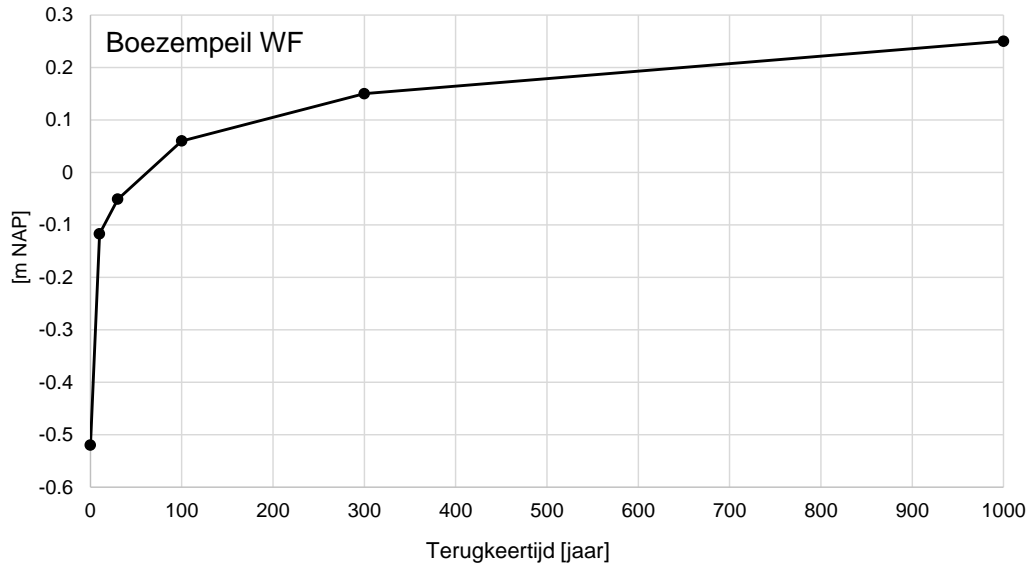
Plaats	WF ¹	WF	BD ² Etten-Leur	BD Dintelsas
Terugkeertijd [jaar]	100	100	100	100
Waterstand MHW [m NAP]	0.06	0.06	1.45	0.75
Polderpeil ³ h_{polder} [m NAP]	-2	-4	-0.80 ⁴	-1.15 ⁴
Kansverdeling type	Figuur 2.1		Gumbel Figuur 2.2	Gumbel Figuur 2.2
Param. 1	-		$a=0.722$	$a=0.209$
Param. 2	-		$b=0.218$	$b=0.143$
Param. 3	-		$k=-0.123$	$k=-0.09$

¹ Waterschap Friesland.

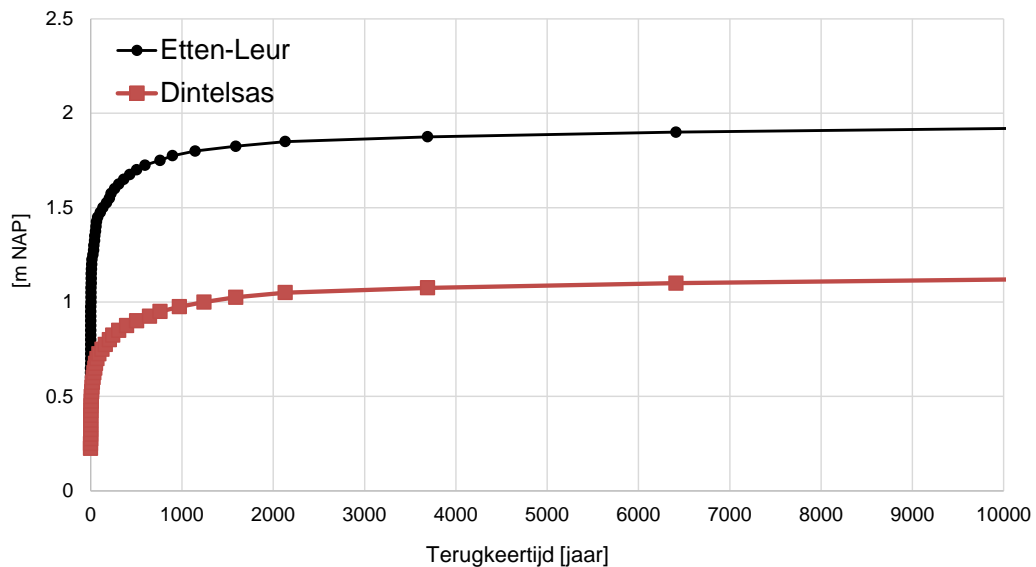
² Waterschap Brabantse Delta.

³ De onzekerheid in het slootpeil wordt gemodelleerd met een normale verdeling met standaardafwijking gelijk aan 0.1m.

⁴ Winterpeil.



Figuur 2.1 Boezemstatistiek voor WF.

