

Ontwerpcase verankerde damwand

26 februari 2019
Arny Lengkeek
Thomas Naves

POV

MACRO
STABILITEIT



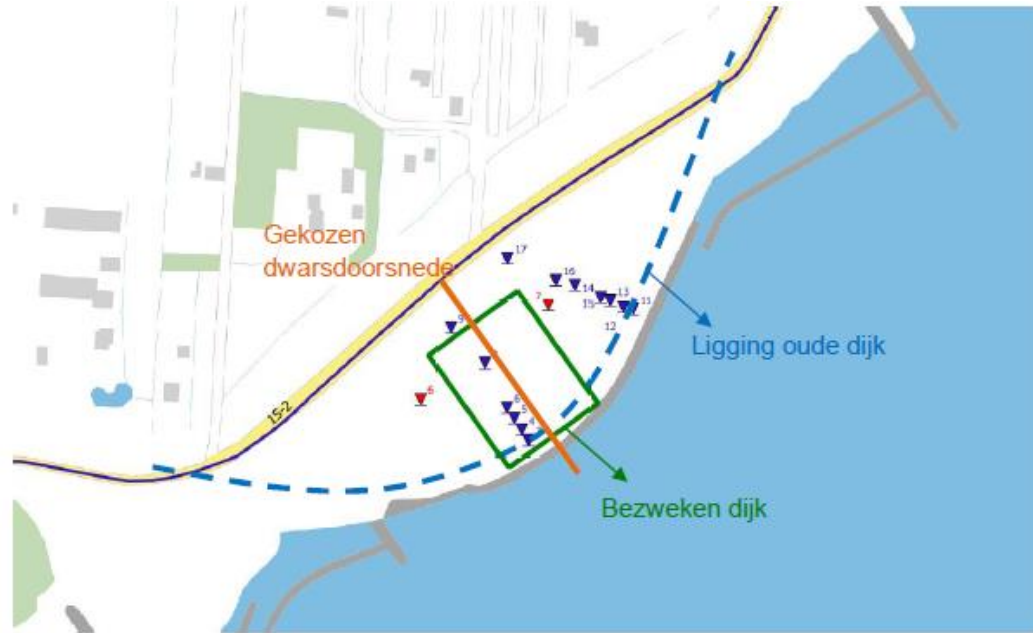
Inhoudsopgave

Ontwerpcase verankerde damwand

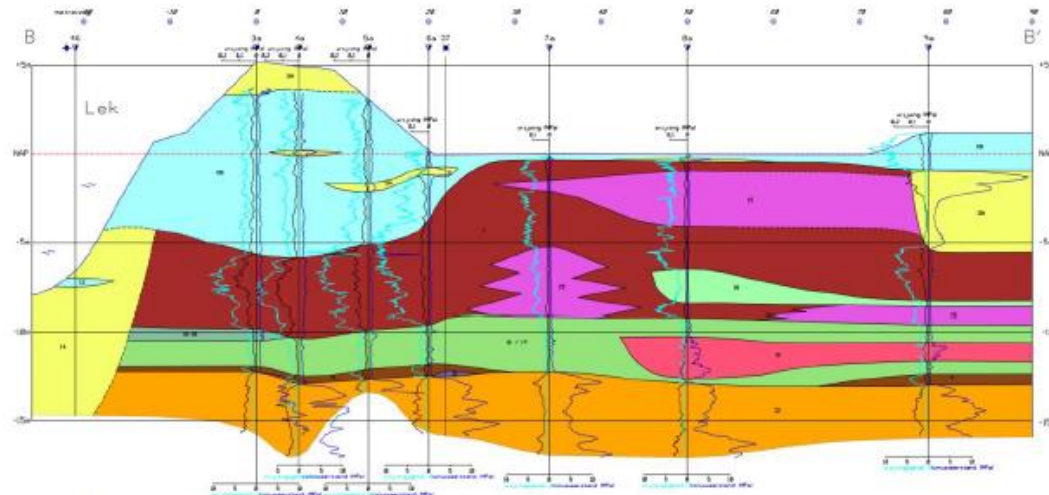
- Case “Bergambacht”
- Algemene uitgangspunten
- Grondopbouw, parameters, initialisatie spanningen
- Hydraulische uitgangspunten
- Rekenschema
- Schematiseringsfactor
- Modelling
- Restprofiel
- Unity checks
- Conclusies en aanbevelingen



Casus "Bergambacht"



Figuur 4.2 Locatie dijk en grondonderzoek



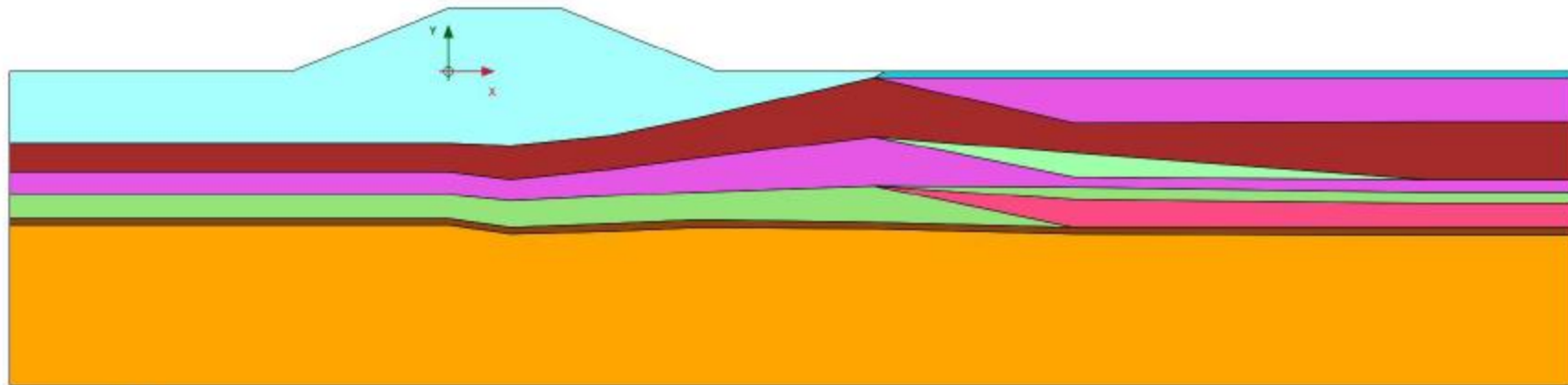
Figuur 4.3 Geotechnisch dwarsprofiel



Algemene uitgangspunten

- Planperiode 100 jr
- Toelaatbare overstromingskans 1/3000 per jaar
- Schadefactor (o.b.v. max toelaatbare faalkans in doorsnede) is 1,16
- Schadefactor GEO, STR;DW en STR;ANK gelijk
- Modelfactor (gelijk aan Uplift-Van) is 1,06
- Maximale kruindaling 0,50m
- Maximale bodemdaling polder 0,35m

Grondopbouw, parameters, initialisatie spanningen



Figuur 4.4 Bodemschematisering

Tabel 4.1 Geometrische uitgangspunten

Eigenschap	Ontwerpprofiel bij oplevering	Ontwerpprofiel na 100 jaar
Maaiveld buitenzijde	0,35 m+NAP	0,0 m+NAP
Helling buitentalud	1:2,4	1:2,5
Kruinhoogte	5,5 m+NAP	5,0 m+NAP
Kruinbreedte	9,0 m	9,0 m
Helling binnentalud	1:2,4	1:2,5
Maaiveld binnenzijde	0,35 m+NAP	0,0 m+NAP



Constitutieve modellen en parameterbepaling

- Parameter bepaling is complex en intensief omdat zowel sterkte, stijfheid en kruip parameters moeten worden bepaald, voor verschillende constitutieve modellen
- Samendrukkingsproeven vormen de basis voor de stijfheid- en kruipparameters, de grensspanning en m-exponent
- Normaalgeconsolideerde TX-CU en DSS proeven vormen de basis voor de CSSM sterkteparameters ($\Phi; c_s$, $S; c_s$ -ratio)
- Overgeconsolideerde TX-CU en DSS proeven kunnen aanvullend worden gebruikt voor de bepaling van de sterkteparameters, m-exponent. In combinatie met CPT's tevens de Nkt en overconsolidatie
- Middels Soiltest module in Plaxis is het mogelijk diverse modelparameters te bepalen

