

BIJLAGE C MACROSTABILITEIT

Definitief

23 DECEMBER 2015

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 173
1620 AD Hoorn
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com

Projectnummer: c03011.000406

Inhoudsopgave

1 MACROSTABILITEIT	7
1.1 Inleiding	7
1.2 Werkwijze	7
1.3 Uitgevoerd grond- en laboratoriumonderzoek	9
1.4 Belangrijkste uitgangspunten	10
1.5 Ongedraineerde sterkte eigenschappen	10
Sterkte-eigenschappen ongedraineerde grondsoorten	10
Sterkte-eigenschappen gedraineerde grondsoorten	11
Materiaalfactoren	12
1.6 Schadefactoren en modelfactoren	13
Schadefactoren	13
Modelfactoren	13
1.7 Dijkvakindeling	13
1.8 Resultaten onderzoekslocaties	18
1.9 Tussenstap Su-ratio, m en POP	19
Resultaten	19
Oorzaak verschillen	20
Voorbeeld S44_50_50	21
1.10 Invloed maatgevende geometrie	22
1.11 Aanvullende berekeningen	24
1.12 Schematiseringsfactor	25
1.12.1 Inschatting schematiseringsfactor per traject	26
Sondeerlocaties	26
Extra berekeningen	28
1.13 Gevoeligheidsberekeningen	28
1.13.1 N_{kt} klei onder veen.	28
1.13.2 Verzadigde kern	29
1.13.3 Afschuiven bekleding binnentalud	30
1.13.4 Verkeersbelasting	32
1.14 Resultaten binnenwaartse macrostabiliteit	33
Samenvatting toetsscore macrostabiliteit binnenwaarts	37

1.15 Conclusie en aanbevelingen	37
Conclusies	37
Aanbevelingen dijkversterking Centraal Holland:	38
Aanbevelingen Ongedraineerd rekenen	38
2 BUITENWAARTSE MACROSTABILITEIT	39
Conclusies	40
Aanbevelingen	40
3 BIJZONDERE WATERKERENDE	
CONSTRUCTIES	41
3.1 Inleiding	41
3.2 Muur en damwand haven Wijk bij Duurstede (dp 44.85+70 – 44.89+00)	43
3.3 Damwanden fort Honswijk (dp 44.244 – 44.245)	44
3.4 Keerwand oostelijk van de Gemeentesluis (dp 15.M14 – 15.M16)	45
3.5 Stabiliteitsscherm (dp 15.143+90 – 15.146+10)	46
3.6 Stabiliteitsscherm bij panden	46
3.7 Stabiliteitsscherm watergang (dp 15.188+80)	47
LITERATUUR	48
C1. BEGRIPPENLIJST	49
C.2 BIJLAGE DWARSPROFIELEN	50
C.3 WEERGAVE KRITIEKE GLIJVLAK	51

1 MACROSTABILITEIT

1.1 Inleiding

In deze bijlage wordt ingegaan op de gedetailleerde toetsing van de binnenwaartse macrostabiliteit. Voor de toets op macrostabiliteit is gerekend met ongedraineerde parameters voor de cohesieve grondlagen. Deze werkwijze is nieuw en nog volop in ontwikkeling. Zowel het plan van aanpak grondonderzoek [lit. 1] als het plan van aanpak toetsing [lit. 5] zijn akkoord bevonden door HWBP, KPR en opdrachtgever.

In paragraaf 1.2 zijn de belangrijkste stappen uit de gevolgde werkwijze beknopt beschreven. De werkwijze om te komen tot een oordeel voor macrostabiliteit is uitgebreider beschreven in het Plan van aanpak toetsing [lit. 5]. In bijlage C1 is een begrippenlijst opgenomen.

1.2 Werkwijze

De werkwijze zoals deze is gehanteerd, inclusief de belangrijkste uitgangspunten, is beschreven in het plan van aanpak toetsing. In deze paragraaf zijn de afzonderlijke stappen die doorlopen zijn opgenomen, inclusief een beknopte toelichting. Een groot deel van de stappen komt terug als een paragraaf in dit hoofdstuk. In deze paragrafen worden de stappen nader toegelicht.

De werkwijze komt globaal neer op de volgende stappen:

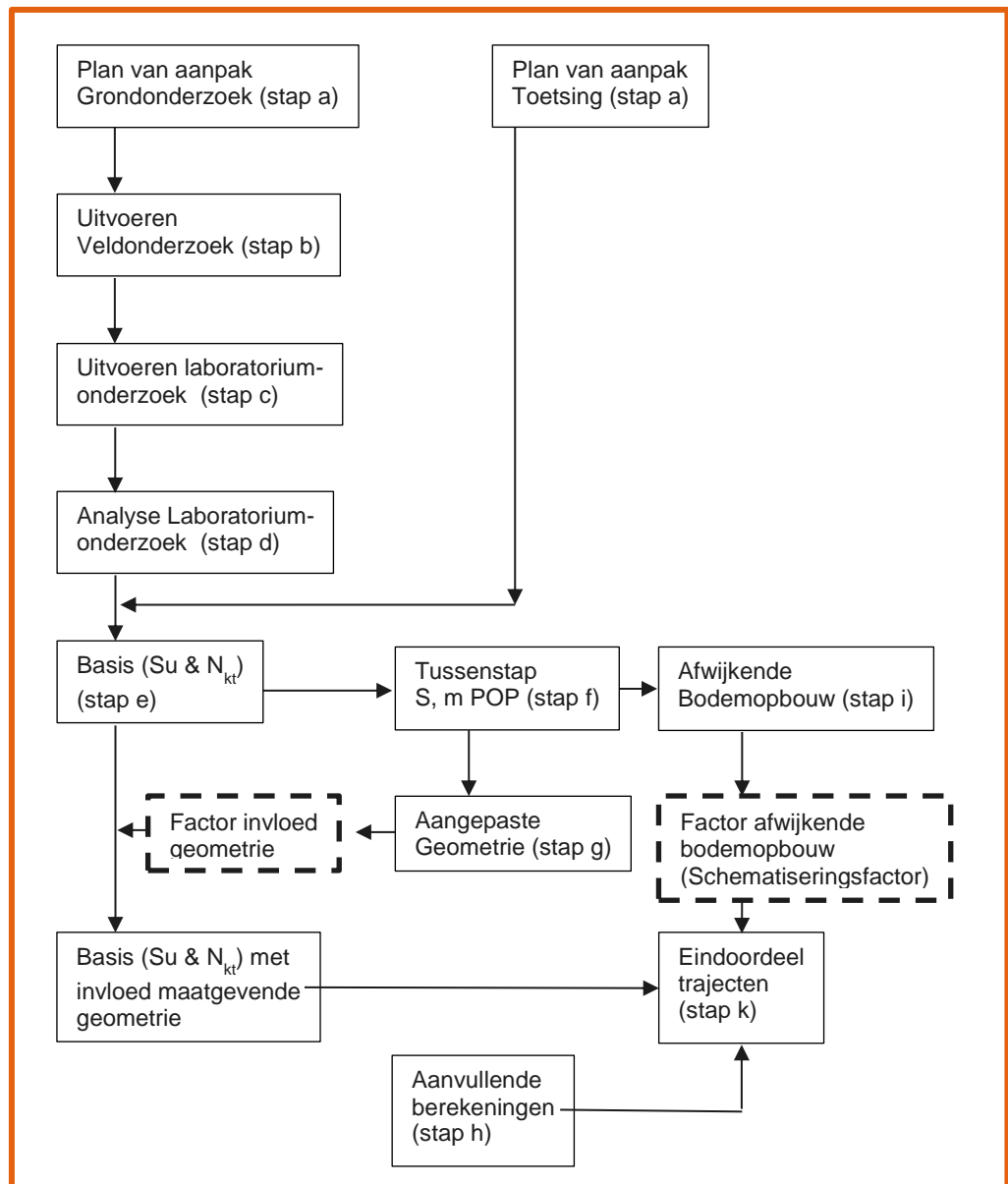
- a. opstellen plan van aanpak grondonderzoek en plan van aanpak toetsing;
- b. uitvoeren sonderingen en verzamelen monsters;
- c. uitvoeren laboratoriumonderzoek;
- d. opstellen proevenverzameling en afleiden rekenwaarden;
- e. uitvoeren stabiliteitsberekeningen ter plaatse van de sondeerlocaties;
- f. tussenstap Su-ratio, m en POP;
- g. bepalen maatgevende geometrie binnen dijkvakken en invloed op stabiliteit;
- h. aanvullende berekeningen voor dijkvakken zonder aanvullend grondonderzoek (sonderingen);
- i. bepalen schematiseringsfactor;
- j. gevoeligheidsberekeningen;
- k. vertalen berekeningen naar toetsoordeel dijkvakken.

Toelichting stappen:

- a. Plan van aanpak grondonderzoek [lit. 1]. In dit plan is onder ander een dijkvakindeling opgesteld, zijn de onderzoekslocaties vastgelegd en is de omvang en aard van het laboratoriumonderzoek vastgelegd.
- b. en c. In periode augustus – oktober 2015 heeft grond- en laboratoriumonderzoek plaatsgevonden om de ongedraineerde sterkteparameters te bepalen. Hierbij zijn de laatste technieken en inzichten gebruikt om de juiste gegevens te kunnen herleiden. Het grond- en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd conform het plan van aanpak grondonderzoek [lit. 1]. De resultaten van het veld- en laboratoriumonderzoek zijn opgenomen in een separate rapportage [grond- en laboratoriumonderzoek lit. 2]. In paragraaf 1.3 is het uitgevoerde grondonderzoek beknopt beschreven.

- d. De sterkte eigenschappen zijn bepaald op basis van de Handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters [lit.3]. In paragraaf 1.5. zijn de (on)gedraineerde sterkte-eigenschappen opgenomen en de bijbehorende materiaalfactoren. Een uitgebreide analyse van de laboratoriumresultaten is opgenomen in een separate rapportage [lit. 4]. Deze rapportage bevat de onderbouwing van de gebruikte (on)gedraineerde sterkte-eigenschappen.
- e. De grondopbouw uit de sonderingen, de sterkte-eigenschappen uit het labonderzoek en de geometrie ter plaatse van de sondering zijn gecombineerd tot D-Geostability berekeningen. In deze berekeningen is uitgegaan van de ongedraineerde schuifsterkte gebaseerd op de afgeleide N_{kt} en de netto conusweerstand (q_{net}). De achtergrond van deze keuze is beschreven in de rapportage analyse laboratoriumresultaten. De geometrie is overgenomen uit de beschikbare AHN2 profielen. Daarbij is het profiel geselecteerd dat het dichtst bij de locatie van de sonderingen ligt.
- f. In deze tussenstap is de overstap gemaakt van de berekeningen met S_u op basis van q_{net} en N_{kt} naar S_u -ratio, m en POP. Deze stap is nodig als tussenstap, om later de invloed van de maatgevende geometrie en afwijkende bodemopbouw te kunnen bepalen. De uitkomsten van deze stap worden alleen gebruikt om het relatieve verschil te kunnen bepalen van een afwijkende geometrie (stap g) en/of bodemopbouw (stap h). De absolute getallen worden verder niet gebruikt.
- g. In deze stap is een maatgevend profiel geselecteerd voor elk dijkvak, op basis van de beschikbare AHN2 profielen (h.o.h. 20 m). In deze stap is niet gekeken naar de bodemopbouw maar uitsluitend naar de geometrische kenmerken: hoogte achterland, bermafmeting en helling binnentalud. Op basis van expert judgement is een profiel geselecteerd. Het geselecteerde profiel is gecombineerd met de bodemopbouw op de onderzoekslocatie. Met deze combinatie is een nieuwe stabiliteitsberekening gemaakt. Het relatieve verschil is gebruikt om de invloed van de geometrie te verrekenen de basisberekening (S_u-N_{kt}).
- h. In deze stap zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd voor enkele locaties met een specifieke bodemopbouw die niet is aangetroffen in het uitgevoerde grondonderzoek. Dit betreft locatie met een relatief dunne deklaag (tot circa 3 m). Op basis van de beschikbare informatie en de nieuwe informatie uit het laboratoriumonderzoek is voor deze locaties een nieuwe D-Geostability berekening uitgevoerd. Deze stap is uitgewerkt in paragraaf 1.9.
- i. In deze stap is een vertaling gemaakt van de bodemopbouw zoals deze is aangetroffen in de sondering naar de bodemopbouw die voorkomt binnen het dijkvak. De uitwerking van deze stap, en de gevolgde werkwijze, zijn nader beschreven in paragraaf 1.12.
- j. In deze stap zijn enkele aanvullende gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd. De invloed van een hoger overslagdebiet is berekende door uit te gaan van een volledig verzadigde dijkkern. Daarnaast is de invloed van een hogere (ongunstige) N_{kt} waarde voor klei onder veen berekend.
- k. In deze stap zijn de resultaten van de verschillende berekeningen samengevoegd tot een oordeel voor elk dijkvak. Deze stap is uitgewerkt en beschreven in paragraaf 1.14.