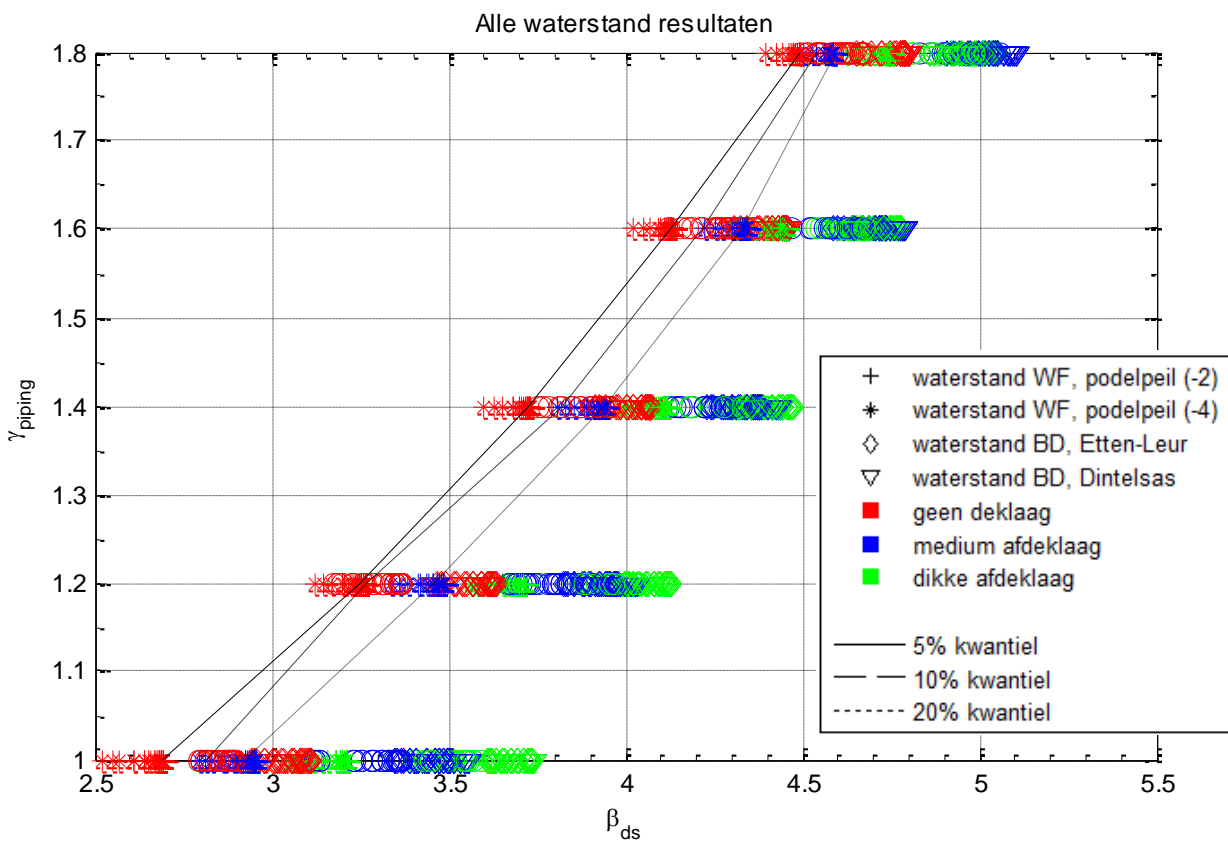


Figuur 2.2 Boezemstatistiek voor BD.

De uiteindelijke testcases zijn verkregen door alle mogelijke combinaties tussen de sterkte en belastingparameters (let op, elke set van waterstand en polderpeil of slootpeil wordt als een variant van het verval beschouwd) te genereren. Daarmee is het totale aantal testcases 324 (= 4×3^4).