Grondopbouw, parameters, initialisatie spanningen

Tabel 4.5 Sterkte en stijfheidsparameters SSC-model (lage karakteristieke waarden)

Grondsoort	λ^*_{kar} [-]	κ^*_{kar} [-]	μ^*_{kar} [-]	c^*_{kar} [kN/m ²]	ϕ^*_{kar} [°]	$K0_{nc}$ [-]
Dijksmateriaal	0,0654	0,0077	0,0039	2,0	27,2	0,40
Klei Tiel	0,1270	0,0204	0,0094	1,0	18,9	0,60
Hollandveen	0,2467	0,0307	0,0208	1,0	29,8	0,34
Klei Gorkum licht (humeus)	0,1783	0,0378	0,0261	1,0	31,2	0,40
Klei Gorkum	0,2176	0,0216	0,0107	1,0	35,6	0,30
Klei Gorkum zwaar	0,1065	0,0053	0,0045	1,0	28,1	0,40
Basisveen	Gelijk aan Hollandveen					

Tabel 4.6 Sterkte en stijfheidsparameters SHANSEP NGI-ADP model (lage karakteristieke waarden)

Grondsoort	α [-]	m [-]	G/suA [-]	γ_fC [%]	γ_fDSS [%]	γ_fE [%]
Dijksmateriaal	0,25	0,76	193	10,08	12,60	15,12
Klei Tiel	0,18	0,76	26	9,74	12,17	14,60
Hollandveen	0,29	0,76	24	12,07	14,49	16,90
Klei Gorkum licht (humeus)	0,25	0,76	26	9,66	12,07	14,49
Klei Gorkum	0,20	0,76	51	6,16	11,09	16,02
Klei Gorkum zwaar	0,23	0,76	108	4,93	9,86	14,78
Basisveen	Gelijk aan Hollandveen					

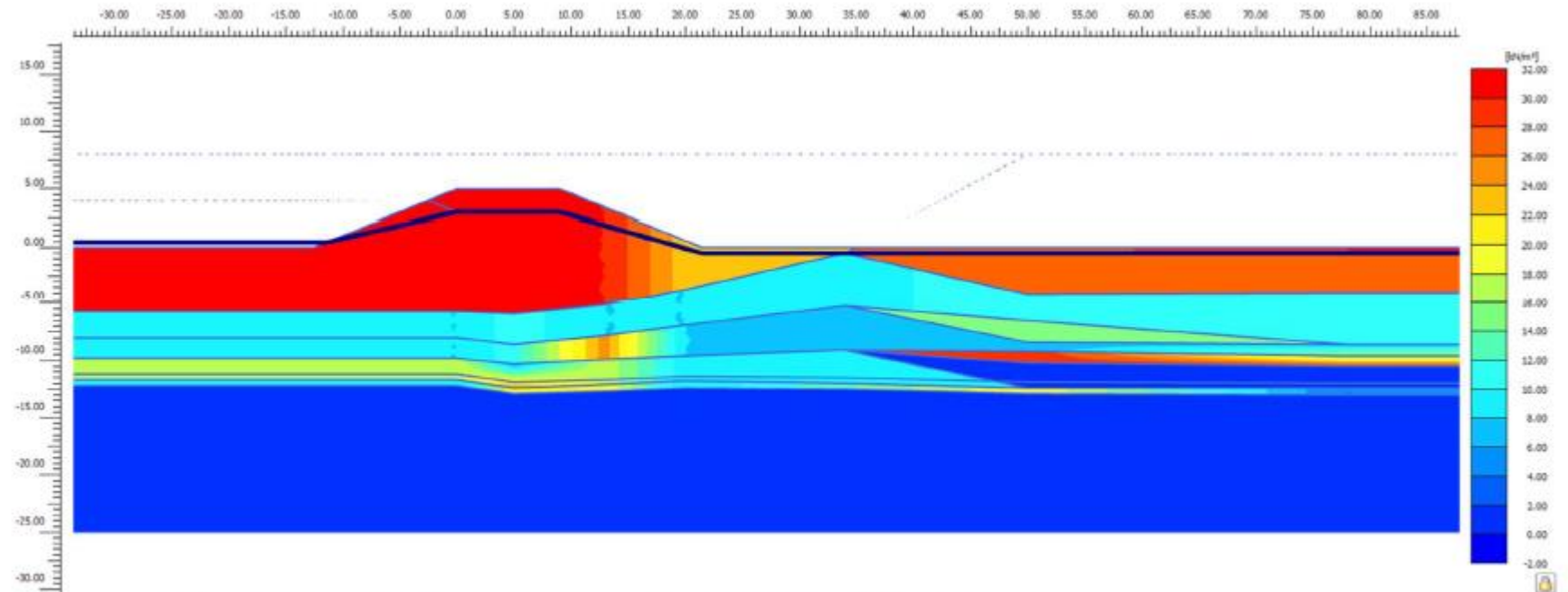
Tabel 4.7 Sterkte en stijfheidsparameters Hardening Soil (alleen lage karakteristieke waarden getoond)

Grondsoort	$E50_{ref}$ [MN/m ²]	$Eoed_{ref}$ [MN/m ²]	$E_{ur_{ref}}$ [MN/m ²]	m [%]	c^*_{kar} [kN/m ²]	ϕ^*_{kar} [kN/m ²]	$K0_{nc}$ [-]
Zand siltig	10	10	30	0,5	0,1	30,0	0,500
Pleistoceen zand	35	35	100	0,5	0,1	32,5	0,463



Grondopbouw, parameters, initialisatie spanningen

- Optie POP from Material = constant, from Borehole = verlopend
- K_0 overgenomen from Material, let op K_0 kan groter zijn dan o.b.v. Mayne
- Aanbevolen wordt $K_0 \leq 1.0$ te houden



Figuur 4.6 Karakteristiek POP-veld initiële situatie (dagelijkse omstandigheden)