De samenhang van de verschillende stappen is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Samenhangen verschillende stappen

1.3 Uitgevoerd grond- en laboratoriumonderzoek

Voor de uitgevoerde gedetailleerde toetsing macrostabiliteit is, grotendeels conform het plan van aanpak grondonderzoek [lit. 1], het volgende grondonderzoek uitgevoerd:

- 49 sonderingen, klasse 2, inclusief meting van de waterspanning, tot een diepte van ten minste NAP -10 m;
- 20 mechanische boringen, verspreid over 5 proefvelden, inclusief 2 gestoken monsters per m boring;
- 12 mechanische boringen verspreid over het gebied, inclusief 2 monsters per m boring (in aanvulling op het plan van aanpak Grondonderzoek, om de classificatie van de grondlagen te verbeteren);
- 3 sonderingen, klasse 1, tot circa -7 m NAP (in aanvulling op het plan van aanpak Grondonderzoek, vanwege de afwijkende conusweerstand in de originele klasse 2 sonderingen);
- alle monsterbussen zijn voor en na het steken van het monster gewogen, hiermee is het gemiddelde volume gewicht van het monster in de monsterbussen berekend.

Tevens is het volgende laboratoriumonderzoek uitgevoerd, conform het laatste STOWA protocol (STOWA/DR protocol uit 2011):

- 22x samendrukkingsproeven, 10 traps;
- 8x CRS proeven;
- 68x anistroop geconsolideerde single stage triaxiaal proeven, waarvan 52 uitgevoerd bij terreinspanning en 16 uitgevoerd bij 2 maal de grensspanning;
- 32x DSS proeven, waarvan 26 uitgevoerd bij terreinspanning en 6 uitgevoerd bij 2 maal de grensspanning;
- 200x volumegewicht en watergehalte (in aanvulling op het plan van aanpak).

Het laboratoriumonderzoek is geconcentreerd op de monsters uit vier van de vijf¹ proefvelden. In deze proefvelden is per onderscheiden grondsoort de conusfactor N_{kt} bepaald. De volumegewichten en watergehaltenes zijn bepaald op monsters verspreid over het hele onderzoeksgebied.

1.4 Belangrijkste uitgangspunten

De uitgangspunten zijn vastgelegd in het plan van aanpak toetsing [lit. 5]. In deze paragraaf is een overzicht opgenomen van de belangrijkste uitgangspunten. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar het plan van aanpak.

Belangrijkste uitgangspunten:

- De hydraulische randvoorwaarden zijn opgenomen in Bijlage A: Hydraulische randvoorwaarden en hoogtetoets.
- De grondwaterstand is gelijk aan maaiveld en verloopt hydrostatisch tot aan de bovenzijde van de indringingslaag;
- Een indringingslaag van 4 m. De waterspanning verloopt over de indringingslaag van de grondwaterstand naar de stijghoogte in het watervoerend pakket. Beide trajecten liggen in het bovenriviereengebied en hebben een lange hoogwaterperiode. De toepassing van een indringingslaag is een instationaire benadering. De waarde van 4 m is naar verwachting een gemiddelde schatting (in ieder geval niet een veilige schatting);
- In de stabiliteitsberekeningen wordt geen verkeersbelasting toegepast (wel in een gevoeligheidsberekening);
- In alle gevallen is een LiftVan en een Spencer – Van der Meij berekening uitgevoerd;
- Er wordt uitsluitend gekeken naar diepte glijvlakken die de kruin van de waterkering snijden.

1.5 Ongedraineerde sterkte eigenschappen

Sterkte-eigenschappen ongedraineerde grondsoorten

Op basis van het uitgevoerde grond- en laboratoriumonderzoek zijn karakteristieke waarden voor de sterkte-eigenschappen afgeleid voor de grondlagen die ongedraineerd reageren. Deze sterkte-eigenschappen zijn opgenomen in Tabel 1.

¹ Op de monsters in het vijfde proefveld, dijkkring 44, dijkpaal 81 (44_081_00) zijn geen triaxiaal- of DSS-proeven uitgevoerd. In dit proefveld zijn nagenoeg geen lagen aanwezig die ongedraineerd reageren, daarnaast was er sprake van een zeer lage grondwaterstand. Op klei boven de grondwaterstand is het vooralsnog niet mogelijk om een betrouwbare conusfactor te bepalen.

Tijdens de uitwerking van de proefresultaten is gebleken dat er geen duidelijk onderscheid te maken is in de sterkte-eigenschappen van de verschillende kleisoorten die gelegen zijn boven het veen. Deze klei heeft een relatief hoog volume gewicht van $17,4 \text{ kN/m}^3$. Dit geldt ook voor de monsters die in het veld zijn geclassificeerd als zwak/matig humeus. Ook binnen de aanwezige veenlaag is geen onderscheid te maken. Wel is de sterkte van veen-kleilig duidelijk anders dan veen. Het onderscheid tussen klei onder veen en klei onder veen-zandig is alleen te zien in het volume gewicht. Klei onder veen wordt aangetroffen in normtraject 15-1, klei onder veen-zandig in normtraject 44-1.

Tabel 1: Sterkte-eigenschappen ongedraineerde grondlagen

Grondsoort	Volume gewicht [kN/m ³]	N _{kt} [-]	N _{kt} v.c. [-]	m _{eind} [-]	S _{eind} [kPa]	S _{eind} kar [kPa]
Klei_boven	17,4	11	0,18	0,87	0,35	0,30
Veen	10,6	16,5	0,16	0,88	0,42	0,36
Veen_kleilig	11,4	16,6	0,17	0,87	0,35	0,31
Klei_under_veen	15,3	9,5	0,13	0,87	0,28	0,25
Klei_under_veen_zandig	19,4	9,5	0,13	0,87	0,28	0,25

Sterkte-eigenschappen gedraineerde grondsoorten

De gedraineerde sterkte-eigenschappen zijn opgenomen in Tabel 2. De eigenschappen van het dijk materiaal zijn bepaald op basis van bestaande anisotrope single stage triaxiaalproeven. De uitwerking van deze proeven is opgenomen in de rapportage Analyse labresultaten [lit.4]. Bij de bepaling van de eigenschappen is aangesloten bij het CSSM. Dit betekent dat gewerkt wordt met eind-sterktes en dat de cohesie altijd gelijk aan nul is.

Tabel 2: Sterkte-eigenschappen gedraineerde grondlagen (CSSM)

Grondsoort	Volume gewicht (droog/nat) [kN/m ³]	c' d ³ [kPa]	φ' d [graden]
Dijkmateriaal klei ¹	18,8 / 18,8	0	31,6
Klei_toplaag ¹	18,8 / 18,8	0	31,6
Zand_tussenlaag ²	18 / 20	0	26,1
Zand_kleilig ²	17 / 19	0	26,1
Zand_pleistoceen ²	18/20	0	28,6

- 1) Waarden afgeleid uit bestaande proeven,
- 2) Waarden overgenomen uit tabel 2.b EC7, NEN – EN 1997-1+C1/NB
- 3) In het CSSM model wordt gewerkt met eind-sterktes en is de cohesie altijd gelijk aan 0

Materiaalfactoren

In de basisberekening wordt uitgegaan van een S_u -waarde bepaald op basis van de conusweerstand. Binnen WTI zijn nog geen materiaalfactoren bepaald voor de N_{kt} . Voor het afleiden van de rekenwaarde van de S_u -waarde bepaald op sonderingen kunnen de materiaalfactoren op de S en de Pop uit het OI2014v3, bijlage F, niet worden gebruikt.

In overleg met specialisten van Deltares (e-mail opgenomen in bijlage 1 in rapport analyse labresultaten [lit. 4]) is besloten om de materiaalfactor per grondsoort voor de S_u -waarde te berekenen met onderstaande formule:

$$\gamma_X = \frac{X_k}{X_d} = \exp \left(\left(-(1,65 - \beta_{eis,dsn} \alpha_X) \right) \sqrt{\ln \left(1 + \left(\frac{\sigma_X}{\mu_X} \right)^2 \right)} \right)$$

Formule 1 berekening materiaalfactoren S_u -waarde

Hierbij is uitgegaan van de variatiecoëfficiënt op de N_{kt} waarde zoals opgenomen in Tabel 1. Daarnaast is een veilige waarde voor de invloed coëfficiënt uit de Form analyses van 0.62. Hierbij is opgemerkt dat de keuze van 0.62 als invloedcoëfficiënt nog niet 100 % zeker is. De berekende materiaalfactoren per grondsoort zijn opgenomen Tabel 3. Voor $\beta_{eis,dsn}$ is niet de doorsnede eis aangehouden, maar de referentiewaarde van 4.3 (zie bijlage 1).

Tabel 3: Materiaalfactoren S_u -waarde per grondsoort

Grondsoort	v.c. gemiddeld [-]	Materiaalfactor S_u -waarde [-]
Klei_boven_veen	0,18	1.23
Veen	0,16	1.22
Veen_kleig	0,17	1.22
Klei_onder_veen	0,13	1.19
Klei_onder_veen_zandig	0,13	1.15
Dijkmateriaal klei gedraineerd	0,04	1.05
Zand (pleistoceen, tussenlagen en kleilig)	-	1,06

De materiaalfactor op de ϕ van het dijkmateriaal is, op aanwijzing van Deltares (zie Bijlage 1), ook berekend op basis van formule 1. Dit levert een materiaalfactor op van 1,05. Voor de materiaal factor op de ϕ van het zand is, op aanwijzing van Deltares (zie Bijlage 1), uitgegaan van 1,06.

De materiaalfactoren die toegepast zijn op de POP en de S_u -ratio zijn overgenomen uit Bijlage F, OI2014v3 en opgenomen in Tabel 4. Op de m is een materiaalfactor van 1,05 toegepast.

Tabel 4: Materiaalfactoren POP en Su-ratio

Grondsoort	Materiaalfactor POP [-]	Materiaalfactor Su-ratio [-]
Klei_boven	1,09	1,08
Veen	1,13	1,05
Veen_kleig	1,11	1,14
Klei_onder_veen	1,11	1,04
Klei_onder_veen_zandig	1,11	1,08

1.6 Schadefactoren en modelfactoren

Schadefactoren

De schadefactoren zijn overgenomen uit het OI2014v3 [lit.6]. Hierbij is uitgegaan van de schadefactoren zoals die gelden voor het CSSM model. De toegepaste factoren zijn opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5: Schadefactoren CSSM

Normtraject	Schadefactor
15-1	1,15
44-1	1,17

Modelfactoren

De modelfactoren zijn overgenomen uit het OI2014v3 [lit.6]. Hierbij is uitgegaan van de modelfactoren zoals die gelden voor het CSSM model. De toegepaste factoren zijn opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6: Modelfactoren CSSM

Model	Modelfactor
Bishop	1,11
LiftVan	1,06
Spencer-Van der Meij	1,07

1.7 Dijkvakindeling

De dijkvakindeling is reeds vastgesteld in het Plan van aanpak grondonderzoek [lit.1]. Hierbij is ook aangegeven welke onderzoekslocatie gekoppeld is aan welk traject. Dit is weergegeven in de kolom 'Basis berekening'. Voor de toetsing is deze nogmaals bekeken en is aan elk relevant dijkvak een D-Geostability berekening gekoppeld. Voor enkele dijkvakken met dunne dekklagen (door aanwezigheid van een zandbaan of anderszins), waarbinnen geen nieuw grondonderzoek is uitgevoerd zijn aanvullende stabiliteitsberekeningen gemaakt, aanvullend op de 25 basisberekeningen uit Tabel 11. Dit is weergegeven in de kolom 'Toelichting'.

Voor elke basisberekening is gekeken op welke locatie binnen het dijkvak de maatgevende maatgevende geometrie aanwezig is, weergegeven in kolom 'Berekening maatgevend profiel' van maatgevend profiel' van Tabel 7 en Tabel 9. Bij de selectie van het maatgevende geometrie is gekeken naar de hoogte van het maaiveld, de helling van het binnentalud en de breedte van de berm. De keuze berust voor een deel op expert judgement. Voor enkele basisberekeningen zijn twee

geometrieën doorgerekend, deze berekeningen zijn weergegeven met de toevoeging ‘_1’ en ‘_2’ in de kolom ‘Toelichting’. De locatie van de maatgevende geometrie komt niet terug in de naam van de D-Geostability bestanden. De trajectindeling is opgenomen in Tabel 7 en Tabel 9. De gebruikte bodemeenheden zijn opgenomen in

Tabel 8 en Tabel 10.