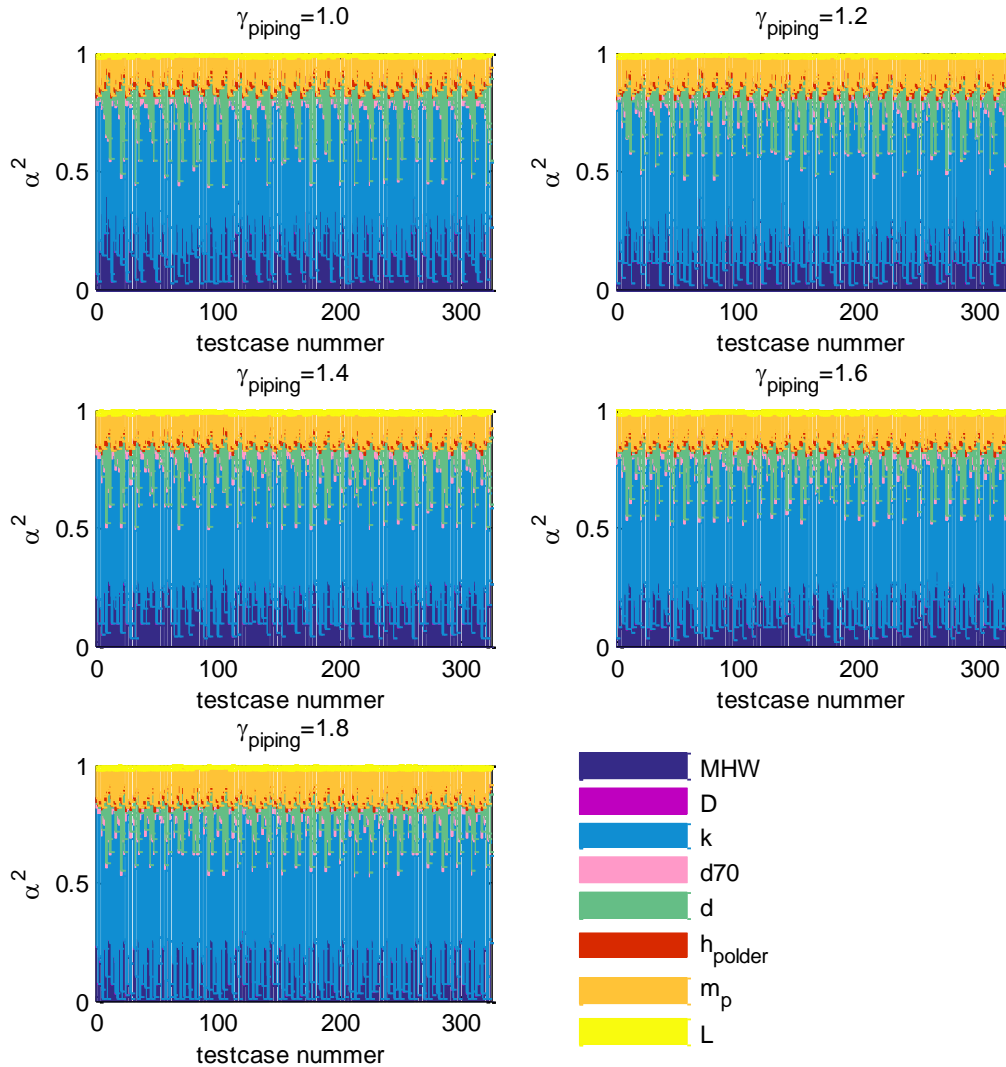
3 Resultaten

De resultaten van de in sectie 1 beschreven kalibratieberekeningen voor de in sectie 2 beschreven testcases zijn samengevat in onderstaande figuren. In **Error! Reference source not found.** staan alle resultaten voor veiligheidsfactor (γ_{piping}) versus doorsnede betrouwbaarheidsindex (β).



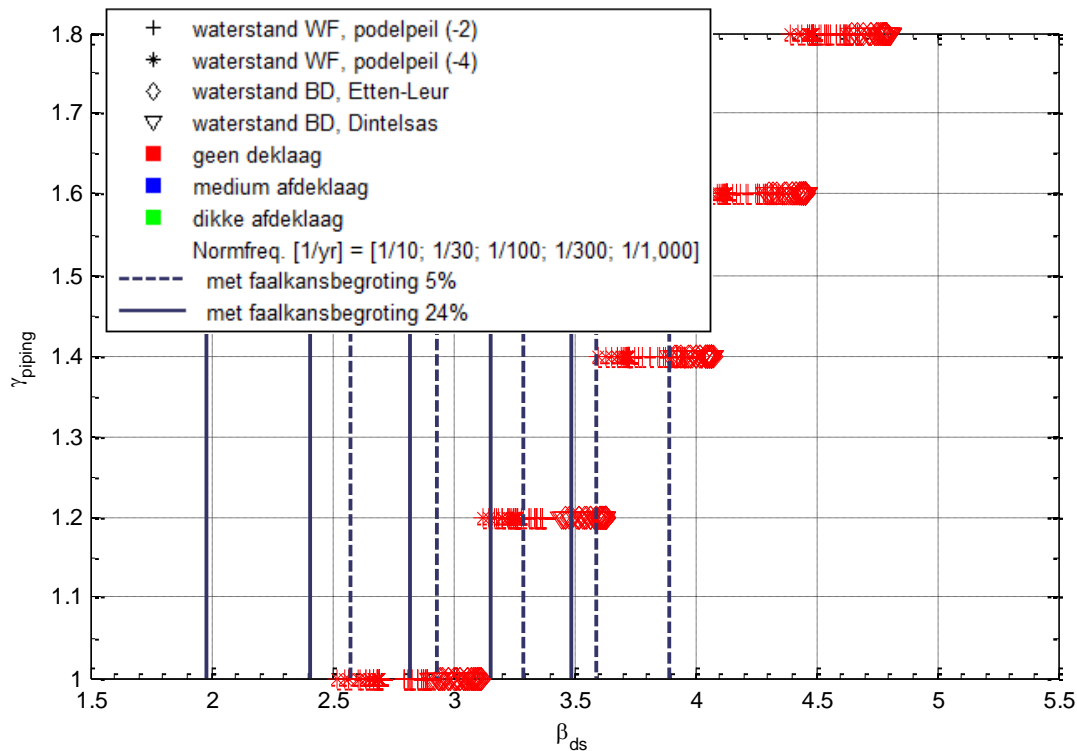
Figuur 3.1 Veiligheidsfactor versus betrouwbaarheidsindex – Alle resultaten.

