

NOTITIE

Onderwerp	Optimalisatie onverankerde damwand
Project	Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder
Opdrachtgever	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Projectcode	138945
Projectleider	C. van Mastrigt MSc
Status	Definitief
Datum	12 juni 2025
Referentie	138945/25-009.366

Auteur(s)	Ir. J.J.M. Sluis
Gecontroleerd door	Ir. B. Dudink, Ir. R. de Boer
Goedgekeurd door	C. van Mastrigt MSc
Paraaf	

Bijlage(n)	I Toetsing capaciteit damwanden
------------	---------------------------------

Aan	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	J. Kottier, T. Rus
Kopie	Witteveen+Bos	R. de Boer

1 INLEIDING

Voor de planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder is voor sectie 1 ter plaatse van de Balgzanddijk op normtraject 13-5 een versterking met een langsconstructie als referentieontwerp voor ontwerploop 4 (OL4) uitgewerkt [ref. 4]. Voor alle rekenprofielen 1A t/m 1H (en daarmee ook voor de ontwerpprofielen/deelsecties 1A t/m 1J¹) betreft dit een verankerde damwand. De ontwerpdimensies uit OL4 zijn te zien in Tabel 1.1.

¹ Op basis van de bodemopbouw is een indeling in deelsecties 1A t/m 1J gemaakt. In de Rekennota STBI [ref. 4] zijn berekeningen (d.w.z. de rekenprofielen) toegekend aan ontwerpprofielen volgens deze indeling in deelsecties. In Tabel 1.1 is te zien welke van de rekenprofielen 1A t/m 1H representatief is bevonden voor welke van de deelsecties en ontwerpprofielen 1A t/m 1J.

Tabel 1.1 Vertaling van rekenprofielen naar ontwerpprofielen en ontwerpdimensies verankerde damwand per deelsectie van sectie 1 [ref.4]

Ontwerpprofiel/deelsectie	Rekenprofiel	OL4 verankerd	
		Type	Lengte
1A	1A	AZ18-700 (S355)	12,65
1B	1F	AZ28-700 (S355)	24,8
1C	1B	AZ24-700 (S355)	18,65
1D	1C	AZ24-700 (S355)	21,5
1E	1E	AZ18-700 (S355)	13,5
1F	1C	AZ24-700 (S355)	21,5
1G	1E	AZ18-700 (S355)	13,5
1H	1F	AZ28-700 (S355)	24,8
1I	1G	AZ28-700 (S355)	25,8
1J	1H	AZ36-700N (S355)	30

Op verzoek van het HWBP is door HHNK aan W+B verzocht te onderzoeken in hoeverre het verruimen van maximale vervorming van 100 mm van de langsconstructie en het verschuiven van faalkansruimte van piping naar macrostabiliteit leidt tot een optimalisatie van de dimensionering van de constructie (met betrekking tot materiaalgebruik en kosten).

Voorliggende notitie beschrijft de resultaten van deze analyse. In hoofdstuk 2 is de impact op het verruimen van de maximale vervorming toegelicht en in hoofdstuk 3 de impact van het verschuiven van de faalkansruimte. Tot slot zijn in hoofdstuk 0 de gebruikte referenties opgenomen.

2 IMPACT VERRUIMEN MAXIMALE VERVORMING

Bij het ontwerpen van langsconstructies zijn volgens de POVM-publicaties Eindige-elementenmethode [ref. 1] en Langsconstructies [ref. 2] een drietal vervormingseisen van toepassing:

- 1 zakking buitenste 3 m van de kruin $< 0,1$ m;
- 2 horizontale vervorming bovenzijde damwand $< 0,1$ m;
- 3 verschil horizontale vervorming tussen binnenteen en buitenteen $< 0,1$ m.

Achtergrond van deze vervormingseisen is, dat als de vervorming dusdanig klein is ($< 0,1$ m), de impact op de waterveiligheid verwaarloosbaar wordt geacht. Met het 'verruimen van de maximale vervorming' wordt bedoeld dat er niet (meer) getoetst wordt op de absolute vervormingseis van $0,1$ m, maar dat er een zogenaamde 'vervormingstoets op maat' wordt uitgevoerd. De vervormingen zijn dan weliswaar groter dan $0,1$ m, maar met aanvullende beschouwingen (de 'vervormingstoets op maat') wordt de impact op de waterveiligheid getoetst.