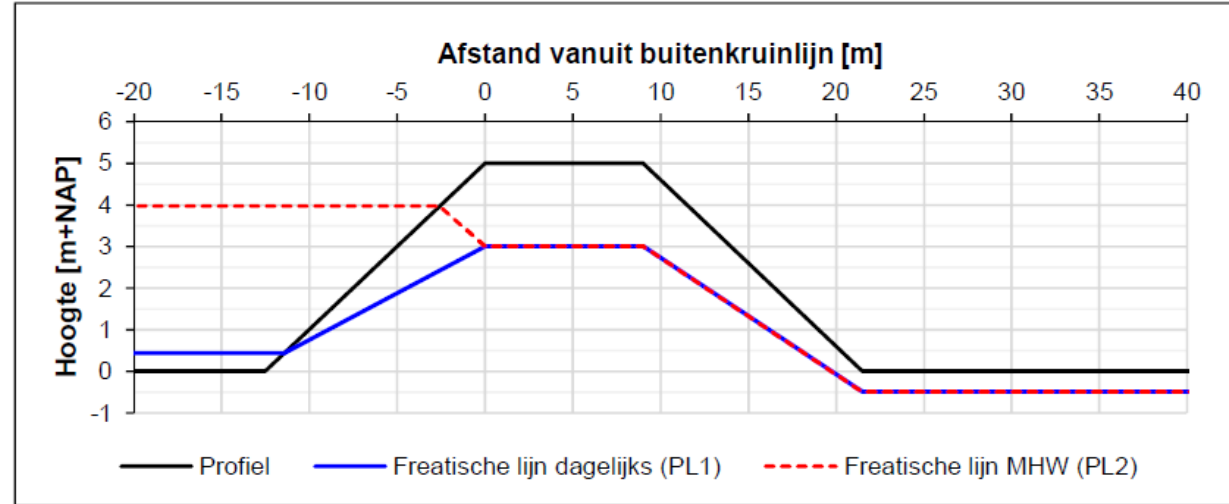


Hydraulische uitgangspunten

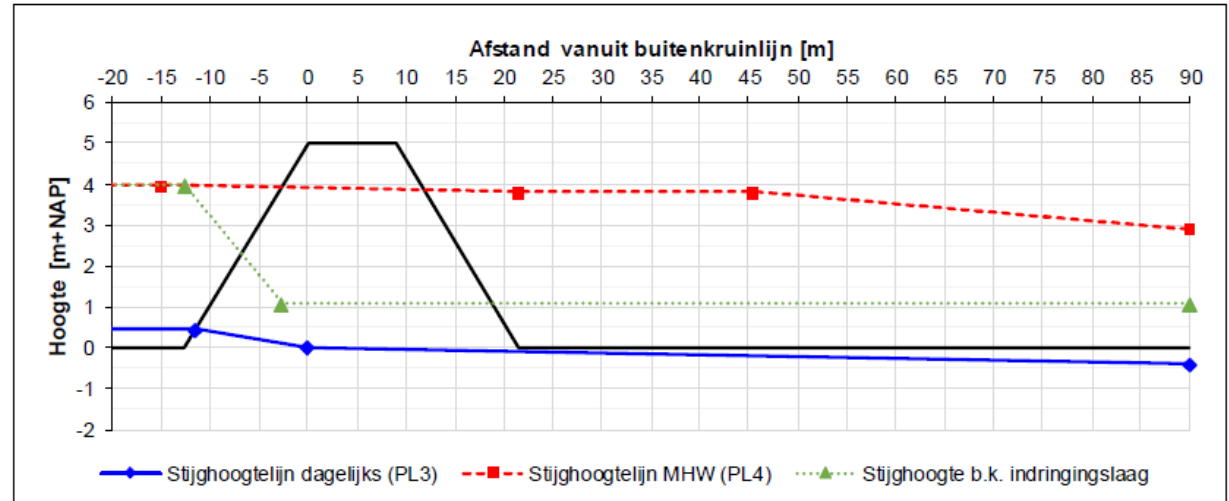
Waterstanden

Tabel 4.11 Waterstanden (einde levensduur)

Situatie	Waterstand [m NAP]
GWS	+0,44
GHW	+1,08
WBN	+3,97
Polderpeil	-0,50



Figuur 4.8 Freatische lijnen dagelijks en tijdens WBN

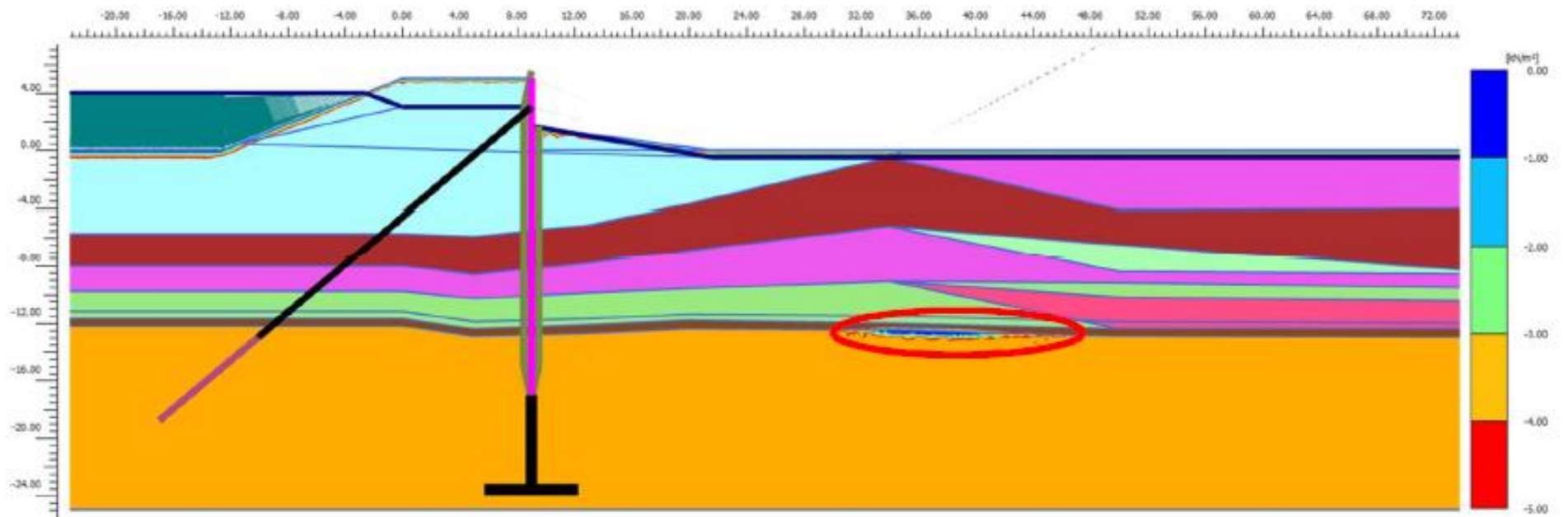


Figuur 4.12 Stijghoogtelijnen dagelijks, bij WBN en aan de bovenkant van de indringingslaag bij WBN. De stijghoogteafname van buiten naar binnen is bij WBN zeer beperkt, omdat de waarde bij het intredepunt aan buitenzijde vrijwel gelijk is aan de grenspotential aan binnenzijde