We zien dat met dezelfde veiligheidsfactor een breed bereik van betrouwbaarheidsindex wordt verkregen. Dat is consistent met eerdere studies. Tevens blijkt dat de betrouwbaarheid voor dezelfde veiligheidsfactor lager ligt voor de regionale keringen dan voor primaire keringen. In Figuur 3.1 kenmerkt namelijk de zwarte lijn ongeveer het 5%-kwantiel van de berekende betrouwbaarheidsindices zoals berekend voor primaire keringen in Lopez ea. (2011). De verklaring ligt zeer waarschijnlijk in de veel kleine invloed van de belastingonzekerheid (zie invloedsfactoren in Figuur 3.2) t.o.v. primaire keringen. Dat impliceert dat het gebruik van een rekenwaarde voor de belasting niet veel helpt en daardoor vrijwel alle veiligheid aan de sterktekant moet worden gerealiseerd. In appendix B zijn de resultaten voor diepgaandere interpretatie nog verder opgesplitst.

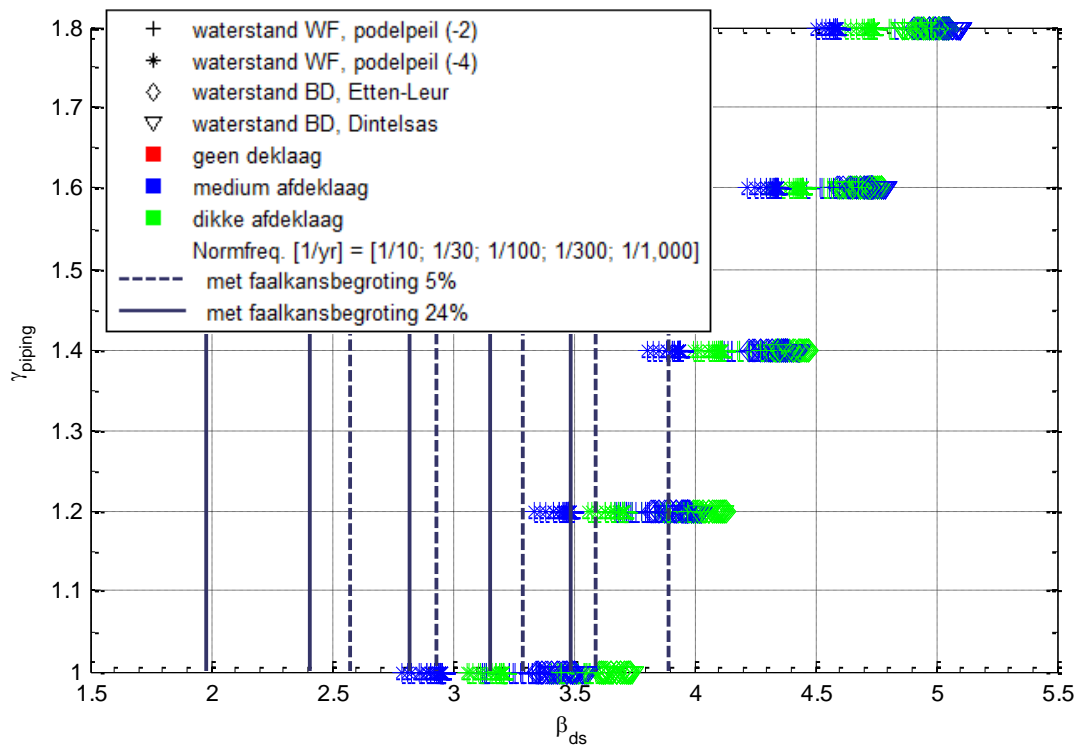


Figuur 3.2 Invloeds factoren (FORM) van alle 324 testcases.

Gezien er een significant verschil in de uitkomsten in Figuur 3.1 te zien is, hebben we in onderstaande figuren 3.3 en 3.4 de resultaten opgesplitst in “zonder deklaag” (scenario met dikte 0.1m) en “met deklaag” (scenario’s dikte 2.5m en 6.0m). Tevens zijn in de figuren verticale lijnen getekend met een aantal waarde voor norm en faalkansbudget. Een veiligheidsfactor is conservatief als voor een gegeven waarde de berekende betrouwbaarheidsindices aan de rechterkant van de doelbetrouwbaarheidsindex liggen.



Figuur 3.3 Invloeds factoren (FORM) van de testcases zonder deklaag



Figuur 3.4 Invloeds factoren (FORM) van de testcases met deklaag

4 Conclusie en aanbevelingen

De voorlopige conclusie die uit deze verkennende berekeningen kan worden getrokken is samengevat in een aanbeveling voor een viertal klassen veiligheidsfactoren in tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Parameters sets voor belasting.*

veiligheidsfactor γ_{piping}	geen deklaag (< 2m)	met deklaag ($\geq 2m$)
norm 1/10 – 1/100	1.2	1.1
norm 1/300 – 1/1000	1.4	1.3

De waarden in de tabel zijn “op het oog” gekozen met een criterium van een 5 a 20% kwantiel in het achterhoofd. Let wel, de waarden voor de hoge normen liggen redelijk in het midden van de berekende betrouwbaarheidsindices voor een faalkansbegroting van 5%, maar het zijn conservatieve waarden voor 24%.

Er wordt benadrukt dat in deze verkenning geen rekening is gehouden met het lengte-effect.

Tevens maakt de hoge invloed van de sterkte bij piping voor regionale keringen een bewezen sterkte aanpak bijzonder kansrijk.