Tabel 7: Trajectindeling en keuze maatgevend profiel normtraject 44-1

Dp van	Dp tot	Bodem-eenheid	Basis berekening	Berekening maatgevend profiel	Dp maatgevend profiel
0	18	Zandbaan		E44_12_70	12+70
18	42	44.1	S44_50_50	S44_50_50_1	28+90
42	58	44.2	S44_50_50	S44_50_50_2	57+70
58	62	44.3	S44_59_50	S44_59_50_1	58+10
62	74	Zandbaan		E44_70_80	70+80
74	85	44.4	S44_81_00	S44_81_00	80+00
85	86		Inlaat kromme Rijn		
86	89		Beermuur Wijk bij Duurstede		
89	92	44.4	S44_81_00	S44_81_00	80+00
92	99	44.5	S44_59_50	S44_59_50_2	97+20
99	100		Prinses Irene sluis		
100	108	44.6	S44_110_00	S44_110_00	116+00
108	116+50	44.11	S44_110_00	S44_110_00	116+00
116+50	118+50	44.13	Kolk		
118+50	145	44.11	S44_135_50	S44_135_50	130+20
145	148	44.4		E44_145_20	
148	156	44.12	S44_239_00	S44_239_00_2	153+90
156	160	44.4		E44_145_20	
160	172	44.7	S44_170_00	S44_170_00	
172	175	44.4		E44_171_20	
175	195	44.14	S44_180_00	S44_180_00	180+30
195	202	44.4		E44_196_20	
202	218	44.17	S44_203_00	S44_203_00	216+80
218	227	44.8	S44_294_00	S44_294_00_2	224+100
227	234	Zandbaan		E44_234_00	234+00

Dp van	Dp tot	Bodem- eenheid	Basis berekening	Berekening maatgevend profiel	Dp maatgevend profiel
234	244	44.9	S44_239_00	S44_239_00_1	243+80
244	245		Fort Honswijk		
245	260	44.1	S44_248_00	S44_248_00	246+60
260	270	44.3	S44_266_00	S44_283_00	267+50
270	275	44.4		E44_274_70	274+50
275	282	44.5		E44_277_50	277+50
282	285	44.11	S44_283_00	S44_283_00	283+50
285	291	44.4		E44_289_70	289+70
291	305	44.6	S44_294_00	S44_294_00_1	293+95

Tabel 8: Bodemeenheden normtraject 44-1

Bodemeenheid	Beschrijving bodemopbouw
44.1	2 à 3 m kleideklaag
44.2	5 à 6 m kleideklaag
44.3	8 m kleideklaag
44.4	3 à 4 m kleideklaag
44.5	6 m kleideklaag
44.6	4 m kleideklaag, 1 m à 2 m veen
44.7	9 m kleideklaag
44.8	10 m deklaag, bestaande uit klei, veen en zandtussenlagen
44.9	4 à 5 m kleideklaag met zandtussenlaag en 3 m veen
44.10	3 m kleideklaag 3 m zandtussenlaag 3 m klei
44.11	5 m kleideklaag 3 m veen
44.12	9 m kleideklaag met zandtussenlaag
44.13	Kolk
44.14	8 à 10 m kleideklaag met zandtussenlaag

Tabel 9: : Trajectindeling en keuze maatgevend profiel normtraject 15-1

Dp van	Dp tot	Bodem- eenheid	Basis berekening	Berekening maatgevend profiel	Dp maatgevend profiel
M0	M9+30	15.1		E15_M45.65	
M9+30	M15+50	15.1	S15_M10_50	S15_M10_50	M13+00
M15+50	M20+10	Nvt	Sluizen en hoog achterland		
M20+10	M21+90	15.1	S15_M10_50	S15_M10_50	M14+00
M21+90	M32+20	Nvt	Hoog achterland		
M32+20	M39	15.2	S15_M35_50	S15_M35_50	M38+50
0	10+90	Zandbaan		E15_07_00	M07
10+90	15+50	15.3	S15_13_00	S15_13_00	14+50
15+50	24	15.4	S15_22_50	S15_22_50	15+50
24	26+50	Zandbaan		E15_24_20	
26+50	32+50	15.4	S15_22_50	S15_22_50	32+50
32+50	35	Zandbaan		E15_34_00	
35	54	15.5	S15_45_50	S15_45_50	61+90
54	55	Zandbaan		E15_54_00	
55	63	15.5	S15_45_50	S15_45_50	61+90
63	65	Zandbaan		E15_64_00	
65	78	15.6	S15_69_00	S15_69_00	65+00
78	82	Zandbaan		E15_80_40	80+40
82	94	15.6	S15_69_00	S15_69_00	65+00
94	107	15.7	S15_102_00	S15_102_00	102+00
107	120+50	15.8	S15_111_00	S15_111_00	119+50
120+50	136	15.9	S15_122_50	S15_122_50	1130+00
136	146+10	15.10	S15_140_00	S15_140_00	142+60
146+10	167+10	15.11	S15_147_00	S15_147_00	146+40
167+10	180+60	15.12	S15_173_00	S15_173_00	171+60
180+60	183	15.13	S15_185_00	S15_185_00	187+00
183	185	Zandbaan		E15_183_00	183+00
185	einde	15.13	S15_185_00	S15_185_00	187+00

In de volgende tabel zijn de bodemeenheden die hiervoor zijn benoemd, beschreven.

Tabel 10: : Bodemeenheden

Bodemeenheid Maatgevende Dp	Beschrijving bodemopbouw	Sondeerlocatie ¹⁾
15.1 – Dp M10+50	2,0 à 3,0 m kleideklaag 2,5 m veen met 0,5m klei >10,0 m zand	1 (DpM10+50)
15.2 – Dp M35+50	dunne toplaag klei 4,0 m veen en 4,0 m klei >10,0 m zand	2 (DpM35+50)
15.3 – Dp13	4,0 m klei 4,5 m veen / venige klei >10,0 m zand	3 (Dp13)
15.4 – Dp22+50	3,0 m kleideklaag 2,0 m veen 2,5 à 3,0 m klei >10,0 m zand	4 (Dp22+50)
15.5 – Dp45+50	4,0 m kleideklaag 4,0 m veen / klei weinig en klei >10,0 m zand	5 (Dp45+50)
15.6 – Dp69	5,5 m kleideklaag 1,5 m klei weinig 1,0 m veen en 0,5 m klei >10,0 m zand	6 (Dp69)
15.7 – Dp99	2,0 à 3,0 m kleideklaag > 10,0 m zand	7 (Dp99)
15.8 – Dp111	2,0 m kleideklaag 1,0 m veen en 6,5 m klei met lenzen veen (wenig) >10,0 m zand	8 (Dp111)
15.9 – Dp122	1,5 m kleideklaag; 1,0 m veen 5,0 m klei en 1,0 m veen >10,0 m zand	9 (Dp122)
15.10 – Dp140	7,5 m klei-/veendeklaag 1,0 m zandtussenlaag 2,5 m klei met veenlens >10,0 m zand	10 (Dp140)
15.11 – Dp147	1,5 m kleideklaag 2,5 m veen 2,0 m klei (deels weinig) >10,0 m zand	11 (Dp147)
15.12 – Dp175	2,0 à 3,0 m kleideklaag 4,0 m veen 2,0 m zandtussenlaag 1,5 m klei en 0,5 m veen >10,0 m zand	12 (Dp175)
15.13 – Dp185	3,0 m kleideklaag	13 (Dp185)

Bodemeenheid Maatgevende Dp	Beschrijving bodemopbouw	Sondeerlocatie ¹⁾
	4,5 m veen en 3,5 m klei >10,0 m zand	
27 (Dp 74 of 75 ²⁾)		

- 1) Deze nummering komt overeen met de tabel in bijlage 1 en de shape file in bijlage 2
 2) Locatie uit de case studie

1.8 Resultaten onderzoekslocaties

De resultaten van de stabiliteitsberekening voor de afzonderlijke onderzoekslocaties zijn opgenomen in Tabel 11. Indien gerekend wordt met de methode Spencer en de minimale schematiseringsfactor van 1,1 dan moet de afschuifveiligheid voor normtraject 15-1 tenminste 1,35 zijn en voor normtraject 44-1 1,38. Bij een lagere afschuifveiligheid is de score onvoldoende. Van de 25 doorgerekende locaties voldoen 12 locaties niet aan deze eis, de overige 13 wel. Dit oordeel kan niet direct vertaald worden naar een oordeel per traject. Binnen een traject kan immers zowel de bodemopbouw als de geometrie slechter zijn dan op de onderzochte locatie.

In de tabellen zijn uitsluitend de scores van de Spencer berekeningen opgenomen. Deze berekeningen zijn maatgevend en hebben een lagere afschuifveiligheid dan de LiftVan berekeningen.

Tabel 11: Resultaten onderzoekslocaties

Locatie	Fmin Spencer Su-N _{kt}	Locatie	Fmin Spencer Su-N _{kt}
S44_50_50	1,31	S15_M10_50	1,16
S44_59_50	0,77	S15_M35_50	1,78
S44_81_00	1,76	S15_13_00 ¹⁾	
S44_110_00	1,91	S15_22_50	1,35
S44_135_50	1,44	S15_45_50	1,01
S44_170_00	1,45	S15_69_00	1,19
S44_180_00	1,47	S15_102_00	1,52
S44_203_00	1,25	S15_111_00	1,08
S44_239_00	1,44	S15_122_50 ²⁾	
S44_248_00	2,04	S15_140_00	1,47
S44_266_00	1,07	S15_147_00	1,67
S44_283_00	1,08	S15_173_00	1,06
S44_294_00	1,72	S15_185_00	1,86

- 1) Op deze locatie is alleen een sondering in de berm uitgevoerd. Op deze locatie is alleen een berekening gemaakt met Su-ratio, S en POP waarden.
 2) Op deze locatie zijn geen sonderingen uitgevoerd.

1.9 Tussenstap Su-ratio, m en POP

Deze berekening wordt alleen gebruikt om de relatieve invloed van verschillen in geometrie en bodemopbouw te kunnen bepalen.

In de basisberekening is voor de boven- en onderzijde van alle, ongedraineerd reagerende grondlagen, de ongedraineerde schuifsterkte opgegeven. Voor zowel de boven- als de onderzijde is, uitgaande van de netto conusweerstand (q_{net}) en de afgeleide relatie N_{kt} , een ongedraineerde schuifsterkte berekend. Deze berekening kan alleen worden gemaakt voor de grondopbouw uit de betreffende sonderingen en de geometrie ter plaatse van de sondering. Immers bij een andere bodemopbouw of geometrie hoort een ander spanningsituatie en dus ook een andere netto conusweerstand. Om toch de invloed van een andere bodemopbouw of geometrie te kunnen bepalen is overgestapt op een rekenmethode op basis van de Su-ratio, de sterkte toename exponent m en de POP (verschil tussen grensspanning en terreinspanning). Deze berekening wordt alleen gebruikt om de relatieve invloed van verschillen in geometrie en bodemopbouw te bepalen. Deze relatieve invloed wordt vervolgens gebruikt om invloed te vertalen naar de basisberekening.

In de basisberekening is een Su-waarde berekend voor de boven- en onderzijde van de ongedraineerde grondlagen. In deze stap is, uitgaande van de Su-ratio en de sterkte toename exponent, een POP waarde teruggerekend, bij de effectieve spanningen tijdens hoogwater. Dit is zodanig gedaan dat de Su waarde aan de boven- en aan de onderzijde, op basis van Su-ratio, m en POP gelijk is aan de Su-waarde uit de basisberekening.

Resultaten

De resultaten van de basisberekening met N_{kt} en de berekening met S, m en POP zijn opgenomen in Tabel 12 en Tabel 13. Voor het grootste deel van de locaties liggen de resultaten van de beide methoden relatief dichtbij elkaar. Voor een aantal niet. In de onderstaande paragraaf wordt dieper op de oorzaken van deze verschillen ingegaan.

Tabel 12: Resultaten normtraject 44-1, basisberekening en variant (S, m en POP)

Locatie	Fmin Spencer Su-Nkt	Fmin Spencer Su-ratio, m en POP
S44_50_50	1,31	1,65
S44_59_50	0,77	1,22
S44_81_00	1,76	1,76
S44_110_00	1,91	1,58
S44_135_50	1,44	1,51
S44_170_00	1,45	1,61
S44_180_00	1,47	1,27
S44_203_00	1,25	1,11
S44_239_00	1,44	1,38
S44_248_00	2,04	1,88
S44_266_00	1,07	1,47

Locatie	Fmin Spencer Su-N _{kt}	Fmin Spencer Su-ratio, m en POP
S44_283_00	1,08	1,47
S44_294_00	1,72	1,73

Tabel 13: Resultaten normtraject 15-1, basisberekening en variant (S, m en POP)

Locatie	Fmin Spencer Su-N _{kt}	Fmin Spencer Su-ratio, m en POP
S15_M10_50	1,16	1,25
S15_M35_50	1,78	2,05
S15_13_00 ¹		1,23
S15_22_50	1,35	1,36
S15_45_50	1,01	1,35
S15_69_00	1,19	1,54
S15_102_00	1,52	1,53
S15_111_00	1,08	1,35
S15_140_00	1,47	1,63
S15_147_00	1,67	1,45
S15_173_00	1,06	1,07
S15_185_00	1,86	1,58

1) Op deze locatie is alleen een sondering in de berm uitgevoerd. Daarom is alleen een berekening beschikbaar met Su-ratio, S en POP waarden.

Oorzaak verschillen

Tussen de berekende afschuifveiligheden van de basisberekening (Su-N_{kt}) en de berekening uitgaan de van Su-ratio, m en POP bestaan soms grote verschillen hiervoor is een aantal oorzaken:

- Materiaalfactoren;
- beperkingen D-Geostability;
- linearisatie van de ongedraineerde schuifsterkte.

Toelichting:

- In beide berekeningen worden materiaalfactoren toegepast. In de basisberekening is gewerkt met één materiaalfactor toegepast op de Su-waarde (zie tabel Tabel 3). In de berekening uitgaande van Su-ratio, m en POP worden materiaalfactoren toegepast op alle drie de parameters. Dit leidt tot een kleine verschillen in de rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkten.
- De huidige versie van D-Geostability kent een tweetal beperkingen. De eerste is dat m standaard op 1 staat en deze niet aangepast kan worden. Dit is ondervangen door bij de berekening van de POP waarden al uit te gaan van m =1. Deze beperking van D-Geostability is daarmee ondervangen. De tweede beperking heeft wel invloed op het resultaat. In D-Geostability kan alleen een

gemiddelde POP waarde per grondsoort worden opgegeven. De berekende POP waarden voor de boven- en onderzijde zijn daarom gemiddeld.