De achtergrond van de vraag vanuit het HWBP is: door het verruimen van de maximale vervorming van $0,1$ m, kan een onverankerde damwand mogelijk zijn. Uit eerdere analyses bleek namelijk dat de vervorming van een onverankerde damwand groter was dan $0,1$ m, waardoor deze optie in het VKA is afgefallen, en een verankerde damwand is uitgewerkt. Daarom is in voorliggende notitie een beschouwing gemaakt of de damwand onverankerd uitgevoerd kan worden, met een vervormingstoets op maat in plaats van een absolute vervormingseis.

Hiertoe zijn de volgende stappen gevolgd:

- in de bestaande Plaxis berekeningen van de verankerde damwand is de verankering weggehaald en is de berekening opnieuw uitgevoerd;
- indien niet werd voldaan aan de stabiliteitseis, is de damwand verlengd totdat wel werd voldaan aan de stabiliteitseis ($\sum M_{sf} > \gamma_b = 1,10$). Indien (ruim) werd voldaan aan de stabiliteitseis, is de damwand korter gemaakt, ook totdat net werd voldaan aan de stabiliteitseis. NB. het laten vervallen van de verankering én het korter maken van de damwand klinkt tegenstrijdig. Dit is echter mogelijk doordat bij een verankerde damwand een toets op verticaal draagvermogen nodig is. Dit houdt in dat de verticale belasting uit de verankering moet worden opgenomen afgedragen door de damwand naar een (dieper gelegen) zandlaag. Bij een onverankerde damwand is deze toets niet nodig, er is immers geen verticale belasting vanuit verankering;
- uit de berekening met aangepaste plankpuntniveaus zijn de krachten in de damwand uitgelezen (moment, dwarskracht en normaalkracht). Vervolgens is een damwandtype bepaald die deze krachten kan opnemen. Dit werd voor sommige rekensneden een zwaarder profiel en voor andere rekensneden een lichter profiel. Ook een lichter profiel klinkt tegenstrijdig door het vervallen van een verankering. De reden hiervoor is dat bij een onverankerde damwand een toets op knik niet nodig is: er is geen normaalkracht door verankering waardoor de damwand kan uitknikken. Deze toets op knik was maatgevend bij diverse rekensneden met de verankerde damwand. Als de toets op knik niet nodig is (bij de onverankerde damwand), kan het damwandtype dus lichter;
- indien het damwandtype verandert door de voorgaande stappen, is de berekening opnieuw uitgevoerd met de eigenschappen van het aangepaste damwandtype. Dit heeft ook weer invloed op de krachtwerving, waardoor in sommige gevallen nog een laatste update nodig is van plankpuntniveau en damwandtype.

In tabel 2.1 is de vergelijking van de damwandafmeting weergegeven van de verankerde damwand uit OL4 [ref. 4], en de onverankerde damwand zoals bepaald in voorliggende analyse.

Voor rekensnede 1A, 1B, 1D en 1E moet de damwand in de onverankerde situatie langer worden, omdat anders niet aan de vereiste stabiliteitseis wordt voldaan. Ook zijn de krachten in de wand hoger, waardoor een (veel) zwaarder type damwand toegepast moet worden. Voor rekensnede 1C kan de damwand een halve meter korter, maar moet wel een zwaarder damwandtype toegepast worden. Voor rekensnede 1F-1H lijkt wel een significante optimalisatie mogelijk: de damwand kan hier zowel korter als lichter. De reden hiervoor is dat in de verankerde situatie de toets op verticaal draagvermogen maatgevend is, en de damwand lang moest worden uitgevoerd om de draagkrachtige zandlaag te bereiken. Voor de onverankerde damwand is de toets op verticaal draagvermogen niet nodig, waardoor de lengte gereduceerd kan worden. Daarnaast was voor de verankerde damwand de toets op knik maatgevend voor het type profiel, ook een mechanisme die in de onverankerde situatie niet getoetst hoeft te worden.

Tabel 2.1 Vergelijking damwandafmetingen verankerde variant versus onverankerde variant per rekenprofiel (legenda: rood gemarkeerde dimensies zijn zwaarder, groen gemarkeerde dimensies zijn lichter)

Rekensnede	Verankerde damwand (referentiesituatie OL4 [ref. 4])			Onverankerde damwand		
	PPN [m NAP]	Lengte [m]	Damwandtype	PPN [m NAP]	Lengte [m]	Damwandtype
1A	-11,0	12,65	AZ18-700 (S355)	-19,0	20,7	AZ52-700 (S355)
1B	-17,0	18,65	AZ24-700 (S355)	-20,0	21,7	AZ52-700 (S430)
1C	-20,0	21,5	AZ24-700 (S355)	-19,5	21,0	AZ36-700N (S390)
1D	-10,0	11,4	AZ18-700 (S355)	-16,0	17,4	AZ36-700N (S390)
1E	-12,0	13,5	AZ18-700 (S355)	-16,0	17,5	AZ24-700 (S355)
1F	-23,5	24,3	AZ28-700 (S355)	-8,0	8,8	AZ18-700 (S355)
1G	-24,5	25,8	AZ28-700 (S355)	-12,0	13,3	AZ18-700 (S355)
1H	-28,7	30,0	AZ36-700 (S355)	-12,0	13,3	AZ18-700 (S355)