Bijlage(n)

- A – Herziene rekenregel van Sellmeijer
- B – Gedetailleerde resultaten



Bijlage A – Herziene rekenregel van Sellmeijer

De herziene rekeregel van Sellmeijer wordt in de volgende grenstoestandsfunctie toegepast:

$$Z_p = m_p H_c - (h_{river} - h_{exit} - r_c d) \quad (A.1)$$

met

$$\frac{H_c}{L} = F_{\text{resistance}} F_{\text{scale}} F_{\text{geometry}} \quad (A.2)$$

$$F_{\text{resistance}} = \eta \frac{\gamma_{\text{sub.particles}}}{\gamma_{\text{water}}} \tan \theta_{\text{sellmeijer.revised}}$$

$$F_{\text{scale}} = \frac{d_{70.m}}{\sqrt[3]{\kappa L}} \left(\frac{d_{70}}{d_{70.m}} \right)^{0.4}, \quad \kappa = \frac{v_{\text{water}}}{g} k \quad (A.3)$$

$$F_{\text{geometry}} = 0.91 \left(\frac{D}{L} \right)^{\frac{0.28}{\left(\frac{D}{L} \right)^{2.8} + 0.04} - 1}$$

Waarin:

- m_p modelonzekerheid
- H_c kritieke verval over de waterkering [m]
- h_{river} buitenwaterstand [m NAP]
- h_{exit} binnenwaterstand (ook wel h_{polder}) [m NAP]
- r_c reductiefactor [0.3]
- d dikte van de deklaag [m]
- L lengte van de kwelweg (horizontaal gemeten) [m]
- η coëfficiënt van White [0.25]
- $\gamma_{\text{sub.particles}}$ (schijnbaar) volumegewicht van de zandkorrels onder water [16.5 kN/m³]
- γ_{water} volumegewicht van water [kN/m³]
- $\theta_{\text{sellmeijer.revised}}$ rolweerstandshoek van de zandkorrels [graden]
- $d_{70.m}$ gemiddelde d_{70} in de kleine schaalproeven [2.08E-04 m]
- d_{70} 70-percentielwaarde van de korrelverdeling [m]
- k doorlatendheid van de zandlaag [m/s]
- g valversnelling [9.81 m/s²]
- v_{water} viscositeit van water [1.33E-06 m/s²]
- κ intrinsieke doorlatendheid van de pipinggevoelige/bovenste zandlaag [m²]
- D dikte van de zandlaag (aquifer) [m]

Het zo berekende kritieke verval wordt in het toetsvoorschrift als volgt toegepast:
Het kritieke verval over de waterkering (H_c) is een functie van:

$$H_c = f(L, D, d_{70}, k) \tag{A.4}$$

In de semi-probabilistische toetsregel worden zowel de sterkte als de belasting met karakteristieke waarden berekend.

$$H_c \geq \gamma_{\text{piping}} \cdot H$$

dus:

$$f(L_{\text{kar}}, D_{\text{kar}}, d_{70, \text{kar}}, k_{\text{kar}}) \geq \gamma_{\text{piping}} \cdot (h_{\text{river}}(T) - h_{\text{polder, kar}} - r_c \cdot d_{\text{kar}}) \tag{A.5}$$

Waarin:

$h_{\text{river}}(T)$ Waterstand voor een terugkeertijd van T jaar [m]

\dots_{kar} karakteristieke waarde van een variabele

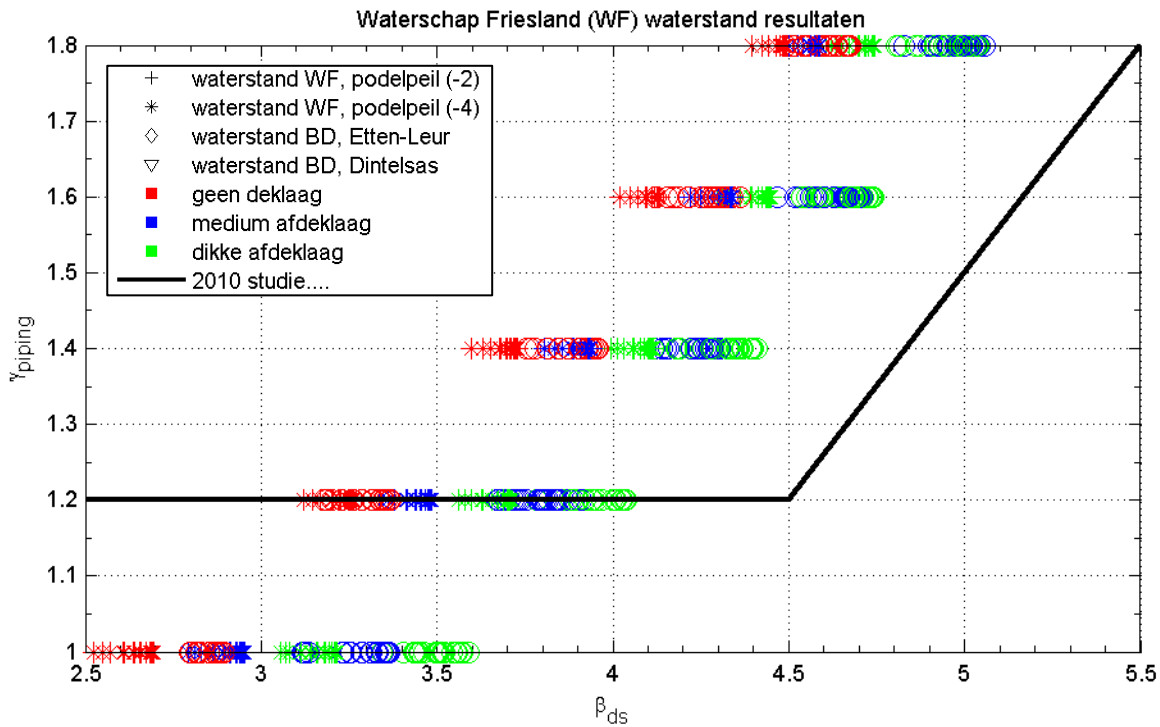
Tabel A.1 Karakteristiek-waarden voor sterkteparameters.