- Bij de schematisatie van de grondlagen is veel aandacht besteed aan de linearisatie van de ongedraineerde schuifsterkte. Daarbij is gekeken naar de overeenkomst tussen de gelineariseerde ongedraineerde schuifsterkte en de schuifsterkte berekend uit de qnet. Uit de gelineariseerde qnet volgt de ongedraineerde schuifsterkte aan de boven- en onderzijde van de betreffende grondlagen. Wanneer de gelineariseerde schuifsterkte sterk toe- of afneemt over de dikte van een grondlaag leidt dit tot grote verschillen in de ongedraineerde schuifsterkte aan de boven- en onderzijde van de betreffende grondlaag. Deze verschillen leiden bij de berekening van de POP waarde weer tot verschillen in de POP waarde aan de boven- en aan de onderzijde. Doordat in D-Geostability gerekend wordt met een gemiddelde waarde voor de POP wordt voor de boven- en onderzijde niet met de correcte schuifsterkte gerekend. De gemiddelde sterke komt in deze gevallen overeen (midden van de laag is even sterk), de sterkte aan de boven- en onderzijde echter niet. In de resultaten is dit terug te zien doordat enkele berekeningen met S, m en POP lager uitkomen dan de corresponderende berekening met N_{kt} en andere berekeningen hoger. Dit effect speelt met name bij grondlagen waar de ongedraineerde schuifsterkte aan de bovenzijde (veel) groter is dan aan de onderzijde. Voor locatie S44_50_50 is dit onderstaand uitgewerkt.

Voorbeeld S44_50_50

Ter plaatse van deze locatie bestaat er een groot verschil tussen de basisberekening en berekening op basis van Su-ratio, m en POP. Dit heeft met name te maken met de gelineariseerde sterkte van de grondlaag 'klei boven veen'. Voor de bovenzijde van deze grondlaag is een ongedraineerde schuifsterkte berekend die ruim 2 maal groter is dan de sterkte aan de onderzijde van deze grondlaag. Dit leidt tot grote verschillen bij het berekenen van de POP voor de boven en onderzijde van de laag. De gemiddelde POP wijkt zowel aan de boven- als aan de onderzijde sterk af. Dit leidt tot afwijkende sterkten.

Om dit effect te laten zien is een aantal aanvullende D-Geostability berekeningen uitgevoerd. In deze berekeningen is gerekend met het model LiftVan. Gekozen is voor een berekening met één glijvlak dat vast is opgegeven. Hierdoor kunnen de resultaten van beide rekenmethoden eenvoudig vergeleken worden.

De grondlaag 'klei boven veen' komt voor tussen +3,1 en -0,4 m NAP. De berekeningen zijn uitgevoerd met een tangentiële op +3, +1,5 en 0,0 m NAP. Zodat een berekening is uitgevoerd aan de bovenzijde, door het midden en aan de onderzijde van de grondlaag. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 14. Zoals verwacht geeft de berekening met Su- N_{kt} een gunstiger beeld indien het schuifvlak door de bovenzijde van de grondlaag loopt. De berekening met het schuifvlak midden door de laag geeft voor beide rekenmethoden een vergelijkbare afschuifveiligheid.

Tabel 14: Verschillen Su-Nkt en Su-ratio, m en POP, locatie S44_50_50

Hoogte Tangentlijn [m NAP]	Fmin Su-N _{kt}	Fmin Su-ratio, m en POP	Vershil
+3,0 (bovenzijde grondlaag)	3,50	2,93	-0,57
+1,5 (midden grondlaag)	2,47	2,40	-0,06
0,0 (onderzijde grondlaag)	1,74	2,11	0,37

1.10 Invloed maatgevende geometrie

De basisberekeningen zijn uitgevoerd bij de geometrie ter plaatse van de uitgevoerde sonderingen. Voor het grootste deel van de dijkvakken geldt dat dit niet de maatgevende geometrie is. In deze stap is een maatgevend profiel geselecteerd voor elk dijkvak, op basis van de beschikbare AHN2 profielen (h.o.h. 20 m). In deze stap is niet gekeken naar de bodemopbouw maar uitsluitend naar de geometrische kenmerken: hoogte achterland, bermafmeting en helling binnentalud. Op basis van expert judgement is een profiel geselecteerd. Het geselecteerde profiel is gecombineerd met de bodemopbouw op de onderzoekslocatie. Met deze combinatie is een nieuwe stabiliteitsberekening gemaakt. Het resultaat van de originele berekening (met Su-ratio, m en POP) is gedeeld door het resultaat van de berekening met de maatgevende geometrie. Het resultaat is opgenomen in Tabel 15 en Tabel 16. Deze factor geeft de invloed van de aangepaste geometrie weer. De invloed van de gewijzigde geometrie wordt in de basisberekening meegenomen door de uitkomsten van de basisberekening te delen door deze factor. Naast deze factor is ook een toelichting opgenomen over het profiel ter plaatse van de sondering en het maatgevende profiel. In bijlage C.1 zijn weergaven van alle dijkvakken met het geselecteerde maatgevende profielen en met de sondeerlocatie opgenomen.

Tabel 15: normtraject 44-1, toelichting invloed maatgevend profiel

Locatie	Vershil (origineel / maatgevend)	Bijzonderheden profiel sondeerlocatie	Bijzonderheden maatgevend profiel
S44_50_50_1	1,18	Maatgevend profiel ligt in ander dijktraject dan basis profiel	Maatgevend profiel komt goed overeen met de rest van het dijkvak
S44_50_50_2	1,04	Gemiddeld profiel	Maatgevend profiel, ongunstiger dan basis.
S44_59_50_1	1,00	Redelijk gunstig profiel	Maatgevend profiel wat slechter door aanwezigheid sloot en wat lager maaiveld
S44_59_50_2	1,00	Maatgevend profiel ligt in ander dijktraject dan basis profiel	Duidelijk maatgevend profiel, gemiddeld profiel aanzienlijk sterker
S44_81_00	1,81	Redelijk gemiddeld profiel, significant sterker dan maatgevend profiel. Geldig voor circa 50% dijkvak	Significant zwakker profiel. Geldig voor beperkt deel van het traject.
S44_110_00	1,23	Zeer gunstig profiel binnen het dijkvak	Niet het aller slechtste profiel binnen het gehele traject (100

Locatie	Vershil (origineel / maatgevend)	Bijzonderheden profiel sondeerlocatie	Bijzonderheden maatgevend profiel
			- 116+50)
S44_135_50	1,00	Mogelijk maatgevend profiel	Op het oog iets slechter, in som iets beter dan maatgevend profiel
S44_170_00	1,00	Relatief weinig spreiding in dijkvak, profiel aan ongunstige kant	Op het oog ongunstiger, in som klein beetje sterker
S44_180_00	1,02	Gemiddeld profiel, weinig spreiding binnen het dijkvak	Maatgevend profiel, weinig spreiding
S44_203_00	1,13	Gemiddeld profiel, zeker niet maatgevend	Duidelijk slechter dan sondeerlocatie
S44_239_00_1	1,30	Gemiddeld profiel, maaiveld vertoont variatie, berm weinig	Erg maatgevend profiel, gemiddelde profiel aanzienlijk sterker
S44_239_00_2	1,00	Maatgevend profiel ligt in ander dijktraject dan basis profiel	Maatgevend profiel, klein deel vak is waarschijnlijk wat sterker
S44_248_00	1,39	Redelijk veilig profiel, grootste deel profielen sterker	Duidelijk slechtste profiel, veel slechter dan sondeerlocatie
S44_266_00	1,02	Gemiddeld profiel	Relatief weinig spreiding, slechtste profiel geselecteerd
S44_283_00	1,15	Redelijk veilig profiel, relatief weinig spreiding in profielen	Slechtste profiel, niet heel veel verschil met sondeerlocatie
S44_294_00_2	1,05	Maatgevend profiel ligt in ander dijktraject dan basis profiel	slechtste profiel binnen traject, gemiddeld profiel is sterker
S44_294_00_1	1,36	Gemiddeld profiel	Maatgevend profiel, behoorlijk afwijkend t.o.v. sondeerlocatie

Tabel 16: Normtraject 15-1, toelichting invloed maatgevend profiel

Locatie	Verskil (origineel / maatgevend)	Bijzonderheden profiel sondeerlocatie	Bijzonderheden maatgevend profiel
S15_M10_50	1,13	Gemiddeld profiel, maaiveld iets hoger dan maatgevend profiel	Slechter dan sondeerlocatie, maaiveld lager
S15_M35_50	1,30	Zeer afwijkend profiel door grotere kruinbreedte	Maatgevend profiel, weinig spreiding met omliggende profielen
S15_13_00	1,00	Profiel met keermuur (?) in de binnenteen, daardoor maatgevend.	Profiel zonder keermuurtje, maatgevend profiel voor deel van het traject zonder keermuur
S15_22_50	1,11	Iets zwakker dan het gemiddelde profiel	Weinig verschil met sondeerlocatie.
S15_45_50	1,29	Sterker dan gemiddeld profiel	Maatgevend profiel, aanzienlijk slechter dan sondeerlocatie
S15_69_00	1,15	Gemiddeld profiel, berm is wat hoger, maaiveld wat lager dan gemiddeld	Lagere berm dan sondeerlocatie. Maaiveld mogelijk wel wat hoog achter de berm.
S15_102_00	1,02	Gemiddeld profiel, maaiveld wel hoger dan gemiddeld	Maatgevend profiel lager maaiveld dan sondeerlocatie
S15_111_00	1,24	Gemiddelde profiel	Maatgevend profiel
S15_140_00	1,63	Sterker dan gemiddeld profiel	Maatgevend profiel
S15_147_00	1,00	gemiddeld profiel	niet representatief
S15_173_00	1,19	gemiddeld profiel, circa 75% is sterker	Maatgevend, circa 25%
S15_185_00	1,61	Erg sterk profiel t.o.v. de rest van het traject	maatgevend profiel, veel spreiding

1.11 Aanvullende berekeningen

Voor normtraject 44-1 en 15 zijn 17 aanvullende berekeningen gemaakt. Dit betreft trajecten met een relatief dunne deklaag waar geen sonderingen zijn uitgevoerd. De basisberekeningen sluiten niet aan bij de bodemopbouw in deze trajecten. In deze berekeningen is uitgegaan van de sterkte-eigenschappen Su-ratio, m en POP, waarbij de POP veilig is ingeschat. Vanwege de dunne deklaag treedt overal opbarsten en is geen sterkte toegekend aan de opbarstzone ($\phi=0$). De invloed van de ongedraineerde parameters is door de dunne deklaag zeer beperkt. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 17. De extra berekeningen hebben de eerste letter E gekregen.

Tabel 17: Aanvullende berekeningen normtraject 44-1 en 15-1

Locatie dp	Fmin Uplift (S, m en POP)	Locatie dp	Fmin Uplift (S, m en POP)
E44_12_70	1,45	E15_45.65	1,32
E44_70_80	1,41	E15_07_00	1,50
E44_145_20	1,74	E15_24_20	1,45
E44_171_20	1,38	E15_34_00	1,80
E44_196_20	1,77	E15_54_00	0,96
E44_234_00	1,35	E15_64_00	1,19
E44_274_70	1,83	E15_80_00	1,01
E44_277_50	1,43	E15_183_00	1,60
E44_289_70	1,53		

1.12 Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor is voor één profiel uitgewerkt. Bij deze uitwerking is gekeken naar negatieve invloed van de geometrie en van een afwijkende bodemopbouw. Hierbij is gebruik gemaakt van de scenario's uit de stochastische ondergrond schematisatie (SOS) en de informatie uit de beschikbare grondlengte profielen. Voor sondeerlocatie S15_45_50 zijn de scenario's uit Tabel 18 doorgerekend.

Tabel 18: Scenario's schematiseringsfactor profiel S15_45_50

Scenario nummer	Omschrijving scenario	Kans	Fmin scenario	Afname Fmin (t.o.v. basisberekening)
1	0,5 m lager maaiveld	5%	1,29	-0,06
2	Onderste veenlaag is veen kleiig	10%	1,27	-0,08
3	Zandtussenlaag in het achterland is veen kleiig	10%	1,27	-0,08
4	De onderste veenlaag is 0,5 m dikker, bovenkant ligt 0,5m hoger	10%	1,33	-0,03
5	Bovenste veenlaag is veen kleiig	10%	1,35	0,00
6	Bovenste veenlaag is klei	10%	1,53	0,18
7	Dikkere veenlaag, opbouw: veen kleiig van -3 tot -4, veen van -4 tot -6,	20%	1,24	-0,11

Bij deze scenario's is de schematiseringsfactor 1,06, of als wordt uitgegaan van de minimaal aan te houden waarde, 1,1.

Per traject is kwalitatief een beschouwing gegeven over de afwijkingen die kunnen optreden ten opzichte van de basisschematisatie en wat dit betekent voor de schematiseringsfactor. Dit is in de volgende paragraaf besproken.

1.12.1 Inschatting schematiseringsfactor per traject

Voor alle dijktrajecten is, op basis van de grondlengteprofielen, een kwalitatieve inschatting gemaakt van de schematiseringsfactor. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de berekeningen ter plaatse van de sonderingen en de extra stabiliteitsberekeningen.