Deze resultaten van de rekenprofielen vertalen zich naar de ontwerpprofielen van sectie 1 op de volgende manier als te zien in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Resultaten ontwerpdimensies verankerde variant versus onverankerde variant per deelsectie van sectie 1 (groen = lichtere dimensies dan OL4 verankerd; rood = zwaardere dimensies dan OL4 verankerd)

Ontwerpprofiel / deelsectie	Rekenprofiel	OL4 verankerd		Onverankerd	
		Type	Lengte	Type	Lengte
1A	1A	AZ18-700 (S355)	12,65	AZ52-700 (S355)	20,7
1B	1F	AZ28-700 (S355)	24,8	AZ18-700 (S355)	8,8
1C	1B	AZ24-700 (S355)	18,65	AZ52-700 (S430)	21,7
1D	1C	AZ24-700 (S355)	21,5	AZ36-700N (S390)	21
1E	1E	AZ18-700 (S355)	13,5	AZ24-700 (S355)	17,5
1F	1C	AZ24-700 (S355)	21,5	AZ36-700N (S390)	21
1G	1E	AZ18-700 (S355)	13,5	AZ24-700 (S355)	17,5
1H	1F	AZ28-700 (S355)	24,8	AZ18-700 (S355)	8,8
1I	1G	AZ28-700 (S355)	25,8	AZ18-700 (S355)	13,3
1J	1H	AZ36-700N (S355)	30	AZ18-700 (S355)	13,3

Bij de onverankerde damwand komt naast de verankering ook de gording te vervallen. In de PPL [ref. 2] was een gording bij onverankerde damwanden wel vereist, maar na onderzoek door Witteveen+Bos [ref. 3] is deze eis komen te vervallen; de gording voegt weinig toe aan de herverdeling. Hier zijn wel een aantal randvoorwaarden van toepassing:

- er worden warmgewalste damwandprofielen toegepast;
- bij een discontinue damwand worden damwandpanelen van minimaal 2-dubbele damwandprofielen toegepast (in lijn met de PPL);
- de damwand wordt ontworpen op basis van de elastische momentcapaciteit.

In alle bovenstaande gevallen wordt voldaan. De conclusies uit het onderzoek van Witteveen+Bos zijn overgenomen door het HWBP-DIV Gebruikersplatform Macrostabiliteit¹.

Voor de volledigheid zijn in tabel 2.3 de resultaten uit de Plaxis berekening gepresenteerd. Toelichting op de resultaten:

- de stabiliteitsfactor $\sum M_{sf}$ dient groter te zijn dan 1,10, de schematiseringsfactor zoals vastgesteld in [ref. 4]. De schadefactor en modelfactor zijn in Plaxis al in de grondsterkte verwerkt;
- het moment uit Plaxis dient nog vermenigvuldigd te worden met de schematiseringsfactor γ_b , correctiefactor f_{open} en correctiefactor voor de invloed van openingen bij discontinue damwanden γ_{open} :
 $M_{Ed} = M_{plix} * \gamma_b * f_{open} / \gamma_{open} = M_{plix} * 1,19 * 1,24 / 0,9 = M_{plix} * 1,64$, zie ook [ref. 4]. De capaciteit van de damwanden is getoetst conform EN 1993-5, zie bijlage I. In alle gevallen is de unity check kleiner dan 1,0 en voldoet de damwand. Bij rekensneden 1F-1H is unity check relatief laag, hier is de AZ 18-700 als ondergrens gekozen i.v.m. uitvoerbaarheid;
- de horizontale vervorming u_x uit Plaxis dient vermenigvuldigd te worden met een modelfactor $\gamma_{d,vervorming} = 1,3$. In rekensnede 1D en 1F wordt voldaan aan de vervormingseis van 100 mm, in de andere gevallen wordt niet voldaan aan de vervormingseis. De vervormingseis is weliswaar 'verruimd', echter dient wel aangetoond te worden dat de vervorming geen nadelige invloed heeft op de waterveiligheid. Dit is de 'vervormingstoets op maat' uit de PPE [ref. 1]. Deze is uitgevoerd voor rekensnede 1E: deze heeft de grootste vervorming, maar heeft nog wel een realistisch profiel waarbij een onverankerde damwand realistisch is. De toets op maat is opgenomen in tabel 2.4.