Variabele	Ongunstige	Gemiddeld	Gunstige
Aquifer dikte D [m]	58.6	17.6	5.9
doorlatendheid k [m/s]	1.4E-03	1.4E-04	1.4E-05
korreldiameter d_{70} [m]	9.3E-05	1.5E-04	3.1E-04
deklaagdikte d [m]	0.06	1.48	3.54

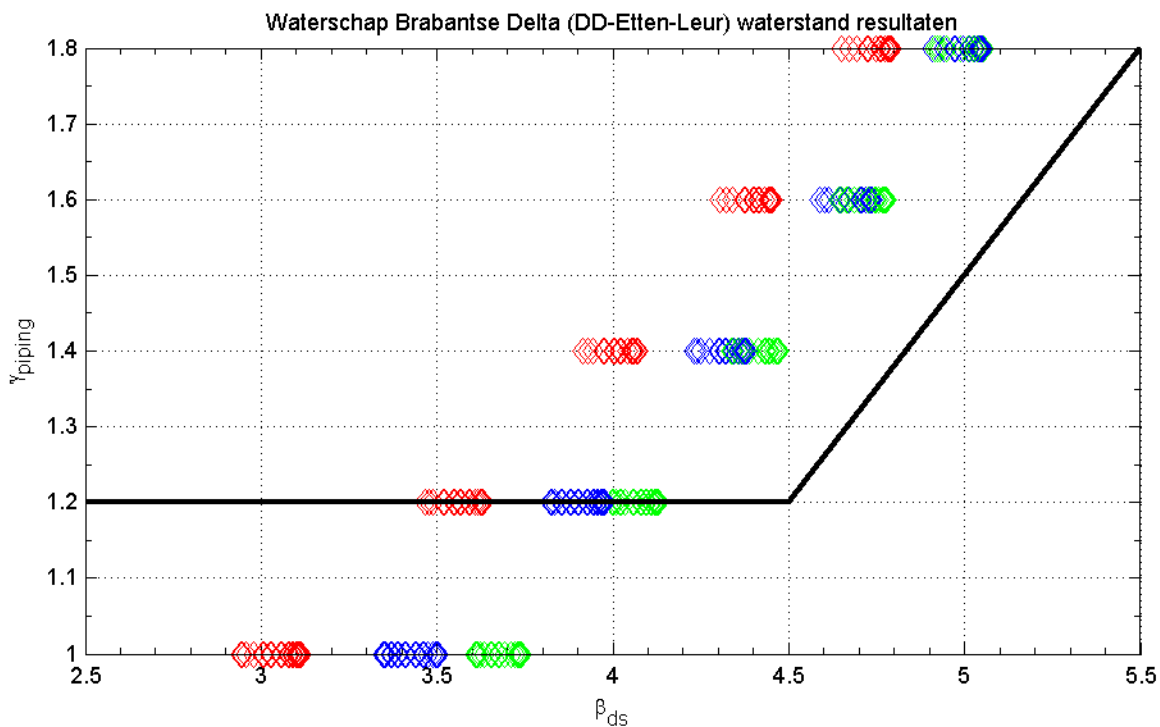
Tabel A.2 Karakteristiek-waarden voor belasting.

Plaats	WF	WF	BD Etten-Leur	BD Dintelsas
Terugkeertijd [jaar]	100	100	100	100
Waterstand MHW [m NAP]	0.06	0.06	1.49	0.75
Polderpeil h_{polder} [m NAP]	-2.17	-4.17	-0.97	-1.32