Hydraulische uitgangspunten

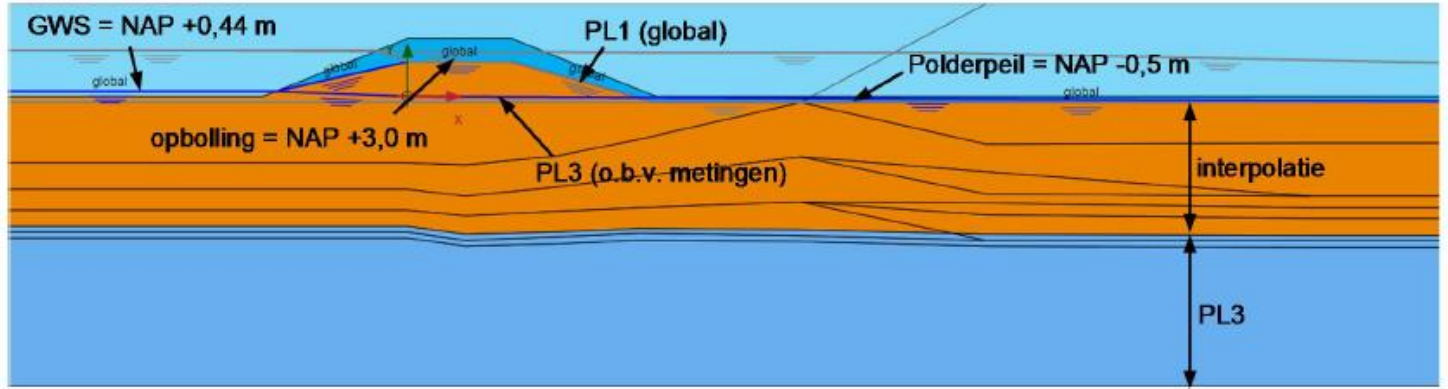
Plaxis grenspotentiaal



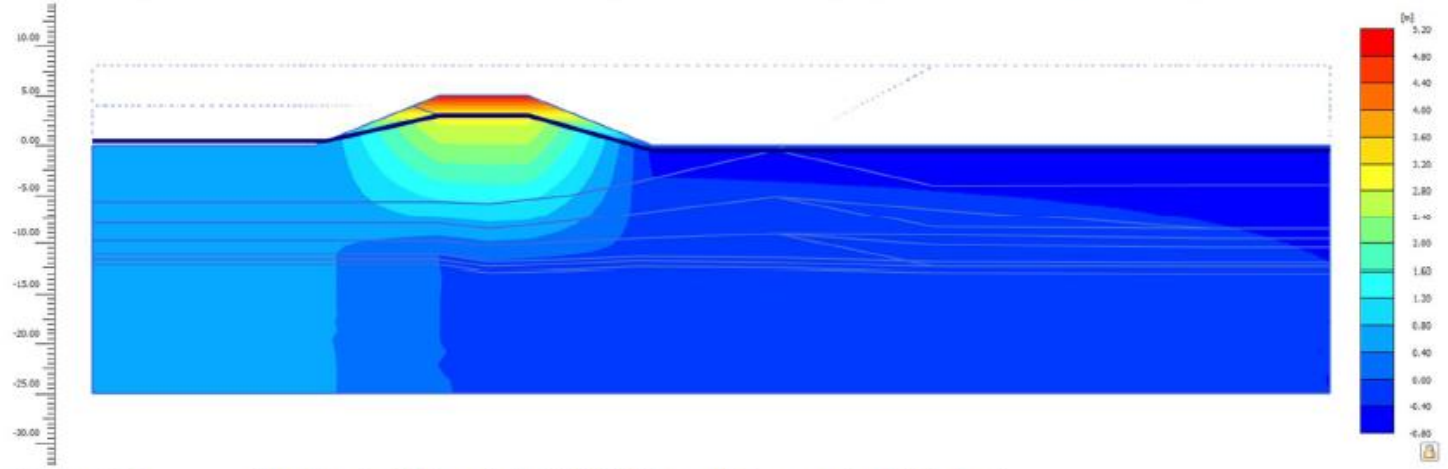
Figuur 4.11 Verificatie grenspotentiaal in de berekening met een damwand. In deze figuur is de effectieve verticale spanning σ'_{yy} geplot. Bij de opgelegde grenspotentiaal van NAP+3,8 m blijft op de grenslaag van zand en deklaag minder dan 1 kPa over.

Hydraulische uitgangspunten

Plaxis dagelijkse omstandigheden



Figuur 4.13 Ingevoerd stijghoogteverloop in PLAXIS (dagelijkse omstandigheden)



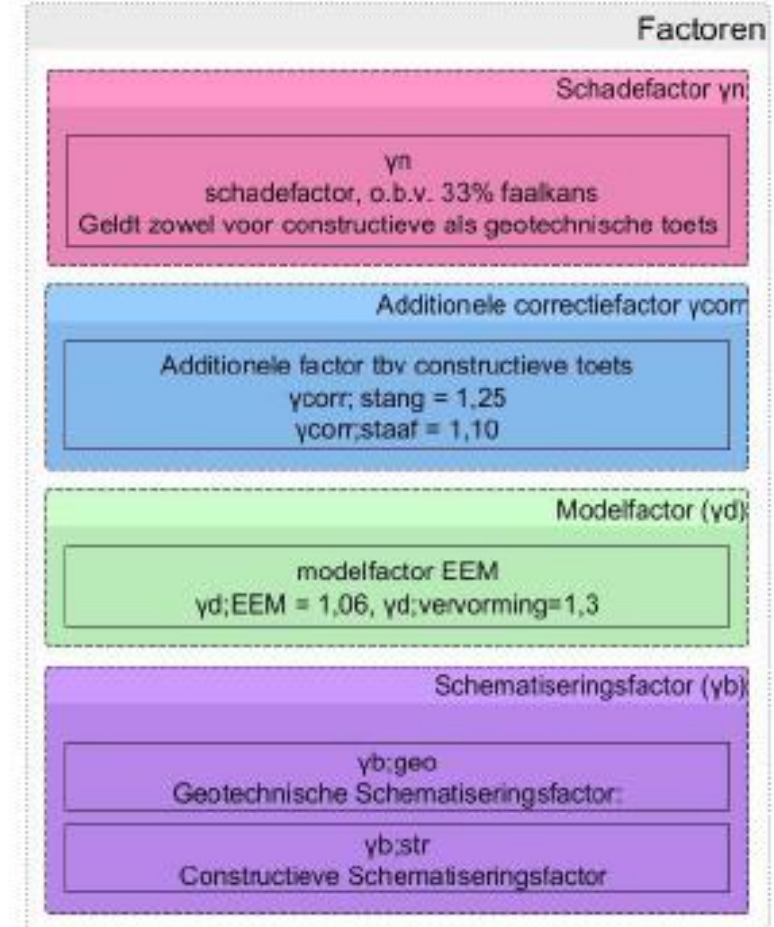
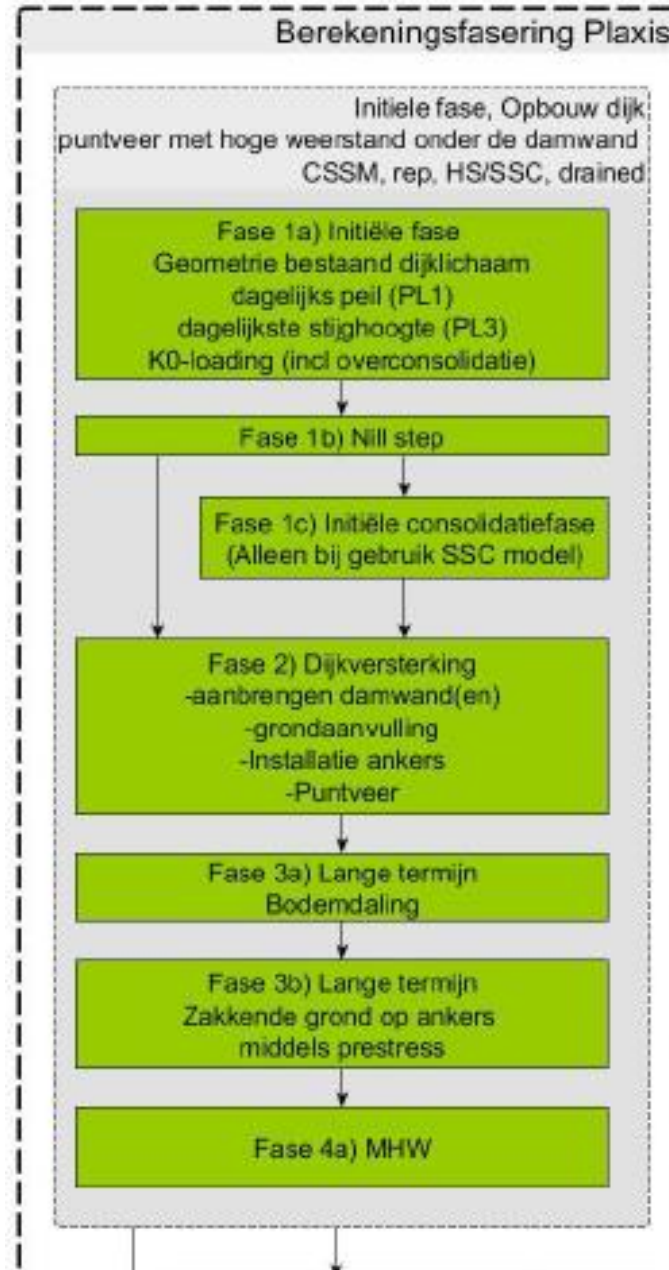
Figuur 4.14 Resultaat stijghoogte in PLAXIS (dagelijkse omstandigheden)