Sondeerlocaties

De sondeerlocaties zijn op geselecteerd op basis van informatie uit de grondlengteprofielen. Binnen elk dijkvak is gezocht naar een locatie met naar verwachting de maatgevende bodemopbouw voor macrostabiliteit. Per dijktraject is ingeschat of de bodemopbouw uit het grondlengteprofiel in negatieve zin kan afwijken van de bodemopbouw uit de sondering. Voor dijktrajecten waar de opbouw uit de sondering naar verwachting de meest ongunstige opbouw is, wordt een schematiseringsfactor van 1,1 voorgesteld. Voor de trajecten opgenomen in Tabel 19 is een afwijkende schematiseringsfactor voorgesteld. De reden voor deze afwijking is ook in de tabel opgenomen.

Tabel 19: Trajecten met een afwijkende schematiseringsfactor

Norm-traject	Dp van tot	Geschatte schematiseringsfactor	Bijzonderheden
44-1	100-108	1,2	Grondlengte profiel ontbreekt voor een deel van het traject. Gegevens op basis van DINO en SOS
44-1	282-285	1,2	Komt overeen met slechtste bodemopbouw uit grondlengteprofiel. Grondlengteprofiel bevat relatief ondiepe informatie.
44-1	291-305	1,2	Alleen ondiepe informatie in grondlengteprofiel beschikbaar. Dik pakket met slappe lagen inclusief de grondlaag veen kleig
15-1	M9+30-M15+50	1,2	Bodemopbouw relatief onzeker door onduidelijk dijkpaalnummers oud en nieuw
15-1	M20+10-21+90	1,2	Bodemopbouw relatief onzeker door onduidelijk dijkpaalnummers oud en nieuw
15-1	10+90-15+50	1,2	Mogelijk wat meer veen dieper in de ondergrond. Huidig glijvlak loopt niet door het veen. Invloed waarschijnlijk zeer minimaal. Sondering in achterland ontbreekt en daarom alleen Su-ratio, m en POP berekening.
15-1	15+50-24	1,2	Bodemopbouw sondering komt goed

Norm-traject	Dp van tot	Geschatte schematiseringsfactor	Bijzonderheden
			overeen met slechtste bodemopbouw. Wel wat dunnere deklagen aanwezig (nog steeds dikker dan 5 m). Mogelijk zijn deze deklagen, vanwege de hogere waterspanningen en toepassen van $c = \phi = 0$ maatgevender
15-1	35-54 & 55-63	1,2	Bodemopbouw komt goed overeen met groot deel van het traject. Mogelijk meer veen in westelijk deel dijkvak.
15-1	65-78 & 82-94	1,2	Alternatieve berekening gemaakt zonder zandtussenlaag in het achterland. Deze berekening komt 0,15 lager uit. Dit moet eigenlijk in de basisberekening worden overgenomen. De schematiseringsfactor komt daarmee uit op circa 1,2
r15-1	136-146+10	1,2	Bodemopbouw sondering komt goed overeen. Variatie met zandtussenlagen en veenlagen aanwezig.
15-1	146+10-167+10	1,2	Bodemopbouw sluit goed aan. Gemiddeld profiel gebruikt daarom hogere factor.
15-1	180+60-183	>1,3	Bodemopbouw sondering sluit niet aan bij bodemopbouw grondlengteprofiel. Sondering is uitgevoerd op de rand van een zandbaan.

Extra berekeningen

Voor de extra berekeningen is uitgegaan van de gegevens uit het grondlengteprofiel. Hieruit is de maatgevende bodemopbouw geselecteerd en gecombineerd met het maatgevende profiel. De slechtste bodemopbouw is zodanig gekozen dat er sprake is van opbarsten. Vanwege de dunne deklaag (dunner dan 5 m) is in de opbarstzone geen schuifsterke toegepast ($\phi = 0$). In principe kan daarom worden volstaan met een kleine schematiseringsfactor (1,1). Voor de trajecten in

Tabel 20 wordt afgeweken van deze factor.

Tabel 20: Schematiseringsfactor extra berekeningen

Norm-traject	Dp van tot	Geschatte schematiseringsfactor	Bijzonderheden
44-1	195 - 202	1,3	Grondlengte profiel ontbreekt. OP basis van DINO en SOS
44-1	227 - 234	1,2	Bodemopbouw onzeker door aanwezigheid diepte zandlaag.
44-1	275-282	1,2	Slechtste bodemopbouw in traject. Relatief veel onzekerheid door beperkte informatie. Gerekend is met Su-ratio en POP voor veen.

1.13 Gevoeligheidsberekeningen

1.13.1 N_{kt} klei onder veen.

Voor klei onder veen is een conusfactor N_{kt} afgeleid van 9,5 (zie ook Tabel 1). Deze waarde lijkt aan de lage (een lage N_{kt} geeft een hoge stabiliteitsfactor) kant. Op basis van ervaringscijfers en op advies van Deltares is daarom een gevoeligheidsberekening gedaan met N_{kt} is 15. Deze berekening is uitgevoerd voor alle locaties met de grondsoort klei onder veen (16 locaties).

De resultaten van de berekening zijn opgenomen in Tabel 21. Voor een aantal profielen wordt er geen verschil berekend, het glijvlak loopt in deze gevallen niet door de laag klei_onder_veen. Voor andere profielen kan oplopen tot circa 0,4.

Het effect op de stabiliteitsfactor kan groot zijn. Omdat de waarde voor dit project is bepaald op lokaal grondonderzoek, is het toetsoordeel daarop gebaseerd.

Tabel 21: Resultaten aangepaste N_{kt} voor klei onder veen

Locatie	Fmin Spencer Su-waarde & N_{kt} basisberekening	Fmin Spencer aangepaste N_{kt} klei onder veen (=15)	verschil
S44_110_00	1,91	1,76	-0,14
S44_135_50	1,44	1,30	-0,14
S44_170_00	1,45	1,45	0,00
S44_180_00	1,47	1,47	0,00
S44_203_00	1,25	1,19	-0,06

Locatie	Fmin Spencer Su-waarde & Nkt basisberekening	Fmin Spencer aangepaste Nkt klei onder veen (=15)	verschil
S44_239_00	1,44	1,33	-0,11
S44_248_00	2,04	1,66	-0,38
S44_266_00	1,07	0,90	-0,18
S44_283_00	1,08	1,02	-0,06
S44_294_00	1,72	1,74	0,02
S15_M35_50	1,78	1,67	-0,12
S15_22_50	1,35	1,18	-0,18
S15_45_50	1,01	0,89	-0,12
S15_69_00	1,19	1,07	-0,12
S15_111_00	1,08	1,08	0,00
S15_147_00	1,67	1,67	0,00

1.13.2 Verzadigde kern

Het overslagdebiet ligt voor de meeste profielen tussen de 1 en 10 l/m/s. Dit betekent dat rekening gehouden moet worden met de invloed van overslag op de freatische lijn. Het overslagdebiet is berekend bij een andere herhalingstijd (1/41.667) dan hydraulische randvoorwaarden behorende bij de stabiliteitsberekening (1/10.000). Het hoge overslagdebiet treedt niet op bij de herhalingstijd van 1/10.000. Het OI2014v3 schrijft voor dat een berekening gedaan moet worden rekening houdend met het hoge overslagdebiet. Nog onduidelijk is welke schadefactor hierbij gehanteerd moet worden.

De berekening met een verzadigde kern is uitgevoerd met dezelfde Su-waarden als de basisberekening. De freatische lijn in de kern is verhoogd tot aan de kruin en verloopt over het binnentalud naar de binnenteen. Dit leidt tot een aanzienlijke afname van de effectieve spanning in de dijk kern (gedraineerde grondlaag) en een toename van het soortelijke gewicht. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 22. Gemiddeld genomen neemt de afschuifveiligheid af met 0,15. De afschuifveiligheden in onderstaande tabel betreffen diepe glijcirkels die door de kruin van de dijk gaan. In deze berekeningen is niet gekeken naar de stabiliteit van de toplaag dan wel de bekleding op het binnentalud.

Tabel 22: Invloed verzadigde kern op macrostabiliteit binnenwaarts, diepe glijvlakken die leiden tot direct falen

Locatie	Fmin Spencer basisberekening Su-waarde & N _{kt}	Fmin Spencer verzadigde kern Su-waarde & N _{kt}	Verschil
S44_50_50	1,31	1,02	-0,29
S44_59_50	0,77	0,58	-0,19
S44_81_00	1,76	1,47	-0,29

Locatie	Fmin Spencer basisberekening Su-waarde & N_{kt}	Fmin Spencer verzadigde kern Su-waarde & N_{kt}	Vershil
S44_110_00	1,91	1,83	-0,08
S44_135_50	1,44	1,38	-0,06
S44_170_00	1,45	1,29	-0,16
S44_180_00	1,47	1,32	-0,15
S44_203_00	1,25	1,11	-0,15
S44_239_00	1,44	1,33	-0,12
S44_248_00	2,04	1,71	-0,33
S44_266_00	1,07	0,95	-0,12
S44_283_00	1,08	1,01	-0,07
S44_294_00	1,72	1,53	-0,19
S15_M10_50	1,16	1,03	-0,13
S15_M35_50	1,78	1,55	-0,23
S15_22_50	1,35	1,21	-0,15
S15_45_50	1,01	0,92	-0,08
S15_69_00	1,19	1,23	0,04
S15_102_00	1,52	1,21	-0,31
S15_111_00	1,08	1,01	-0,07
S15_140_00	1,47	1,41	-0,06
S15_147_00	1,67	1,48	-0,18
S15_173_00	1,06	0,98	-0,08
S15_185_00	1,86	1,69	-0,18

1.13.3 Afschuiven bekleding binnentalud

Door het golfoverslagdebiet van 10 l/s/m bestaat er gevaar voor afschuiven van de toplaag of toplagen van het binnentalud, na verzadiging daarvan. De stabiliteit is berekend, met dezelfde uitgangspunten als in paragraaf 1.13.2 zijn vermeld. Het verschil is echter dan voor de bepaling van de afschuifveiligheid van de toplaag alleen glijvlakken met een diepte van 1,5 m of minder zijn beschouwd. De berekeningen zijn gedaan met de methode Spencer. De resultaten zijn in de volgende tabel gegeven. Voor dit mechanisme is nog geen normering bepaald. Uit de tabel is af te lezen dat grote trajecten niet zullen voldoen. Voor de score ten aanzien van hoogte, of voor het bepalen van maatregelen, is dit een aandachtspunt. Indien de dijk mag bezwijken bij een hoog overslagdebiet, dan zijn geen maatregelen nodig.

Tabel 23: Afschuifveiligheid afschuiven bekleding binnentalud

Profiel	Fmin toplaag binnentalud verzadigd
S44_59_50	1.23
S44_81_00	1.07
S44_110_00	1.01
S44_135_50	0.71
S44_170_00	0.87
S44_180_00	0.66
S44_203_00	0.69
S44_239_00	0.88
S44_248_00	0.85
S44_266_00	0.62
S44_283_00	0.99
S44_294_00	0.79
S15_M10_50	0.95
S15_M35_50	0.73
S15_22_50	1.39
S15_45_50	0.96
S15_69_00	1.04
S15_102_00	0.79
S15_111_00	1.21
S15_140_00	0.89
S15_147_00	1.03
S15_173_00	1.03

Profiel	Fmin toplaag binnentalud verzadigd
S15_185_00	1.04

Nader onderzoek is nog wel mogelijk. Aangeraden wordt om eventueel nader onderzoek landelijk op te pakken.

1.13.4 Verkeersbelasting

In de basisberekeningen is gerekend zonder verkeersbelasting. In deze gevoeligheidsberekening is gekeken wat de afschuifveiligheid is als wel gerekend wordt met een verkeersbelasting (13 kN/m²). De resultaten zijn opgenomen in Tabel 24. Het verschil bedraagt gemiddeld minder dan 0,05.

Tabel 24: Invloed verkeersbelasting op macrostabiliteit binnenwaarts

Locatie	Fmin Spencer basisberekening Su-waarde & N _{kt}	Fmin Spencer verkeersbelasting Su-waarde & N _{kt}	Vershil
S44_50_50	1,31	1,14	-0,17
S44_59_50	0,77	0,77	0,00
S44_81_00	1,76	1,80	0,03
S44_110_00	1,91	1,86	-0,05
S44_135_50	1,44	1,41	-0,03
S44_170_00	1,45	1,40	-0,05
S44_180_00	1,47	1,42	-0,05
S44_203_00	1,25	1,21	-0,04
S44_239_00	1,44	1,41	-0,03
S44_248_00	2,04	1,99	-0,05
S44_266_00	1,07	1,04	-0,03
S44_283_00	1,08	1,03	-0,05
S44_294_00	1,72	1,67	-0,05
S15_M10_50	1,16	1,12	-0,04
S15_M35_50	1,78	1,78	0,00
S15_22_50	1,35	1,28	-0,07
S15_45_50	1,01	0,99	-0,02
S15_69_00	1,19	1,19	0,00
S15_102_00	1,52	1,50	-0,02

Locatie	Fmin Spencer basisberekening Su-waarde & N _{kt}	Fmin Spencer verkeersbelasting Su-waarde & N _{kt}	Vershil
S15_111_00	1,08	1,06	-0,02
S15_140_00	1,47	1,42	-0,05
S15_147_00	1,67	1,62	-0,05
S15_173_00	1,06	1,02	-0,04
S15_185_00	1,86	1,86	0,00

1.14 Resultaten binnenwaartse macrostabiliteit

Bij het vertalen van de resultaten van de onderzoekslocaties naar de score per dijktraject is rekening gehouden met de invloed van het maatgevende profiel. De afschuifveiligheid van het maatgevende profiel is opgenomen in Tabel 25.