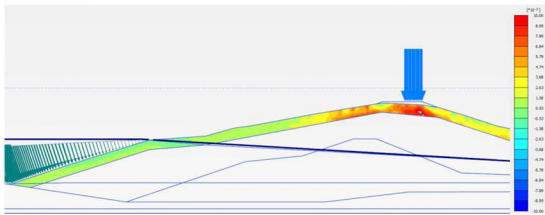
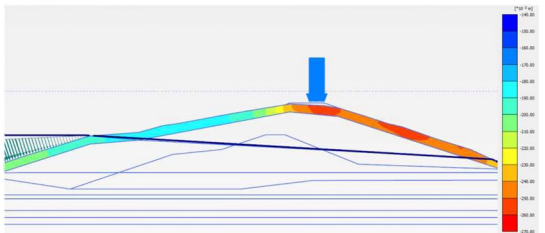
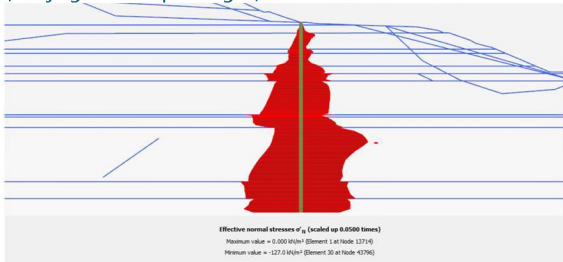
Tabel 2.3 Resultaten uit Plaxis berekeningen bij dimensionering

Rekensnede	$\sum M_{sf}$ [-]	M_{plix} [kNm/m]	Q_{plix} [kN/m]	N_{plix} [kN/m]	u.c. [-]	$u_x^{[1]}$ [mm]	$u_x * 1,3$ [mm]
1A	1,12	971	210	81	0,96	111	144
1B	1,12	1131	217	73	0,93	112	146
1C	1,10	720	180	49	0,99	135	176
1D	1,10	725	190	63	0,99	69	90
1E	1,12	386	105	51	0,89	157	204
1F	1,11	31	29	161	0,11	72	94
1G	1,11	65	32	258	0,23	84	109
1H	1,10	71	34	278	0,25	83	108

^[1] Ter referentie: de berekende vervorming van de verankerde damwand in OL4 was tussen de 9 en 19 mm.

¹ <https://publicwiki.deltares.nl/spaces/HWBPMacro/pages/215842860/Langsconstructies#Langsconstructies-Gordingen>

Tabel 2.4 Vervormingstoets op maat, rekensnede 1E

Omschrijving	Vervormingsgedrag	Maatregelen nodig
Buitentalud	De rekken in het buitentalud zijn maximaal circa 1 %, bovenin het talud. 	Geen grote rek op het buitentalud. Dit is toelaatbaar, en er zijn geen maatregelen nodig op het buitentalud.
Kruin	De maximale rek is ongeveer 1 %, zie figuur bij buitentalud hierboven. De maximale zetting is circa 260 mm, zie figuur hieronder. 	De kruin zakt meer dan 10 cm, hierdoor zal beoordeeld moeten worden dat deze nog voldoende hoog is. De kruin is orde grootte 2 m 'te hoog', dus hier is voldoende ruimte. Rek is beperkt, er wordt geen scheurvorming verwacht.
Bekleding binnentalud	Verschilverplaatsing ter plaatse van de aansluiting met de damwand.	Mogelijk scheurvorming op het binnentalud: overslag moet beperkt worden tot 0,1 l/m/s (dit is het geval door de overhoogte in de kruin). Scheurvorming kan leiden tot infiltratie van regenwater, wat kan leiden tot micro-instabiliteit (STMI). Hierdoor kan regenwater infiltreren zodat de freatische lijn hoger wordt, en daarmee de kans op STMI groter. Om de volgende drie redenen is niet te verwachten dat de eventuele scheurvorming tot aan het maaiveld reikt en daarmee de kans op STMI significant vergroot wordt: 1) De binnentalud bekleding is orde grootte 70 cm dik (bestekstekeningen van aanleg). 2) Na aanbrengen van de damwand wordt de kleilaag hersteld. 3) De bovenkant van de damwand wordt minimaal 0,5-1,0 m onder maaiveld afgewerkt.
Piping	Aan de passieve (polder)zijde van de damwand wordt de grond aangedrukt. Aan de buiten-(water)zijde van de damwand ontstaan lokale rekken in de ondergrond, maar de damwand blijft aangedrukt (er zijn geen trekspanningen). 	Aangezien de cohesieve lagen in het achterland aangedrukt worden zal hier geen (nieuw) in- of uittredepunt ontstaan.