Rekenschema

Verankerde damwand 1/2

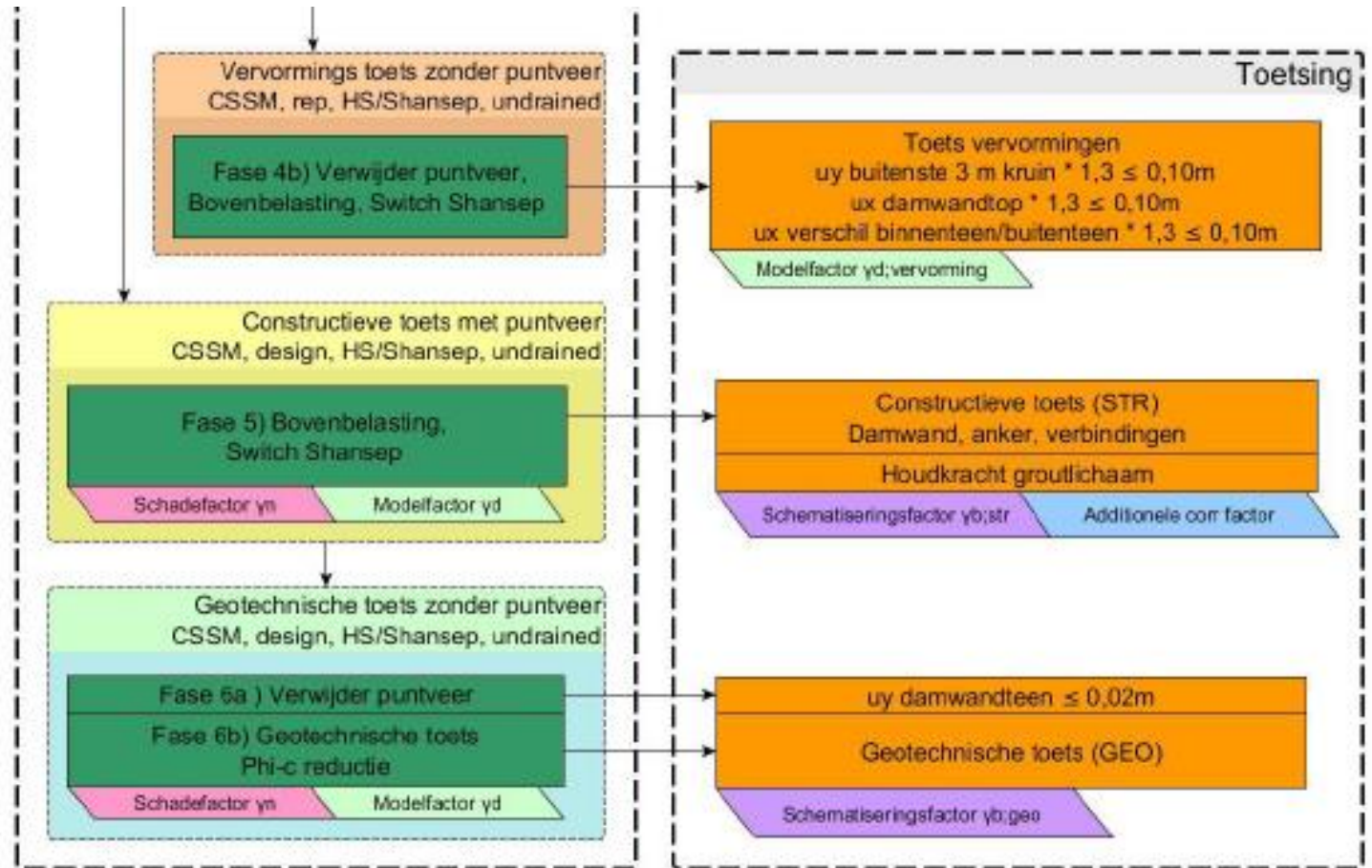
- Schema A en B (default)
- Fasering in blokken en fases
- Opbouw en toetsing met verschillende modellen
- Nieuw is lange termijn bodemdaling



Rekenschema

Verankerde damwand 2/2

- Duidelijk overzicht van toe te passen factoren in berekening en vereiste unity check
- Aparte toetsen voor BGT vervorming, UGT;GEO en UGT;STR
- Draagvermogen impliciet in 4b
- Let op, geotechnische stabiliteit zonder puntveer!





Figuur 3.7 Samengevat rekenschema B (controle stabiliteit, krachten/r vervormingen) voor verankerde stabiliteitswand



Schematiseringsfactor

- Standaard spreadsheet als hulpmiddel
- Basisschematiseringen waarin effect van onzekerheden middels scenario's wordt onderzocht
- Kans van optreden per scenario is conservatief 10%
- Aparte factoren voor GEO en STR_DW en STR_ANK



			SPREADSHEET SCHEMATISERINGSFACTOR versie 0.40
Project	Voorbeeldenboek Bergambacht		
Projectcode	103638		
Onderwerp	Bepaling schematiseringsfactor voor Bergambacht: damwand		
Adviseur	ir. P. Lamens		
Datum	25/02/2019		
FAALKANSVERDELING			

Schematiseringsfactor

In het voorbeeld zijn 4 scenario's opgenomen, maar er zijn meer scenario's.

- Grondopbouw
- Freatische lijn
- Restprofiel
- Indringingsdiepte
- Kernmateriaal dijk
- Stijghoogte

BEPALING SCHEMATISERINGSFACTOR

Geotechnische instabiliteit

Keuze schematiseringsfactor:

Totale faalkans S_0 t/m S_{10}

Percentage van toelaatbare faalkans

$Y_{b,geo}$	=	1.013 [-]
$P_{f,geo}$	=	2.56E-07 [1/jaar]
	=	100% [%]

Optimaliseer

Tabel 1 Uitwerking schematiseringsfactor voor geotechnische instabiliteit

S_i [-]	Schematisering [-]	$P(S_i)$ [-]	SF [-]	ΔSF [-]	$F(D S_i)$ [-]	β [-]	$P_f(D S_i)$ [1/jaar]	$P_f(D S_i) \cdot P(S_i)$ [1/jaar]
0	Basis schematisering	0.6	1.30	0.00	1.178	5.119	1.54E-07	9.23E-08
1	Aangepaste grondopbouw (+0.5 m klei)	0.1	1.29	-0.01	1.167	5.045	2.26E-07	2.26E-08
2	Aangepaste ligging freatische lijn (NAP +3,9)	0.1	1.28	-0.02	1.156	4.972	3.31E-07	3.31E-08
3	Aangepast restprofiel (vlak)	0.1	1.26	-0.05	1.131	4.805	7.72E-07	7.72E-08
4	Aangepaste indringingsdiepte (3 m)	0.1	1.28	-0.02	1.158	4.985	3.09E-07	3.09E-08
5								
6								