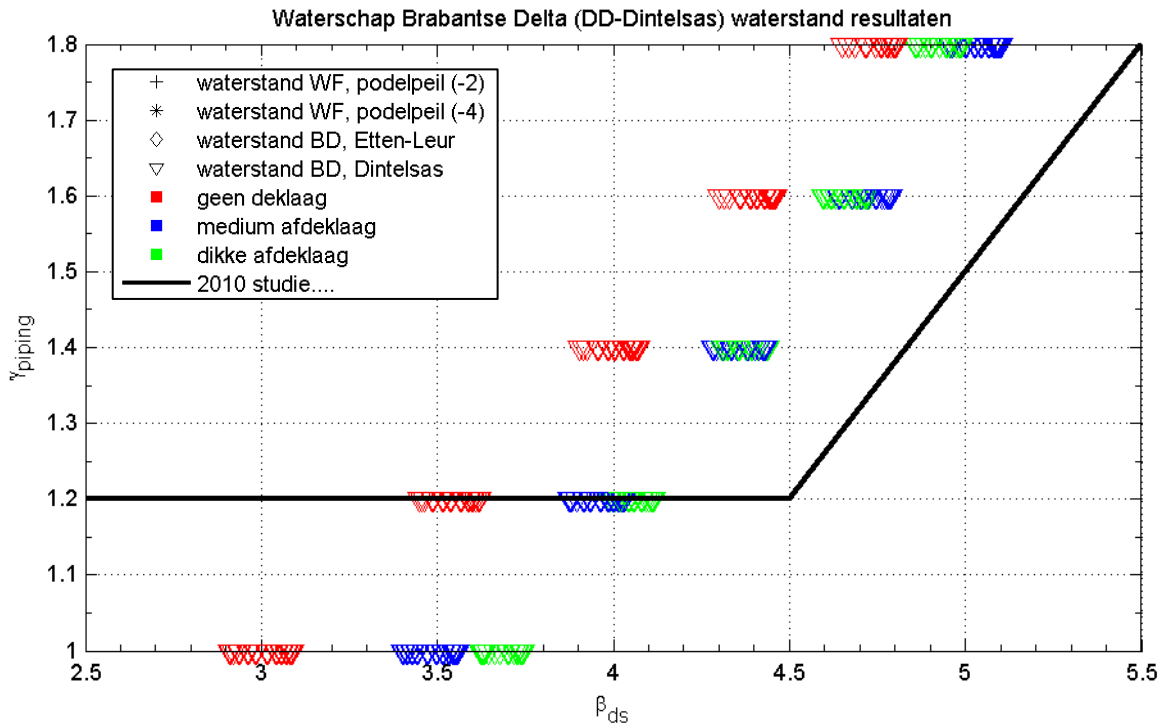
Bijlage B – Illustraties resultaten



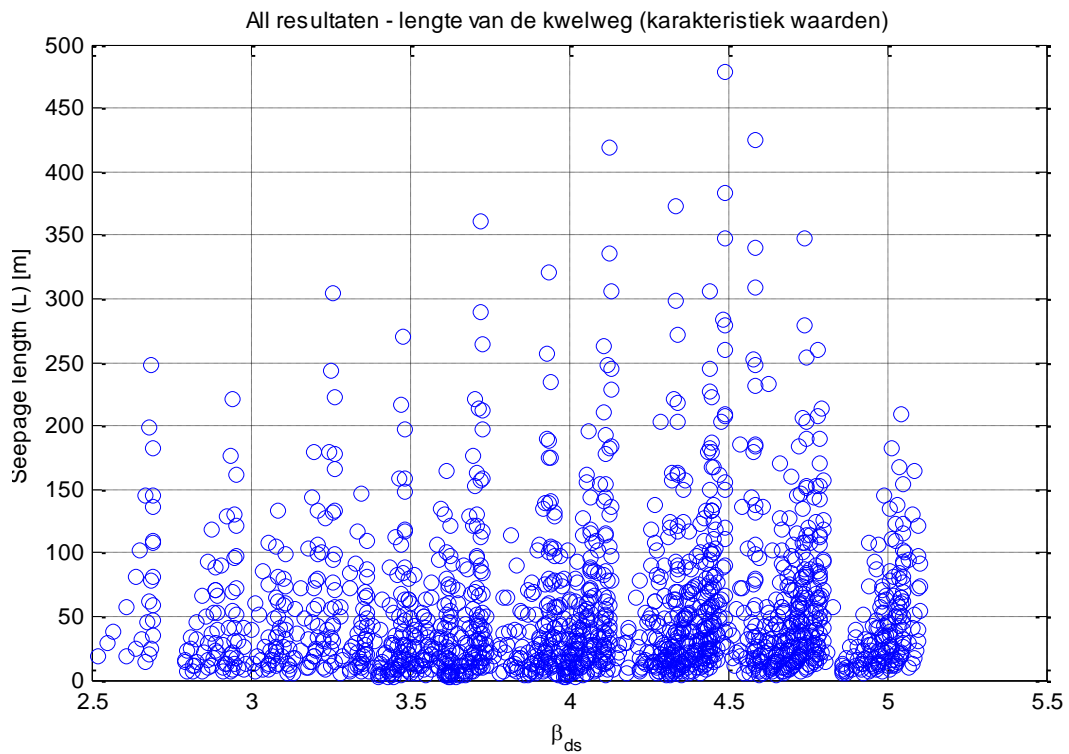
Figuur B-1: Veiligheidsfactor versus betrouwbaarheidsindex – alleen waterstand WF