3 IMPACT VERSCHUIVING FAALKANSRUIMTE

In het ontwerp van OL4 is uitgegaan van 7 % faalkansruimte voor STBI en 21 % voor STPH [ref. 5]. Gekeken is wat de impact is om voor STBI 27 % faalkansruimte te hanteren. Er blijft dan nog 1 % faalkansruimte voor piping over¹. In afbeelding 3.1 is de uitwerking van de verschuiving van de faalkansruimte weergegeven. De schadefactor $\gamma_{n,plx}$ gaat hierdoor naar beneden van 1,089 naar 1,045. In combinatie van de modelfactor van $\gamma_d = 1,06$ wordt de te hanteren sterktereductie in Plaxis 1,11 (was 1,15). Doordat de grondsterkte minder gereduceerd hoeft te worden, blijft er meer grondsterkte 'over' voor macrostabiliteit. De damwand hoeft dan juist minder weerstand te leveren om aan de stabiliteitseis te voldoen, waardoor de damwand (in theorie) lichter en/of korter uitgevoerd kan worden.

Afbeelding 3.1 Uitwerking verschuiving faalkansruimte op partiële factoren voor ontwerp damwand

	OL4	Verschoven faalkans
a	0.033	0.033
b	50	50
L	10300	10300
N	7.798	7.798
ω	0.07	0.27
P_{max}	0.001	0.001
$P_{eisd,sn}$	8.98E-06	3.46E-05
$\beta_{eisd,sn}$	4.289	3.979
γ_n	1.053	1.007
$P_{eisd,sn,plx}$	2.99E-06	1.15E-05
$\beta_{eisd,sn,plx}$	4.527	4.233
$\gamma_{n,plx}$	1.089	1.045
γ_d	1.06	1.06
sterktereductie $\gamma_{n,plx} \cdot \gamma_d$	1.15	1.11

Voor de verankerde damwandconstructie is de impact bekeken voor rekensnede 1A en 1H. De normaalkracht gaat naar beneden van 246,6 kN/m naar 246,0 kN/m (rekensnede 1A) 708,9 kN/m naar 708,8 kN/m (rekensnede 1H). Hier zit nauwelijks verschil in. Omdat verticaal draagvermogen voor de verankerde damwand maatgevend is, zit hier dus geen optimalisatie in. Ook in het buigend moment zijn de berekeningen met en zonder verschoven faalkans vergelijkbaar, dus optimalisatie in damwandtype is ook niet mogelijk. Dat er zo weinig verschil zit in de berekeningen, komt door het grootste deel van de krachten in de damwand komen in de fases voorafgaand aan de fase met sterktereductie (o.a. bodemdaling).

Voor de onverankerde damwand is gekeken naar de invloed op rekensnede 1E. Rekensnede 1A-1D zijn onverankerd een stuk langer en zwaarder dan de verankerde variant, zie hoofdstuk 2, en daardoor naar verwachting minder rendabel als optimalisatie (en zullen naar verwachting dus verankerd uitgevoerd worden). Rekensnedes 1F-1H zijn voor nu niet lichter gekozen i.v.m. uitvoerbaarheid, dus die kunnen onverankerd ook niet lichter worden uitgevoerd. De resultaten voor rekensnede 1E zijn weergegeven in tabel 3.1. De damwand kan 1 m korter en zou ook één categorie lichter kunnen. Er is dus wel enige besparing mogelijk door faalkansruimteverschuiving, maar deze is niet significant en dit is naar verwachting alleen voor deze rekensnede 1E mogelijk. Doordat dit geen significante impact heeft op de totale dijkversterking, wordt geadviseerd om de faalkansruimteverschuiving buiten beschouwing te laten.

¹ NB: Je zou kunnen verwachten dat het verlagen van de faalkansruimte voor piping naar 1 % toelaatbaar is, omdat in de beoordeling ruim is voldaan aan de toets op piping. Echter is dit op voorhand niet met zekerheid te zeggen. Daarom moet de impact van de verschuiving op de WBI-beoordeling voor piping beschouwd worden. Dit is buiten de scope van deze notitie.