Het product van de modelfactor, schadefactor en schematiseringsfactor is de minimaal benodigde afschuifveiligheid waar een profiel aan moet voldoen. Bij een schematiseringsfactor van 1,2, een modelfactor van 1,07 en een schadefactor van 1,17 hoort een benodigde afschuifveiligheid van 1,50 (normtraject 44-1). Voor normtraject 15-1 geldt een schadefactor van 1,15, de benodigde afschuifveiligheid bedraagt dan 1,48. Per dijkvak is de eis bepaald p basis van de weergegeven schematiseringsfactor.

De beoordeling van de dijkvakken heeft als volgt plaats gevonden:

- Profielen met een afschuifveiligheid van het maatgevende profiel groter dan de eis voldoen, dit geldt voor het gehele dijkvak;
- Profielen met een afschuifveiligheid van het maatgevende profiel kleiner dan de eis voldoen niet. Voor deze profielen is gekeken of de sondeerlocatie voldoet. Ook is gekeken of, op basis van de dwarsprofielen, aangegeven kan worden of dit naar verwachting voor het gehele dijkvak geldt of voor een deel van het dijkvak.

Tabel 25: Resultaten dijkvakken normtraject 44-1

Dp van tot	D-Geo	Fmin Maat-gevend profiel ¹	Schem-factor	Eis ²	Oordeel	opmerking
0 - 18	E44_12_70	1,45	1,1	1,38	Voldoende	
18 - 42	S44_50_1	1,10	1,1	1,38	Onvoldoende	Deel van het vak is significant sterker
42 - 58	S44_50_2	1,25	1,1	1,38	Onvoldoende	Deel van het vak is significant sterker
58 - 62	S44_59_1	0,77	1,1	1,38	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
62 - 74	E44_70_80	1,41	1,1	1,38	Voldoende	
74 - 85	S44_81_00	0,97	1,1	1,38	Onvoldoende	50% dijkvak is significant sterker

Dp van tot	D-Geo	Fmin Maat- gevend profiel ¹	Schem- factor	Eis ²	Oordeel	opmerking
85 - 86	Inlaat kromme Rijn					
86 - 89	Beermuur Wijk bij Duurstede					
89 - 92	S44_81_00	0,97	1,1	1,38	Onvoldoende	
92 - 99	S44_59_2	0,77	1,1	1,38	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
99 - 100	Prinses Irene sluis					
100 - 108	S44_110_00	1,55	1,2	1,50	Voldoende	
108 - 116+50	S44_110_00	1,55	1,1	1,38	Voldoende	
116+50 - 118+50	Kolk					
118+50 - 145	S44_135_50	1,43	1,1	1,38	Voldoende	
145 - 148	E44_145_20	1,74	1,1	1,38	Voldoende	
148 - 156	S44_239_2	1,44	1,1	1,38	Voldoende	
156 - 160	E44_145_20	1,74	1,1	1,38	Voldoende	
160 - 172	S44_170_00	1,45	1,1	1,38	Voldoende	
172 - 175	E44_171_20	1,38	1,1	1,38	Voldoende	
175 - 195	S44_180_00	1,43	1,1	1,38	Voldoende	
195 - 202	E44_196_20	1,77	1,3	1,63	Voldoende	
202 - 218	S44_203_00	1,11	1,1	1,38	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
218 - 227	S44_294_2	1,64	1,1	1,38	Voldoende	
227 - 234	E44_234_00	1,35	1,2	1,50	Onvoldoende	Deel van het vak is iets sterker
234 - 244	S44_239_1	1,11	1,1	1,38	Onvoldoende	Groot deel dijkvak is significant sterker en voldoet
244 - 245	Fort Honswijk					
245 - 260	S44_248_00	1,47	1,1	1,38	Voldoende	
260 - 270	S44_283_00	0,93	1,1	1,38	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet

Dp van tot	D-Geo	Fmin Maat- gevend profiel ¹	Schem- factor	Eis ²	Oordeel	opmerking
270 - 275	E44_274_70	1,83	1,1	1,38	Voldoende	
275 - 282	E44_277_50	1,43	1,2	1,50	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet
282 - 285	S44_283_00	0,93	1,2	1,50	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
285 - 291	E44_289_70	1,53	1,1	1,38	Voldoende	
291 - 305	S44_294_1	1,26	1,2	1,50	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet

1) *Berekend door de afschuifveiligheid van het basisprofiel (Tabel 11) te delen door de factor voor de invloed van het maatgevende profiel (Tabel 15 en Tabel 16).*

2) *Product van de schadefactor (1,17) modelfactor (1,07) en de schematiseringsfactor*

Tabel 26: Resultaten dijkvakken normtraject 15-1

Dp van tot	D-Geo	Fmin Maat- gevend profiel ¹	Schem- factor	Eis ²	Oordeel	opmerking
M0-M9+30	E15_45.65	1,32	1,1	1,35	Onvoldoende	
M9+30- M15+50	S15_M10_50	1,02	1,2	1,48	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
M15+50 – M20+10		Sluizen en hoog achterland			Voldoende	
M20+10- M21+90	S15_M10_50	1,02	1,2	1,48	Onvoldoende	Gemiddeld profiel voldoet ook niet
M21+90- M32+20		Hoog achterland			Voldoende	
M32+20-M39	S15_M35_50	1,37	1,1	1,35	Voldoende	
0-10+90	E15_07_00	1,50	1,1	1,35	Voldoende	
10+90-15+50	S15_13_00	1,23	1,2	1,48	Onvoldoende	Groot deel vak voldoet waarschijnlijk wel
15+50-24	S15_22_50	1,22	1,2	1,48	Onvoldoende	Sondeerlocatie voldoet net wel, circa 75% voldoet
24-26+50	E15_24_20	1,45	1,1	1,35	Voldoende	

Dp van tot	D-Geo	Fmin Maat- gevend profiel ¹	Schem- factor	Eis ²	Oordeel	opmerking
26+50-32+50	S15_22_50	1,22	1,1	1,35	Onvoldoende	Sondeerlocatie voldoet net wel. Deel vak voldoet
32+50-35	E15_34_00	1,80	1,1	1,35	Voldoende	
35-54	S15_45_50	0,78	1,2	1,48	Onvoldoende	Hele vak voldoet waarschijnlijk niet
54-55	E15_54_00	0,96	1,1	1,35	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
55-63	S15_45_50	0,78	1,2	1,48	Onvoldoende	Hele vak voldoet waarschijnlijk niet
63-65	E15_64_00	1,19	1,1	1,35	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
65-78	S15_69_00	1,03	1,2	1,48	Onvoldoende	Hele vak voldoet waarschijnlijk niet
78-82	E15_80_00	1,01	1,1	1,35	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
82-94	S15_69_00	1,03	1,2	1,48	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
94-107	S15_102_00	1,50	1,1	1,35	Voldoende	Deel vak voldoet
107-120+50	S15_111_00	0,87	1,1	1,35	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
120+50-136	S15_122_50 ³				Onvoldoende	Vergelijkbaar met omliggende trajecten
136-146+10	S15_140_00	0,90	1,2	1,48	Onvoldoende	Klein deel vak voldoet
146+10-167+10	S15_147_00	1,55	1,2	1,48	Voldoende	
167+10-180+60	S15_173_00	0,89	1,1	1,35	Onvoldoende	Hele vak voldoet niet
180+60-183	S15_185_00	1,16	>1.3		Onvoldoende	Opbouw uit sondering niet representatief
183-185	E15_183_00	1,60	1,1	1,35	Voldoende	
185-einde	S15_185_00	1,16	>1.3		Onvoldoende	Opbouw uit sondering niet representatief

1) Berekend door de afschuifveiligheid van het basisprofiel (Tabel 11) te delen door de factor voor de invloed van het maatgevende profiel (Tabel 15en)

- 2) Tabel 16).
- 3) Product van de schadefactor (1,15) modelfactor (1,07) en de schematiseringsfactor
- 4) Ter plaatse van dijkpaal 122+50 zijn geen sonderingen uitgevoerd. De toetsscore voor dit traject is gebaseerd op de scores van de naastgelegen trajecten. Voor dit traject is geen grondlengteprofiel beschikbaar. De profielen binnen dit dijkvak zijn vergelijkbaar met de profielen van de omliggende trajecten.

Samenvatting toetsscore macrostabiliteit binnenwaarts

De toetsscores zijn samengevat per normtraject in Tabel 27. In totaal voldoet 28 km² niet aan de gestelde eis.

Tabel 27: Samenvatting toetsscore macrostabiliteit binnenwaarts

Score	Normtraject 44-1 [km]	Normtraject 15-1 [km]
Voldoende	17,8	7,4
Onvoldoende ¹	13,2	15,8
Niet van toepassing ²	1,7	
Totaal	32.8	23.2

¹: de scores zijn gebaseerd op de maatgevende berekening in het traject. Er zijn delen binnen ene traject die wel voldoen. In Bijlage C is hier verder op in gegaan.

²: dit betreft kunstwerken en constructies waarbij macrostabiliteit geen rol speelt. Deze regel is alleen toegepast om de totale lengte sluitend te maken

1.15 Conclusie en aanbevelingen

Conclusies

- Een groot deel van beide normtrajecten wordt afgekeurd op binnenwaartse macrostabiliteit. Binnen normtraject 15-1 is 15,8 km afgekeurd, binnen normtraject 44-1 is 13,2 km afgekeurd. Dit wordt mede veroorzaakt door de zwaardere norm (hogere schadefactor), aanpassing van de modelfactoren en de invoering van de schematiseringsfactor bij het toetsen;
- Van de onderzoekslocaties (25 stuks) voldoen 17 locaties als gerekend wordt zonder de schematiseringsfactor en zonder de invloed van een afwijkend profiel; de variaties in de dijktrajecten zijn groot en hebben een negatieve invloed op het toetsoordeel;
- Methode met $S_u - N_{kt}$, ongedraineerde schuifsterkte rechtstreeks uit de sonderingen lijkt te werken. Er zijn wel grote verschillen met methode S, m POP. Mede door beperkingen in D-Geostability.
- De uitgevoerde gevoeligheidsberekening naar de N_{kt} van klei onder veen laat zien dat de invloed van een aangepaste N_{kt} waarde relatief groot kan zijn. Dit betreft een beperkt aantal locaties. Voor het grootste deel van de locaties waar de grondlaag klei onder veen voorkomt is de invloed minimaal.

Aanbevelingen dijkversterking Centraal Holland:

- Verzamelen van ondergrondgegevens binnen de trajecten waar geen grondlengteprofielen beschikbaar zijn;
- Uitvoeren van een sondering in het achterland ter plaatse van dijkpaal 13 in normtraject 15-1. Hier is alleen een sondering in de berm van de waterkering uitgevoerd;
- Uitvoeren van sonderingen ter plaatse van dijkpaal 122 in normtraject 15-1;
- Opnieuw sonderen in dijktrajecten 180+60-183+00 en 185 tot het einde van normtraject 15-1. De uitgevoerde sondering is niet representatief voor deze dijktrajecten. De sondering is uitgevoerd op de rand van een zandbaan.
- Doorrekenen van meer profielen binnen de getoetste dijkvakken. Om zo de invloed van een andere geometrie te kunnen bepalen. Dit is met name zinvol in de trajecten waar de afschuifveiligheid in de buurt van de eis zit en/of de variatie in de geometrie groot is;
- Verdichten van het grondonderzoek door het toevoegen van extra sonderingen. Dit heeft met name zin in de afgekeurde trajecten en de trajecten waarbinnen veel variatie is in de grondopbouw;
- Per traject netter bepalen van de schematiseringsfactor. Dit kan door meer berekeningen met verschillende geometrieën op te stellen en ook door verschillende scenario berekeningen voor de bodemopbouw door te rekenen.
- Aansluiting houden bij de laatste ontwikkelingen omtrent macrostabiliteit. Dit betreft op korte termijn vooral de ontwikkelingen rond de invloed van het hoge overslagdebiet op macrostabiliteit binnenwaarts en afschuiven top laag.

Aanbevelingen Ongedraineerd rekenen

- Verder uitwerken van de handleidingen en de methode. In de handleidingen is o.a. nog niet beschreven hoe om moet worden gegaan met een andere bodemopbouw en/of geometrie indien gewerkt wordt met de S_u-N_{kt} methode.
- Er zijn behoorlijke verschillen gevonden tussen de methode S_u-N_{kt} en S, m & POP. Beide methoden zijn geaccepteerd. Deze verschillen worden niet alleen veroorzaakt door de beperkingen in D-Geostability. Dit verdient nader onderzoek;
- Onduidelijk is hoe reproduceerbaar het uitgevoerde onderzoek is. Dit geldt voor de bepaling van de N_{kt} maar ook voor de afzonderlijke sonderingen. Het oordeel voor een traject wordt gebaseerd op twee sonderingen, niet bekend is of dit oordeel hetzelfde is als deze sonderingen bijvoorbeeld 50 of 100 m verderop worden uitgevoerd;
- Verder uitzoeken hoe om te gaan met de onverzadigde zone;
- Verzamelen van de berekende N_{kt} waarden, zodat deze vergeleken kunnen worden met waarden die bij andere Waterschappen zijn bepaald;
- De normering voor de stabiliteit van het binnentalud of afschuiven van de top laag op het binnentalud bij verzadigd dijklichaam, ten gevolge van golfoverslag, moet nog worden bepaald; Onduidelijk is of het criterium van 10 l/s/m voor het golfoverslagdebiet wel of niet toelaatbaar is.