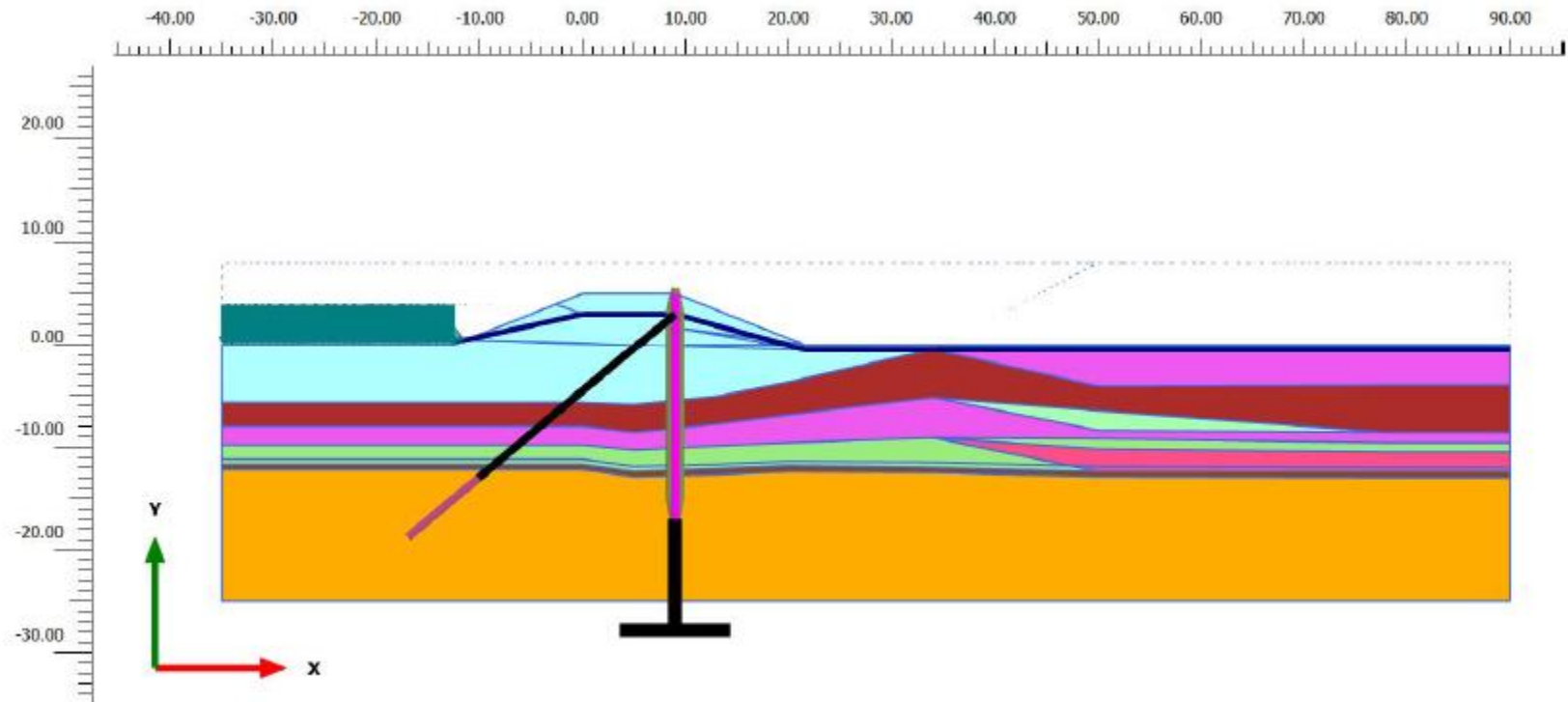


Modelling Constructies

Tabel 6.9 Modelleren van constructieve elementen

Constructie	PLAXIS model	Interfaces?	Aansluiting
Damwand	plate	Ja	-
Anker	node-to-node anchor	Nee	-
Groutlichaam	embedded beam row	Nee	Met anker: "free"
Puntveer	fixed end anchor	-	-

Let op, bij panelen de stijfheid (Input) aanpassen o.b.v. het openingspercentage, en dit ook in rekening brengen bij de unity checks (Output)



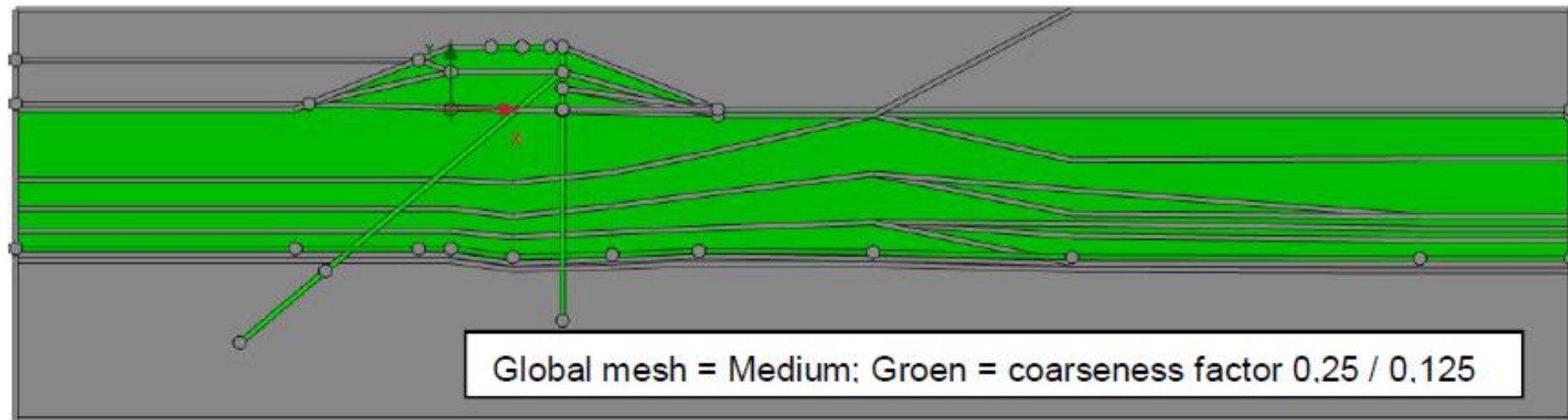
Figuur 6.1 Ontwerp geometrie verankerde damwand



Modellering

Mesh kwaliteit

Let op, figuur 6.3 is indicatief, voer tevens Plaxis Mesh Quality check vooraf uit, en voeg nauwkeurigheidscntrole achteraf uit



Figuur 6.3 Mesh instellingen damwandontwerp.



Modelling SHANSEP switch

- Let op, activering SHANSEP NGI-ADP in een bepaalde fase middels special option
- Voor deze fase wordt dan o.b.v. de maximale $s'1$ en de actuele $s'1$ bij aanvang van de fase de $OCR;1$ bepaald en de Su berekend
- Deze fase moet dan ongedraineerd worden uitgevoerd, rekenen met ongedraineerde sterkte maar wel effectieve spanningen

General	
ID	Fase 3b Verkeersbelasting Shansep [Phase_11]
Start from phase	Fase 3a) WBN ▼
Calculation type	Plastic ▼
Loading type	Staged construction ▼
ΣM_{stage}	1,000
ΣM_{weight}	1,000
Pore pressure calculation type	Phreatic ▼
Time interval	0,000 day
First step	16
Last step	17
Design approach	(None) ▼
Special option	1

Figuur 5.5 Activatie SHANSEP NGI-ADP model in Phases explorer



Modellering

Stap 3a lange termijn bodemdaling

- Twee manieren om het effect van de zettingen in ondergrond op de damwand te modelleren:
 - 1) De geschatte vervorming van de slappe lagen na het aanbrengen van de constructie in rekening brengen via een opgegeven verticale contractie in PLAXIS (Volumetric Strain). Deze optie is alleen toegestaan bij verticaal geplaatste langsconstructies, al dan niet verankerd.
 - 2) Een tijdsafhankelijke kruipberekening met het SSC model. Deze optie is noodzakelijk bij schuin geplaatste langsconstructies. Twee kruipfases: één van ca 10 jaar voor dijkversterking en één gelijk aan planperiode na dijkversterking.

Modellering

Stap 3b lange termijn zakkende grond op ankers

- Bepaal ankerkracht in fase 3a
- Bereken toename ankerkracht analytisch
- Sommeer krachten en breng als pre-stress aan in fase 3b

Tabel 6.8 Resultaten zakkende grond op ankerstang

Ankerkrachten			
Ankerkracht Na bodemdaling PLAXIS fase 3a	Ffase 3a	kN/anker	134
Gemiddelde zakking langs ankerstang	uy;ank;3a	m	0,2
Gemiddelde schuifsterkte langs ankerstang	Suank; 3a	kPa	25
Toename ankerkracht (voor berekening zie bijlage E3)	ΔF	kN/anker	520 (416*1,25)
Totale ankerkracht in te voeren als prestress fase 3b	Ffase 3b	kN/anker	550