Tabel 3.1 Vergelijking resultaten zonder en met faalkansruimteverschuiving sectie 1E

Eigenschap	Zonder faalkansruimteverschuiving	Met faalkansruimteverschuiving
PPN [m NAP]	-16,0	-15,0
Lengte damwand [m]	17,5	16,5
Damwandtype	AZ24-700	AZ18-700
ΣM_{sf} [-]	1,12	1,13
M_{plx} [kNm/m]	386	242
u.c. [-]	0,89	0,86
u_x [mm]	157	166
$u_x \cdot 1,3$ [mm]	204	216

4 REFERENTIES

- 1 Projectoverstijgende Verkenning Macrostabiliiteit (2020). POVM Eindige-elementenmethode: Een publicatie van de POV Macrostabiliiteit, maart 2020.
- 2 Projectoverstijgende Verkenning Macrostabiliiteit (2020). POVM Langsconstructies: Een publicatie van de POV Macrostabiliiteit, maart 2020.
- 3 Witteveen+Bos (2023). Onderzoek gordingen, De Innovatie versneller / Waterschap Rivierenland, referentie 136390/23-015.767, d.d. 4 oktober 2023.
https://publicwiki.deltares.nl/download/attachments/215842860/136390_23-015.767_rep_final02_Onderzoekgordingen.pdf?version=1&modificationDate=1698683828450&api=v2
- 4 Witteveen+Bos (2025). Rekennota macrostabiliiteit (STBI) OL4, referentie 138945/25-002.687, d.d. 21 februari 2025.
- 5 Witteveen+Bos (2025). Uitgangspuntennotitie ontwerp OL4, referentie 138945/24-006.738, d.d. 29 april 2025.



BIJLAGE: TOETSING CAPACITEIT DAMWANDEN

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1A - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

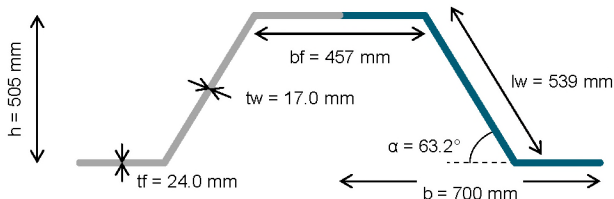
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 52-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 505 mm
flensdikte t_f = 24.0 mm
lijfdikte t_w = 17.0 mm
hoek lijf α = 63.2 °
weerstandsmoment W = 5155 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 130140 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 316.8 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.46 m²/m
flensbreedte b_f = 457 mm
lijflengte l_w = 539 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = per jaar
levensduur T = 100 jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = 2.4 mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = 2.10E+08 kN/m²
volumiek gewicht γ = 7850 kg/m³
staalsoort = S355 GP
vloeigrens f_y = 355 N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = 1592 kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = 210 kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = 210 kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = 81 kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = 0 kN/m¹
kniklengte l = 0.1 m
waterdrukverschil w = 0.2 m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = 1.00
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = 1.10
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen

		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	316.8	281.8 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	5155	4659 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	5155	4659 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	130140	117620 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	273294	247003 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	6652800	5916960 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	2	2

reductie factor corrosie = 0.90

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M _{Ed}	1592	M _{C,Rd}	1830	1654	0.87	0.96
dwarskracht	V _{Ed}	210	V _{pl,Rd}	2394	2056	0.09	0.10
buigend moment + dwarskracht	M _{Ed} ; V _{Ed}	1592; 210	M _{V,Rd}	1830	1654	0.87	0.96
dwarskracht plooi	V _{buc}	210	V _{b,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
normaalkracht	N _{Ed}	81	N _{pl,Rd}	11246	10002	0.01	0.01
knik	N _{buc} ; 1.15·M _{Ed}	0; 1831	χ·N _{pl,Rd} ; M _{C,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	M _{Ed} ; N _{Ed}	1592; 81	M _{N,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	M _{Ed} ; N _{Ed} ; V _{Ed}	1592; 210; 81	M _{N,V,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.87	0.96

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1A - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	23.4	26.0 -
doorsnedeklasse	klasse	=	2	2 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	21.9	25.5 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	355 N/mm ²

toetsing buigend moment			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	1830	1654 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.87	0.96 -

toetsing dwarskracht			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	11681	10032 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	2394	2056 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.09	0.10 -

toetsing buigend moment + dwarskracht			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	1830	1654 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.87	0.96 -

toetsing plooï dwarskracht			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
schuine lengte van lijf	c	=	539	539 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	39.0	45.4 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	nee	nee -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	n.v.t.	n.v.t. -
dwarskracht plooï sterkte	f_{Dw}	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing normaalkracht			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	11246	10002 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.01 -

toetsing knik			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
kritische normaalkracht	N_{cr}	=	269730367	243781827 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1B - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