2 BUITENWAARTSE MACROSTABILITEIT

De buitenwaartse macrostabiliteit is niet in detail getoetst, er is door middel van een steekproef ingeschat wat de verschillen zijn met de vorige toetsronde.

De scores uit de vorige toetsronde kunnen niet worden overgenomen, omdat de rekenregels en normering en partiele veiligheidsfactoren aanzienlijk zijn veranderd.

6 profielen zijn herberekend, waarbij dezelfde rekenmethode is gehanteerd als voor de binnenwaartse macrostabiliteit. Dit zijn de maatgevende zes profielen uit de derde toetsronde. Buitendijks of in de kruin zijn echter geen klasse 1 of 2 sonderingen beschikbaar. De grondlagen zijn eenvoudigweg doorgetrokken vanaf de onder de binnenberm bepaalde laagscheidingen. Voor de eigenschappen is uitgegaan van de Su-ratio zoals deze voor elke grondlaag is bepaald. De POP waarde is conservatief ingeschat.

Gerekend is met een val van het buitenwater van het toetspeil tot 4 m lager, maar niet lager dan het buitendijkse maaiveld. Rekening is gehouden met een daling van de freatische lijn nabij de buitenkruinlijn met 1 m. Vervolgens is de freatische lijn geschematiseerd als een rechte lijn naar de buitendijkse waterstand. De resultaten zijn in de volgende tabel gegeven.

Normtraject	Locatie [dp]	Fmin Bishop 3 ^e toetsronde	Sondeerlocatie [dp]	Fmin bishop nieuw (eis)	Fmin Spencer nieuw (eis)
15-1	M34+50	1,28	S15_M35_50	1,25 (1,29)	1,25 (1,25)
15-1	75	1,21	S15_69_00	1,30 (1,29)	1,29 (1,25)
15-1	175	1,25	S15_173_00	1,26 (1,29)	1,26 (1,25)
44-1	294	1,42	S44_294_00	1,30 (1,31)	1,29 (1,26)
44-1	170	1,28	S44_170_00	1,16 (1,31)	1,14 (1,25)
44-1	60	1,33	S44_59_50	1,24 (1,31)	1,21 (1,25)

De volgende partiele veiligheidsfactoren zijn van toepassing:

- Schadefactor normtraject 44.1 : 1.07
- Schadefactor normtraject 15.1 : 1.06
- Modelfactor Bishop : 1.11
- Modelfactor Spencer : 1.07
- Schematiseringsfactor : 1.10 (niet onderbouwd, omdat er minder onzekerheden een rol spelen dan bij de binnenwaartse stabiliteit, zal de schematiseringsfactor voor de buitenwaartse stabiliteit ten hoogste gelijk zijn aan die voor de binnenwaartse stabiliteit)

De hieruit volgende eisen voor de berekende stabiliteitsfactor Fmin zijn in bovenstaande tabel tussen haakjes gegeven. De cursief weergegeven stabiliteitsfactoren voldoen niet aan de eis.

Conclusies

Met de methode Spencer voldoen 2 van de 6 profielen niet aan de eis. Deze liggen beide in normtraject 15.1 De overige profielen voldoen wel, maar de marge is meestal beperkt.

In de derde toetsronde scoorden alle dijken voldoende en was de marge ten opzichte van de norm veelal enkele tienden in de stabiliteitsfactor. De nieuwe stabiliteitsfactoren zijn veelal lager dan van vorige, maar het verschil is niet groot. De reden dat nu dijken worden afgekeurd ligt vooral in verzwaring van de eisen.

Op basis van deze berekeningen wordt geconcludeerd dat een significant deel van de dijken niet voldoet ten aanzien van de buitenwaartse stabiliteit.

Aanbevelingen

Nader onderzoek is nog mogelijk. Dat betreft, naast de aanbevelingen die in het kader van de binnenwaartse macrostabiliteit zijn gegeven, volgende zaken:

- Gedetailleerder bepalen van de freatische lijn in het dijklichaam na een snelle val.
- Enkele klasse 2 sonderingen om na te gaan of de aannemen die zijn gedaan over het ongedraineerde schuifsterktes voor het buitentalud voldoende nauwkeurig waren.
- Nauwkeurigere selectie van het door te rekenen profiel. In de huidige toets is een zeer beperkt aantal profielen doorgerekend. Hierbij is aangesloten bij de profielen die voor binnenwaartse stabiliteit zijn doorgerekend. Er is niet specifiek gekeken naar de geometrie.

3 BIJZONDERE WATERKERENDE CONSTRUCTIES

3.1 Inleiding

Alle bijzondere waterkerende constructies (BWC's) zijn samengevat opgenomen in onderstaande tabellen. Deze zijn afkomstig uit de shape van het waterschap (Bijzondere_Constructies_lijn_BR_Primaire_WK).

DP_VAN	DP_TOT	TYPE_1	FUNCTIE
84+60	84+80	Palenwanden	Stabiliteitschermer
85+50		Palenwanden	Beschoeiing
85+50	89+10	Keer- en dijkmuurtjes Damwandschermen Keermuren, -wanden en kadewanden	Grondkerend Kwelschermen en fundering Grondkerend
89+50	89+70	Palenwanden	Grondkerend
117+10	117+90	Palenwanden	Grondkerend
129+60	130+30	Palenwanden	Grondkerend
244	245	Damwandschermer	Grondkerend

Tabel 28: Verticale constructies normtraject 44-1

DP_VAN	DP_TOT	TYPE_1	FUNCTIE
M11+30	M13	Palenwanden	Beschoeiing
M13+70	M13+90	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend
M14+40	M14+50	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend
M14+85	M15+45	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend
M15+60	M16	Damwandschermer	Stabiliteitschermer
M31	M31	Damwandschermer	Stabiliteitschermer
10+30	11+35	Damwandschermer	Grondkerend
12+20	12+20	Damwandschermer	Grondkerend
15+50	15+70	Palenwanden	Stabiliteitschermer
15+60	16+50	Damwandschermer	Grondkerend
49+80	49+95	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend

DP_VAN	DP_TOT	TYPE_1	FUNCTIE
88	88+30	Keer- en dijkmuurtjes	Stabiliteit
90+60	90+80	Keer- en dijkmuurtjes	Stabiliteit
113+15	113+40	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend
113+60	114	Palenwanden	Stabiliteitschermer
124+85	125+25	Palenwanden	Stabiliteitschermer
129	129,5	Damwandschermer	Kwelschermer
130	133+50	Diepwand	Kwelschermer
132+40	132+80	Keer- en dijkmuurtjes	Grondkerend
143+90	147+10	Damwandschermer	Stabiliteitschermer
167+60	168+30	Damwandschermer	Zettingsschermer
180+50	181+10	Damwandschermer	Stabiliteitschermer
187+60	188+50	Damwandschermer	Stabiliteitschermer
188+70	188+90	Damwandschermer	Stabiliteitschermer

Tabel 29: Verticale constructies normtraject 15-1

De BWC's met de functie "**kwelschermer**" en "**kwelschermer en fundering**" zijn niet opgenomen in deze beoordeling op de (macro)stabiliteit van de constructie, maar in de beoordeling op piping (zie Bijlage 2: Rapportage detailtoetsing piping Nederrijn- en Lekdijk met kenmerk 078668169). Constructies met de functie "**zettingsschermer**" leveren in de regel geen bijdrage aan de stabiliteit en vallen daarom ook buiten deze toetsing. Daarnaast geldt dat BWC's bestaande uit het type "**palenwanden**" buiten beschouwing zijn gelaten. Dit zijn beschoeiingen, die geen bijdrage aan de veiligheid van de waterkering hebben.

Als laatste zijn in de shape van het waterschap enkele constructies aangegeven die een vervangende waterkering rondom een **niet-waterkerend object** (NWO) vormen. Deze horen thuis in de toetsing van de NWO's en zijn zo lokaal aanwezig, dat deze geen extra bijdrage leveren aan de stabiliteit van de kering. Het gaat om:

- NWO? (dp 15.M13+70 – 15.M13+90): muur lengte 1,85m
- vervangende wk gasleiding (dp 15.M31+00 – 15.M31+00): scherm 7 à 11,5m
- NWO? (dp 15.12+20 – 15.12+20): scherm 2,5m
- NWO? (dp 15.12+20 – 15.12+20): scherm 2,5 of 7,5m
- NWO? (dp 15.12+20 – 15.14+20): scherm 7,5m
- NWO? (dp 15.15+60 – 15.16+50): scherm 4m
- NWO? (dp 15.49+80 – 15.49+95): muur 1,25m
- NWO? (dp 15.88+00 – 15.88+30): lengte muurtje onbekend
- NWO? (dp 15.90+60 – 15.90+80): lengte muurtje onbekend
- NWO? (dp 15.113+15 – 15.113+40): lengte muurtje onbekend

- Beperkte taludvervanging, NWO? (dp 15.132+40 – 15.132+80): muur lengte 2m

In deze detailtoetsing van de BWC's op (macro)stabiliteit zijn de volgende constructies meegenomen:

Normtraject 44-1:

- Muur en damwand haven Wijk bij Duurstede dp 44.85+70 – 44.89+00
- Damwanden fort Honswijk: (dp 44.244 – 44.245): 2 stalen damwanden. Het betreft grondkeringen.

Normtraject 15-1:

- Keerwand oostelijk van de Gemeentesluis (dp 15.M14 – 15.M16): stalen damwand
- Oeverbescherming tegen erosie? (dp 15.10+30 – 15.11+35): stalen damwand
- Stabiliteitsscherm (dp 15.143+90 – 15.146+10): stalen damwand
- Stabiliteitsscherm bij 3 panden (dp 15.146+10 – 15.147+10): stalen damwand
- Stabiliteitsscherm bij 1 pand (dp 15.180+50 – 15.181+10): stalen damwand
- Stabiliteitsscherm bij 1 pand (dp 15.187+60 – 15.188+50): stalen damwand
- Stabiliteitsscherm watergang (dp 15.188+80): stalen damwand

3.2 Muur en damwand haven Wijk bij Duurstede (dp 44.85+70 – 44.89+00)

Uit de shape van het waterschap volgt dat deze constructie eigenlijk uit vijf verschillende secties bestaat. Een samenvatting is hieronder opgenomen.

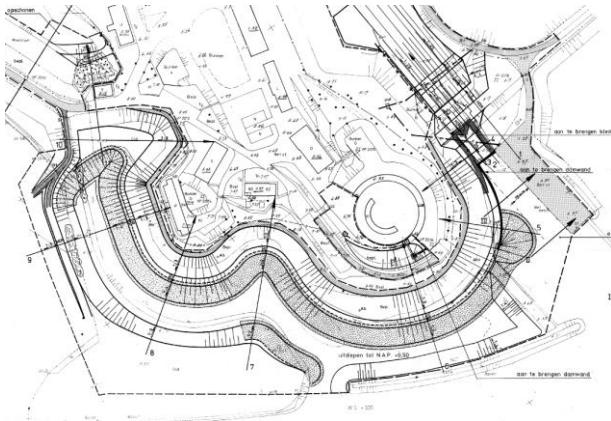
Tabel 30: Overzicht BWC's haven Wijk bij Duurstede

dijkpaal	dijkpaal	functie	ligging	lengte	materiaal	prof_code
44.85+70	44.87+00	Grondkerend	Binnendijks	1,65 m	Beton	L-wand
44.87+15	44.87+40	Grondkerend	Buitendijks			
44.87+40	44.88+70	Grondkerend	Buitendijks	11 m	Staal	U12
44.86+90	44.88+10		Beide			
44.88+15	44.89+00		Beide			

Van drie van de secties is geen informatie over het type of de lengte van de constructie bekend, deze kunnen dan ook niet worden getoetst. Tussen dijkpaal 44.87+40 en 44.88+70 is alleen buitendijks een constructie aanwezig. Op dit moment is de buitenwaartse stabiliteit van de waterkering nog niet opgenomen in de detailtoetsing. De score van al deze secties luidt daarom 'geen oordeel'.

De binnendijkse constructie tussen dijkpaal 44.85+70 en 44.87+00 valt binnen een traject dat voor de detailtoetsing niet is uitgewerkt. Echter, de L-wand met een lengte van 1,65 m zal geen significante bijdrage leveren aan de stabiliteit van de kering in deze sectie.