Restprofiel

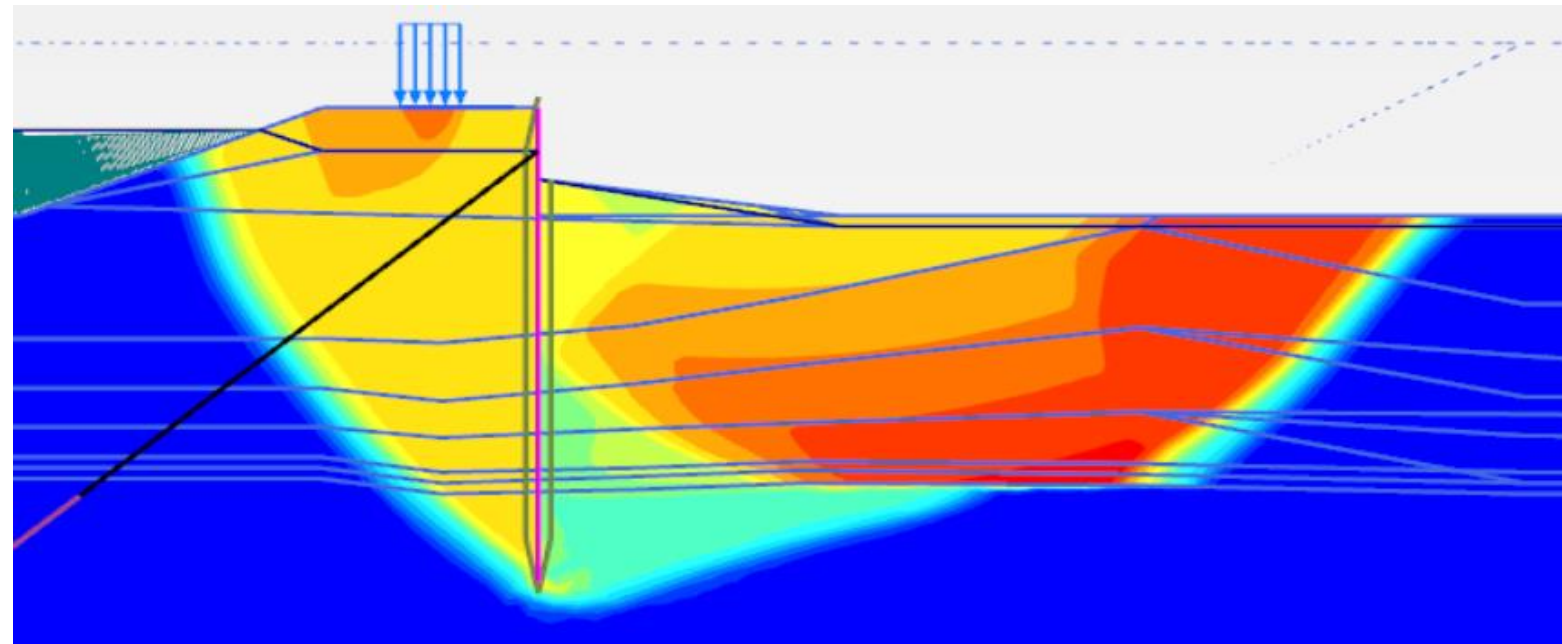
Algemeen

- Indien het rekenschema niet kan worden voltooid i.v.m. instabiliteit van het binnentalud, kan de dijk en damwand toch worden ontworpen / getoetst. Hierbij moet dan een restprofiel worden toegepast.
- Een instabiel binnentalud (met restprofiel tot gevolg) leidt niet tot overstromen, en hoeft dus niet aan de vereiste betrouwbaarheid te voldoen.
- Het overslagdebiet moet beperkt blijven om doorgaande erosie en verslechtering van het restprofiel te voorkomen.
- Het is raadzaam een restprofiel niet toe te passen in combinatie met panelen.
- Aanbevolen wordt wel een toets uit te voeren van de stabiliteit onder dagelijkse omstandigheden conform de Eurocode.

Restprofiel

Aanpak rekenvoorbeeld

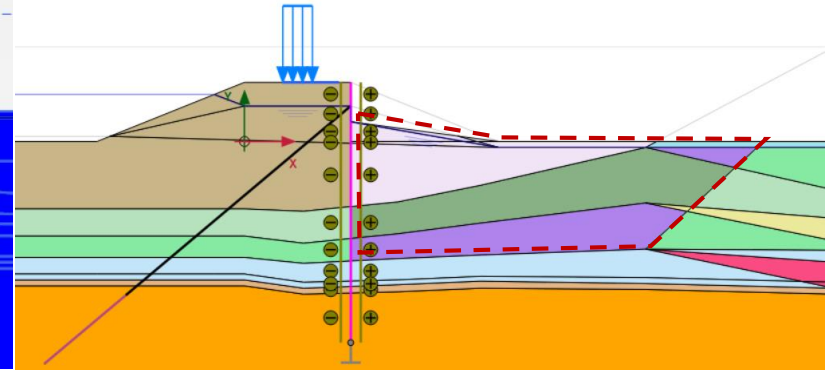
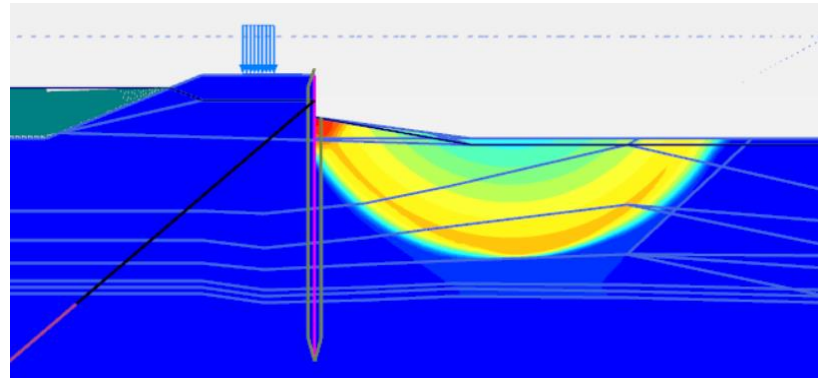
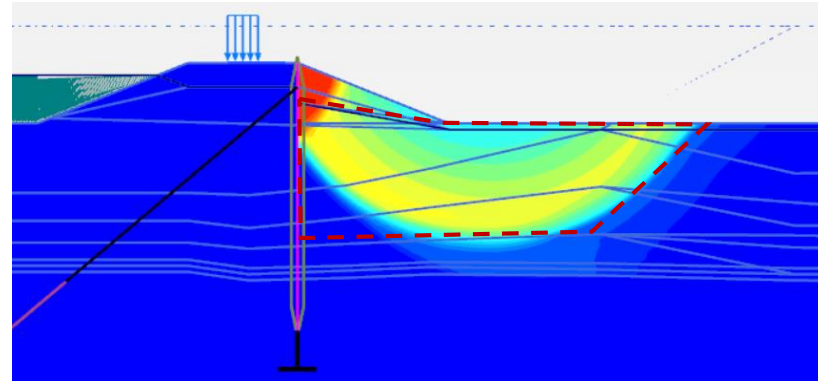
- Binnentalud voldoet onder dagelijkse omstandigheden maar niet in de unity checks, en moet daarom worden toegepast vanaf fase 4a i.c.m. maatgevend hoogwater.
- De basisaanpak is verflauwen talud tot $1/3$ van de oorspronkelijke hoogte.
- In aanvulling is besloten de sterkte (S-ratio en S_{min}) te verlagen tot 70% o.b.v. de uitkomsten van de Eemdijkproef. Dit is nog niet verwerkt in het huidige voorbeeld.