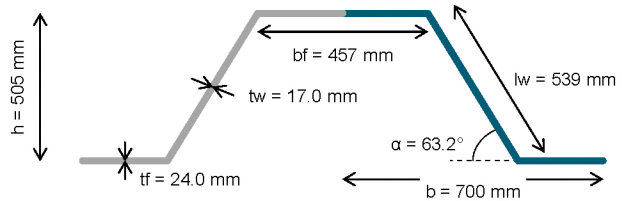
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 52-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 505 mm
flensdikte t_f = 24.0 mm
lijfdikte t_w = 17.0 mm
hoek lijf α = 63.2 °
weerstandsmoment W = 5155 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 130140 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 3168 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.46 m²/m
flensbreedte b_f = 457 mm
lijflengte l_w = 539 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = per jaar
levensduur T = 100 jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = 2.4 mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = 2.10E+08 kN/m²
volumiek gewicht γ = 7850 kg/m³
staalsoort = S430 GP
vloeigrens f_y = 430 N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = 1855 kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = 217 kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = 217 kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = 73 kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = 0 kN/m¹
kniklengte l = 0.1 m
waterdrukverschil w = 0.2 m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = 1.00
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = 1.10
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen

		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	3168	281.8 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	5155	4659 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	5155	4659 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	130140	117620 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	273294	247003 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	6652800	5916960 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	2	2

reductie factor corrosie = 0.90

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	1855	$M_{C,Rd}$	2217	2003	0.84	0.93
dwarskracht	V_{Ed}	217	V_{pRd}	2900	2491	0.07	0.09
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	1855; 217	$M_{V,Rd}$	2217	2003	0.84	0.93
dwarskracht plooi	V_{buc}	217	V_{bRd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
normaalkracht	N_{Ed}	73	N_{pRd}	13622	12116	0.01	0.01
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 2133	$\chi \cdot N_{pRd}; M_{C,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	1855; 73	$M_{N,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	1855; 217; 73	M_{NVRd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.84	0.93

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1B - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.739	0.739 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	25.8	28.6 -
doorsnedeklasse	klasse	=	2	2 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	19.9	23.1 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	430	430 N/mm ²

toetsing buigend moment

rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	2217	2003 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.84	0.93 -

toetsing dwarskracht

afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	11681	10032 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	2900	2491 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.07	0.09 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	2217	2003 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.84	0.93 -

toetsing plooï dwarskracht

schuine lengte van lijf	c	=	539	539 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	42.9	49.9 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	nee	nee -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	n.v.t.	n.v.t. -
dwarskracht plooï sterkte	f_{bw}	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing normaalkracht

rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	13622	12116 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.01 -

toetsing knik

kritische normaalkracht	N_{cr}	=	269730367	243781827 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1C - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

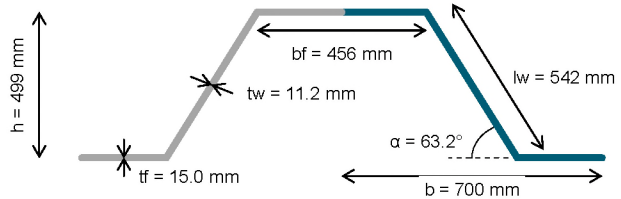
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 36-700N**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 499 mm
flensdikte t_f = 15.0 mm
lijfdikte t_w = 11.2 mm
hoek lijf α = 63.2 °
weerstandsmoment W = 3590 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 89610 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 215.9 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.47 m²/m
flensbreedte b_f = 456 mm
lijflengte l_w = 542 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort = **S390 GP**
vloeigrens f_y = **390** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **1181** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **180** kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = **180** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **49** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	215.9	180.6 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	3590	3071 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	3590	3071 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	89610	76665 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	188181	160996 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	4533900	3793020 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	2	3 -

reductie factor corrosie = **0.86** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	1181	$M_{C,Rd}$	1400	1198	0.84	0.99
dwarskracht	V_{Ed}	180	V_{plRd}	1744	1370	0.10	0.13
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	1181; 180	$M_{V;Rd}$	1400	1198	0.84	0.99
dwarskracht plooi	V_{buc}	180	$V_{b;Rd}$	n.v.t.	1240	n.v.t.	0.15
normaalkracht	N_{Ed}	49	$N_{pl;Rd}$	8420	7044	0.01	0.01
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 1358	$\chi \cdot N_{pl;Rd}; M_{C;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	1181; 49	$M_{N;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	1181; 180; 49	$M_{N;V;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
maatgevende unity check =						0.84	0.99