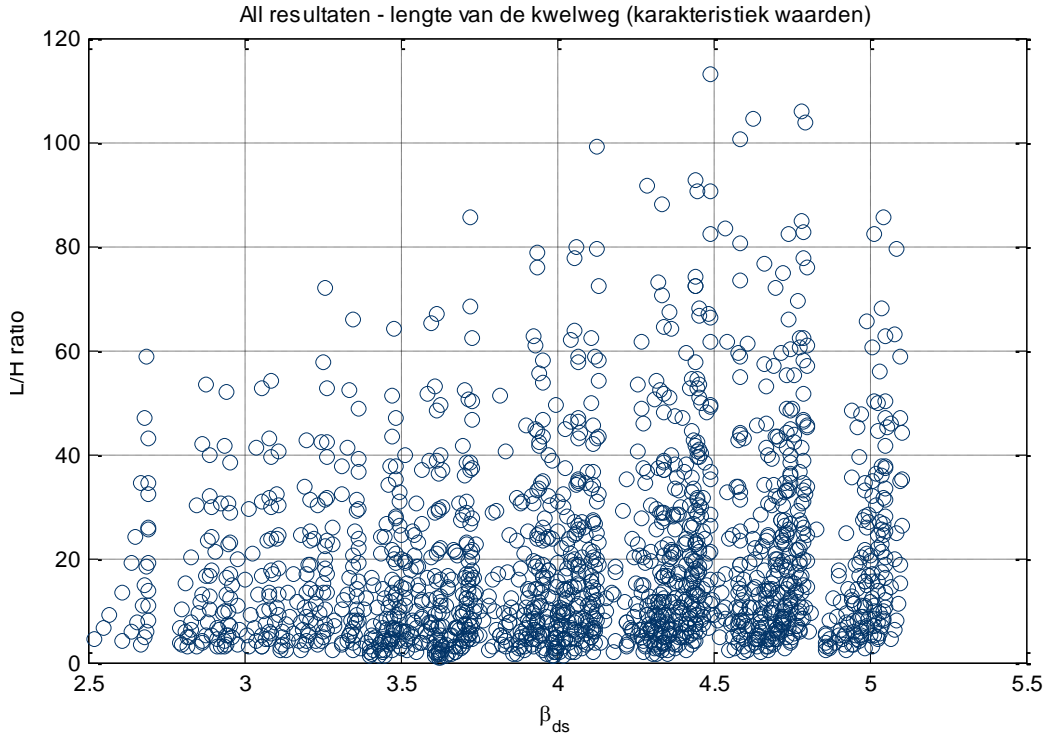
Figuur B-2: Veiligheidsfactor versus betrouwbaarheidsindex – alleen waterstand BD Etten-Leur



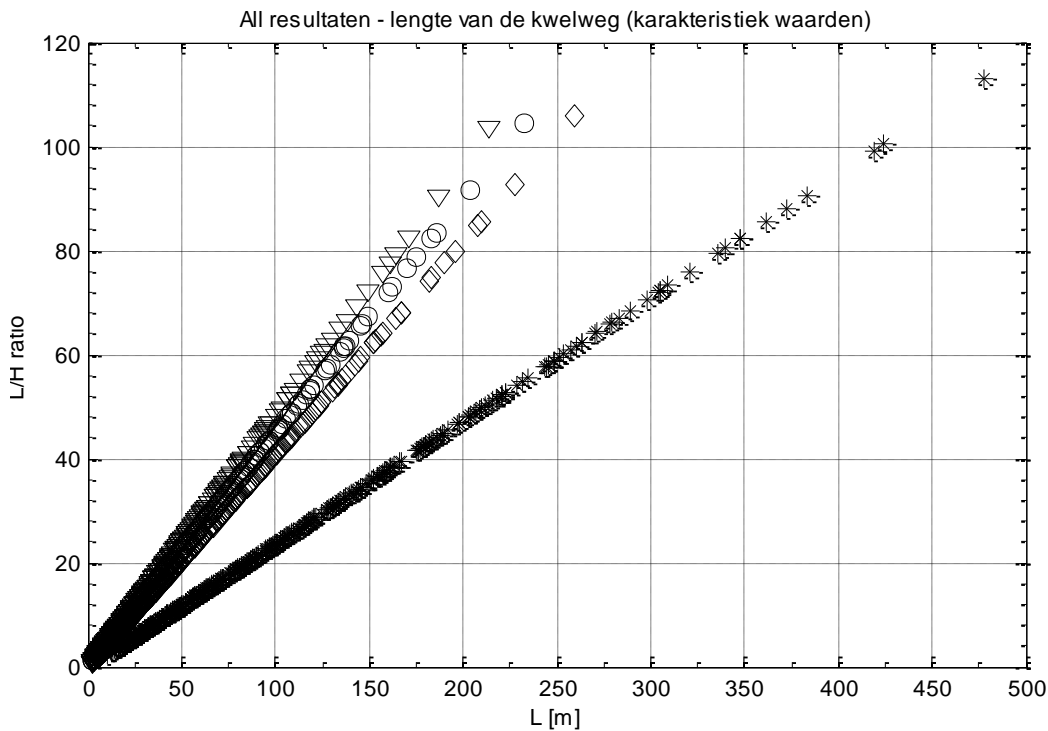
Figuur B-3: Veiligheidsfactor versus betrouwbaarheidsindex – alleen waterstand BD Dintelsas



Figuur B-4: Kar.-waarde kwelweglengte versus betrouwbaarheidsindex



Figuur B-5: Kar.-waarde L/H-ratio versus betrouwbaarheidsindex



Figuur B-6: Kar.-waarde L/H-ratio versus kar.-waarde kwelweglengte