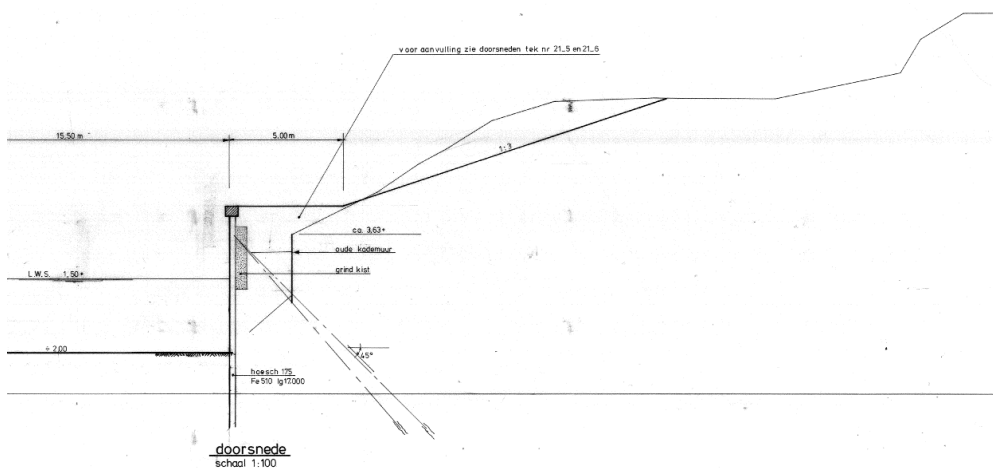
3.3 Damwanden fort Honswijk (dp 44.244 – 44.245)



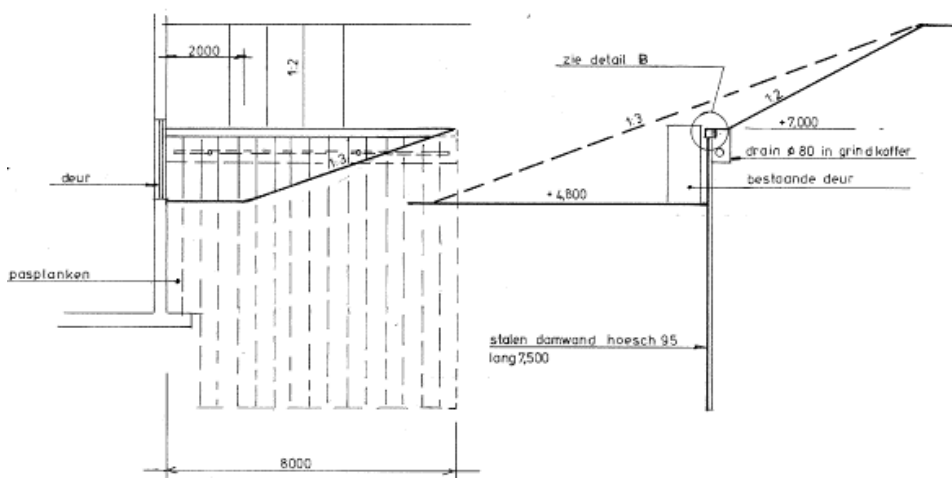
Bij Fort Honswijk zijn binnen- en buitendijks damwanden aanwezig. Binnendijks is dit een damwand met deksloof, type Hoesch 95 met een lengte van 7,5 m tot een diepte van circa NAP-0,5m. Bij het buitendijkse tracé is een damwand met deksloof, type Hoesch 175 met een lengte van 17 m tot een diepte van circa NAP-12,0m toegepast. Zie voor beide doorsneden Figuur 3 en Figuur 4.

Figuur 2: Situatie Fort Honswijk

Uit beschikbaar grondonderzoek (Onderzoek Fortgrachten te Honswijk en Vreeswijk, docnr: 02P003879-RG-01, oktober 2013) blijkt dat de bodem van de gracht op circa NAP +0,90 m ligt. De boringen laten verschillende diktes van de deklaag zien. De tussenzandlaag wordt door de damwanden afgesloten. Het streefpeil in de gracht ligt op NAP +2,00 m. De groene dijk heeft een breedte van minimaal 50 m.



Figuur 3: Damwand buitendijks met een lengte van 17,0 m



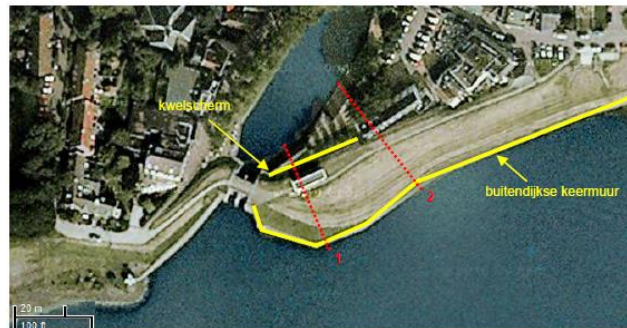
Figuur 4: Damwand binnendijks bij bunker met een lengte van 7,5 m

De binnendijkse constructie tussen dijkpaal 44.244 en 44.245 valt binnen een traject dat voor de detailtoetsing niet is uitgewerkt. In de derde toetsronde is de score voor STCG overgenomen uit de tweede toetsronde, uitgaande van:

- ongewijzigd toetspeil;
- de beoordeling nieuwe toetsvoorschriften leidt niet tot significant andere resultaat;
- geen reden voor aannahme dat de sterkte van de constructie achteruit is gegaan.

Het toetspeil voor de detailtoetsing ligt op deze locatie ruim 0,5 m hoger dan het toetspeil uit de derde toetsronde, dus het eerste punt gaat niet meer op. De buitendijkse damwand wordt juist met laagwater maatgevend belast. De score voor STCG is vooralsnog onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

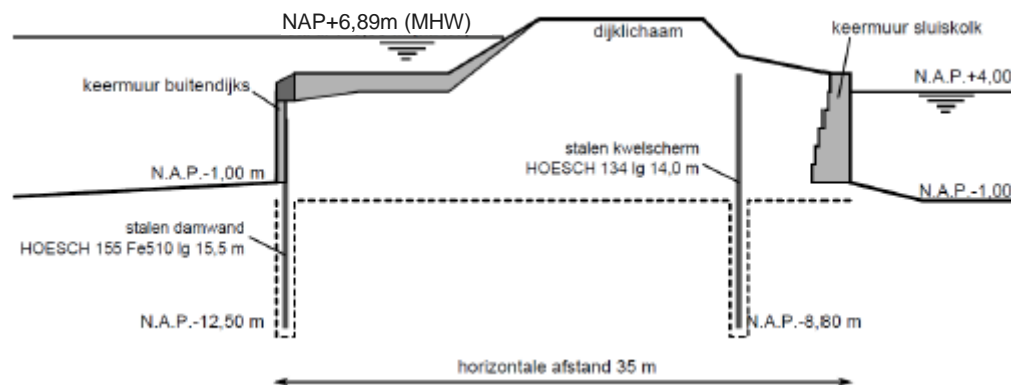
3.4 Keerwand oostelijk van de Gemeentesluis (dp 15.M14 – 15.M16)



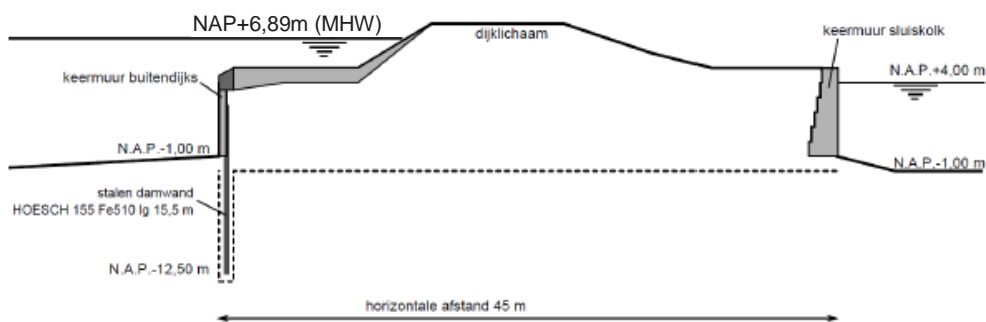
Ten oosten van de Gemeentesluis zijn twee verschillende doorsneden met langsconstructies aanwezig. Figuur 6 en Figuur 7 komen uit de rapportage van de derde toetsronde. Hierbij is uitgegaan van een opgezet peil in de eerste sluiscolk bij hoogwater.

Figuur 5: Situatie damwand oostelijk van Fort Vreeswijk

Bij het maatgevend hoogwater in onderstaande figuren wordt opgemerkt dat deze voor deze toetsing is toegenomen van NAP+6,50 m naar NAP+6,89 m.



Figuur 6: Doorsnede 1 damwand oostelijk van Fort Vreeswijk



Figuur 7: Doorsnede 2 damwand oostelijk van Fort Vreeswijk

In de derde toetsronde is deze aansluitende constructie alleen beoordeeld op piping. De sluiskolken scoren goed op basis van het overgenomen oordeel uit de tweede toetsronde.

Het toetspeil voor de detailtoetsing ligt op deze locatie ruim 0,5 m hoger dan het toetspeil uit de derde toetsronde. Echter, de buitendijkse damwand wordt juist met laagwater maatgevend belast.

De score voor zowel de buitendijkse damwand als de binnendijkse keermuur ten aanzien van STCG is vooralsnog onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

3.5 Stabiliteitsscherm (dp 15.143+90 – 15.146+10)

Dit betreft een buitendijkse stalen damwand met een lengte van 6 m (gefundeerd op NAP-5,0m). Voor de buitenwaartse stabiliteit zijn binnen de detailtoetsing geen berekeningen uitgevoerd. In de derde toetsronde is de score 'goed' voor STCG overgenomen uit de tweede toetsronde. De score voor STCG is vooralsnog onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

3.6 Stabiliteitsscherm bij panden

Hieronder vallen de schermen tussen de dijkpalen:

- dp 15.146+10 – 15.147+10: funderingsniveau van de wand op NAP-7,7m ligt. De totale lengte van de wand is daarmee gelijk aan 11,5 m.
- dp 15.180+50 – 15.181+10: funderingsniveau van de wand op NAP-13,1m ligt. De totale lengte van de wand is daarmee gelijk aan 16,0 m.
- dp 15.187+60 – 15.188+50: funderingsniveau van de wand op NAP-12,2m ligt. De totale lengte van de wand is daarmee gelijk aan 14,0 m.

Deze schermen zijn allemaal aan de binnenzijde gesitueerd en scoorden in de derde toetsronde 'goed' voor STCG op basis van de tweede toetsronde.

De binnendijkse constructie tussen dijkpaal 44.146- 44.147 valt binnen traject S15_147_00 uit deze detailtoetsing en de constructies tussen 44.180-44.189 vallen binnen traject S15_185_00.

Traject S15_147_00 scoort voor STBI met $F_{min}=1,55$ voldoende. Schermen bij de panden tussen dijkpaal 15.146+10 en 15.147+10 ook. Traject S15_185_00 scoort met $F_{min}=1,16$ onvoldoende. De onderzijde van de glijcirkel van dit profiel ligt boven NAP-5,0 m, terwijl de damwanden veel dieper steken.

De score voor STCG is vooralsnog onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

3.7 Stabiliteitsscherf watergang (dp 15.188+80)

Op basis van de geleverde shape is aangenomen dat het funderingsniveau van de wand op NAP-8,5m ligt. De totale lengte van de wand aan de binnenzijde van het profiel is daarmee gelijk aan 7,5 m. Dit scherm scoorde in de derde toetsronde 'goed' voor STCG op basis van de tweede toetsronde.

De binnendijkse constructie tussen dijkpaal 44.180-44.189 valt binnen traject S15_185_00. Traject S15_185_00 scoort met $F_{min}=1,16$ onvoldoende. De onderzijde van de glijcirkel van dit profiel ligt boven NAP-5 m, terwijl het scherm tot NAP-8,5m steekt.

De score voor STCG is vooralsnog onvoldoende, vanwege de aangepaste beoordelingsmethode. Zie ook Bijlage D: Overige mechanismen.

LITERATUUR

1. Plan van aanpak grondonderzoek, detailtoetsing A-keringen Nederrijn en Lekdijk, t.b.v., project dijkversterking Centraal Holland, ARCADIS, 27 juli 2015, 78550732:B,1 – Definitief,
2. Detailtoetsing A-keringen Nederrijn en Lekdijk, t.b.v., project dijkversterking Centraal Holland, Resultaten geotechnisch onderzoek, 02P006468-RG-01, definitief, Inpijn-Blokpoel ingenieursbureau, oktober 2015,
3. Handreiking voor het bepalen van schuifsterkteparameters, WT12017 Toetsregels stabiliteit, Deltares 2014, 1209434-003,
4. Dijkversterking Centraal Holland – Analyse Labresultaten, Arcadis, 21 oktober 2015, c03011,000406,A10,
5. Plan van aanpak toetsing, Detailtoetsing A-keringen Nederrijn- en Lekdijk, t.b.v., project Dijkversterking Centraal Holland, Arcadis, 17 september, 078563199:B – Definitief,
6. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskans-normen, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, OI2014v3, juli 2015, Definitief.

C1. BEGRIPPENLIJST

q_c	Gemeten conusweerstand (Mpa)
R_f	Wrijvingsgetal (%)
q_{net}	Netto conusweerstand, gecorrigeerd voor waterspanningseffecten en totaalspanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kPa).
nQ_c	Genormaliseerde conusweerstand, gecorrigeerd voor waterspanningseffecten en verticale effectieve spanning gecorrigeerde sondeerweerstand van de piëzoconus (kPa).
nR_f	Genormaliseerd wrijvingsgetal (%)
$s_{u,i}$	Initiële karakteristieke waarde van de ongedraineerde schuifsterkte, behorende bij de terreinspanning op het moment dat de sonderingen uitgevoerd zijn
$s_{u,u}$	Uiteindelijke karakteristieke waarde van de ongedraineerde schuifsterkte, te gebruiken bij het berekenen van de schuifsterkte na spanningsverandering (bijvoorbeeld bij maatgevende hydraulische belasting of na dijkversterking).
$s_{u,d}$	Rekenwaarde van de ongedraineerde schuifsterkte
N_{kt}	Empirisch bepaalde conusfactor (-)
OCR	Overconsolidatieratio (-)
POP	Pre overburden pressure

C.2 BIJLAGE DWARSPROFIELEN

Separaat (digitaal)

C.3 WEERGAVE KRITIEKE GLIJVLAK

Separaat (digitaal)