Restprofiel

Nieuwe aanpak

- Bepaal restprofiel en definieer clusters met gereduceerde S-ratio.
- Geotechnisch falen met sterktereductie



Unity checks

Resultaten Plaxis

Tabel 6.11 Ontwikkeling van Moment, Normaalkracht en Ankerkracht in de verschillende fasen

Fase		Buigend Moment [kNm/m']	Normaalkracht [kN/m]	Ankerkracht [kN/m']
installatie	(2)	25	39	36
bodemdaling	(3a)	117	235	48
zakkende grond op ankers	(3b)	273	310	234
WBN	(4a)	381	284	377
verkeersbelasting	(4b)	397	290	385
constructieve toets	(5)	629	338	435

Tabel 6.10 Resultaten uit PLAXIS berekening

Toets		Fase (zie § 3.4)	Waarde	Eenheid
Geotechnisch	Stabiliteitsfactor	6b - ϕ -c reductie	1,28	[-]
Vervormingen	Maximale Verticale zakking kruin (buitenste 3m kruin)	4b) Switch SHANSEP & verkeersbelasting	-0,01	[m]
Damwand	Buigend moment	5) Switch SHANSEP constr. toets	628,8	[kNm/m]
	Normaalkracht	5) Switch SHANSEP constr. toets	337,6	[kN/m]
	Dwarskracht	5) Switch SHANSEP constr. toets	260,3	[kN/m]
	Horizontale vervorming damwand	4b) Switch SHANSEP & verkeersbelasting	0,014	[m]
	Verticale vervorming damwand	4b) Switch SHANSEP & verkeersbelasting	0,002	[m]
Anker	Ankerkracht	5) Switch SHANSEP constr. toets	1141,8	[kN/anker]
	Vervorming anker (onderkant groutlichaam)	4b) Switch SHANSEP & verkeersbelasting	0,008	[m]



Unity checks GEO

- Toets vervormingen
- Toets nauwkeurigheid
- Toets overall stabiliteit
- Impliciete toets draagvermogen en inbedding

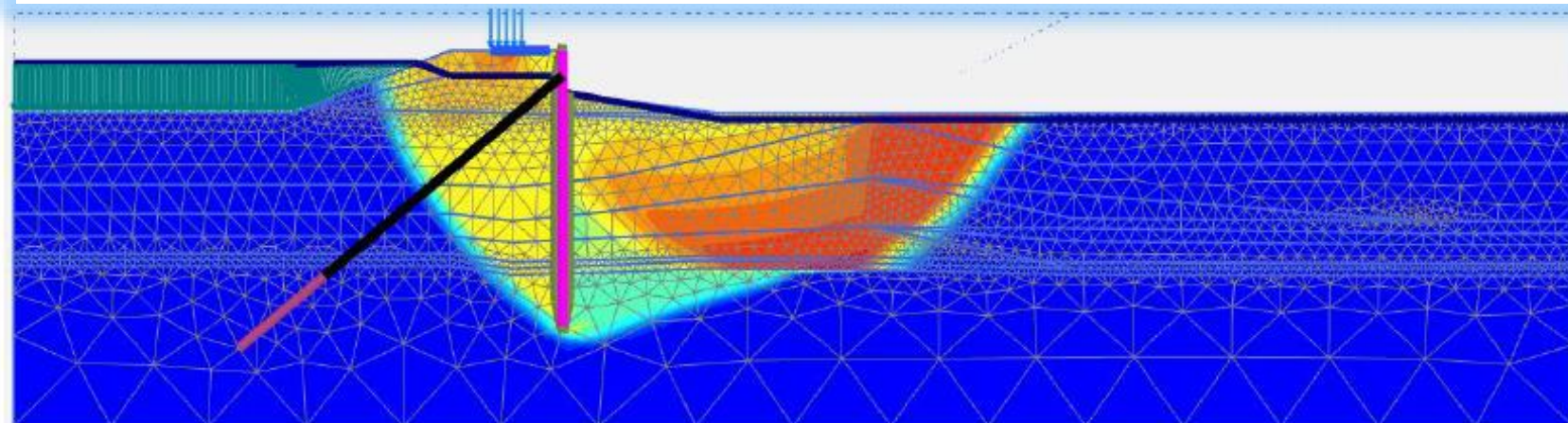
Tabel 6.16 Toets vervormingen

Toets vervormingen			Max	
Zakking kruin*	u_y;kruin	[m]	0,1	0,005
Horizontale vervorming damwand*	u_dw;x	[m]	0,1	0,002
Verplaatsing anker	u_ank;max	[m]	0,01	0,008

* inclusief factor 1,3 op de berekende vervormingen.

Tabel 6.17 Nauwkeurigheidscntroles

	Damwandmoment (UGT) [kNm]	Max. damwand-vervorming (BGT) [m]	Ankerkracht (UGT) [kN]	Stabiliteitsfactor ΣM_{sf}
basis	613.2	0.038	1146	1.30
<i>fine mesh</i>	613.1	0.037	1147	1.39
<i>tolerated error = 0.005</i>	619.6	0.042	1157	1.38



Figuur 6.6 Maatgevend glijvlak bij geotechnische toets.



Unity checks STR;damwand

- Let op, er wordt een reductie van 10% toegepast op weerstandsmoment bij toepassing panelen.
- Let op, er wordt gerekend met elastisch weerstandsmoment, ook voor Klasse 2 profielen.

(Nog onder revisie)



6.5.4.2 Controle op moment en normaalkracht

De rekenwaarden van het buigend moment en van de normaalkracht worden bepaald door de uit de EEM berekening gevonden waarden in fase 5 (Constructieve toets, bij een grondsterktereductiefactor 1,23) als volgt aan te passen.

$$M_{s;d} = f_{open} Y_{corr;dw} Y_{b;str} M_{s;max;EEM} \Rightarrow 1,25 * 1,0 * 1,12 * 626 = 880 \text{ kNm/m}$$

$$N_{s;d} = f_{open} Y_{corr;dw} Y_{b;str} N_{s;max;EEM} \Rightarrow 1,25 * 1,0 * 1,12 * 338 = 473 \text{ kN/m}$$

waarin:

$M_{s;d}$	= rekenwaarde van het buigend moment [kNm/m]
f_{open}	= factor openingspercentage [-] ($1/(\text{opening per m in de wand}=1/0,8=1,25)$)
$Y_{corr;dw}$	= belastingeffect factor buigend moment [-]
$Y_{b;str}$	= schematiseringsfactor voor constructief falen [-]
$M_{s;max;EEM}$	= maximaal buigend moment in wand uit de EEM berekening [kNm/m]
$N_{s;d}$	= rekenwaarde van de normaalkracht in de damwand [kN/m]
$N_{s;max;EEM}$	= maximale normaalkracht in wand uit de EEM berekening [kN/m]

De staalspanning wordt getoetst met onderstaande formule. Conform de PPL wordt voor het ontwerp van de damwanden en ankers uitsluitend rekening gehouden met de elastische capaciteit van de stalen onderdelen.

$$\sigma_{s;dw;d} = \frac{M_{s;d}}{W_{el;corr;open}} + \frac{N_{s;d}}{A_{corr}} \leq f_{y;dw;d} \Rightarrow \frac{880}{0,9 * 3292 * 10^{-6}} + \frac{473}{195 * 10^{-4}} = 321 * 10^3 \leq 390 * 10^3$$

waarin:

$\sigma_{s;dw;d}$	rekenwaarde spanning in de uiterste vezel van wanddoorsnede [kN/m ²]
$M_{s;d}$	rekenwaarde van buigend moment in de wand [kNm/m]
$W_{el;corr;open}$	elastisch weerstandsmoment wanddoorsnede na corrosie [m ³]. Conform de PPL moet bij discontinue wanden nog een extra correctiefactor van 0,9 worden toegepast op het weerstandsmoment in verband met de mogelijke negatieve invloed door het torderen (draaien van de planken) direct naast de openingen.
$N_{s;d}$	rekenwaarde van de normaalkracht in de wand [kN/m]
A_{corr}	oppervlakte wanddoorsnede na corrosie [m ²]
$f_{y;dw;d}$	rekenwaarde vloeispanning damwandstaal conform Eurocode 3 [kN/m ²]

De toets op moment en normaalkracht voldoet, met een unity check van 0,81.

Unity checks

Overige constructieve toetsingen

- Damwand dwarskracht
- Damwand knik (onder revisie)
- Ankerstang
- Ankerhoudkracht
- Ankeruitval
- Gording en verbindingen (niet in voorbeeld, onderdeel PPL)



Conclusies en aanbevelingen

- Case verankerde damwand is basis geweest van alle voorbeeld berekeningen in PPE
- Diverse keuzes zijn gebaseerd op uitgebreide consequentie-analyse
- Huidige versie PPE/PPL incl voorbeelden zijn nog niet helemaal aangepast aan de Eurocode, en moeten ook onderling nog worden uitgelijnd
- Aanbevelingen EEMdijk damwandproef zijn nog niet verwerkt