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1C - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.776	0.776 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	39.1	46.6 -
doorsnedeklasse	klasse	=	2	3 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	31.6	40.2 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	390	390 N/mm ²

toetsing buigend moment

rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	1400	1198 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.84	0.99 -

toetsing dwarskracht

afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	7744	6085 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1744	1370 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.10	0.13 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	1400	1198 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.84	0.99 -

toetsing plooï dwarskracht

schuine lengte van lijf	c	=	542	542 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	62.4	79.4 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	nee	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	n.v.t.	0.92 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{Dw}	=	n.v.t.	204 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	n.v.t.	1240 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	0.15 -

toetsing normaalkracht

rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	8420	7044 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.01 -

toetsing knik

kritische normaalkracht	N_{cr}	=	185727203	158897069 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1D - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

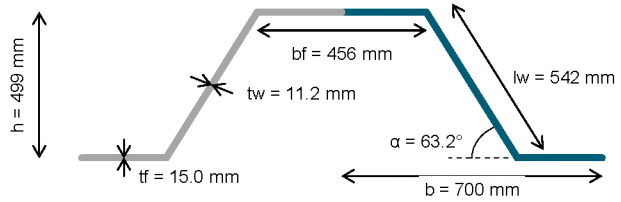
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 36-700N**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 499 mm
flensdikte t_f = 15.0 mm
lijfdikte t_w = 11.2 mm
hoek lijf α = 63.2 °
weerstandsmoment W = 3590 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 89610 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 215.9 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.47 m²/m
flensbreedte b_f = 456 mm
lijflengte l_w = 542 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = per jaar
levensduur T = 100 jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = 0.012 mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = 2.4 mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = 2.10E+08 kN/m²
volumiek gewicht γ = 7850 kg/m³
staalsoort = S390 GP
vloeigrens f_y = 390 N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = 1189 kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = 190 kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = 190 kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = 63 kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = 0 kN/m¹
kniklengte l = 0.1 m
waterdrukverschil w = 0.2 m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = 1.00
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = 1.10
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	215.9	180.6 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	3590	3071 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	3590	3071 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	89610	76665 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	188181	160996 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	4533900	3793020 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	2	3 -

reductie factor corrosie = 0.86 -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	1189	$M_{C,Rd}$	1400	1198	0.85	0.99
dwarskracht	V_{Ed}	190	V_{plRd}	1744	1370	0.11	0.14
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	1189; 190	$M_{V;Rd}$	1400	1198	0.85	0.99
dwarskracht plooi	V_{buc}	190	$V_{b;Rd}$	n.v.t.	1240	n.v.t.	0.15
normaalkracht	N_{Ed}	63	$N_{pl;Rd}$	8420	7044	0.01	0.01
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 1367	$\chi \cdot N_{pl;Rd}; M_{C;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	1189; 63	$M_{N;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	1189; 190; 63	$M_{N;V;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.85	0.99

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1D - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.776	0.776 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	39.1	46.6 -
doorsnedeklasse	klasse	=	2	3 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	31.6	40.2 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	390	390 N/mm ²

toetsing buigend moment

rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	1400	1198 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.85	0.99 -

toetsing dwarskracht

afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	7744	6085 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1744	1370 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.11	0.14 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	1400	1198 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.85	0.99 -

toetsing plooï dwarskracht

schuine lengte van lijf	c	=	542	542 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	62.4	79.4 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	nee	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	n.v.t.	0.92 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{Dw}	=	n.v.t.	204 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	n.v.t.	1240 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	0.15 -

toetsing normaalkracht

rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	8420	7044 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.01 -

toetsing knik

kritische normaalkracht	N_{cr}	=	185727203	158897069 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1E - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

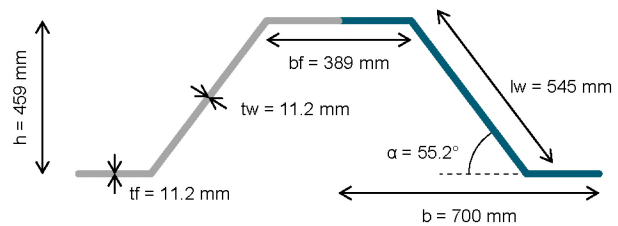
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 24-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 459 mm
flensdikte t_f = 11.2 mm
lijfdikte t_w = 11.2 mm
hoek lijf α = 55.2 °
weerstandsmoment W = 2430 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 55820 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 174.1 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.38 m²/m
flensbreedte b_f = 389 mm
lijflengte l_w = 545 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort = **S355 GP**
vloeigrens f_y = **355** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **633** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **105** kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = **105** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **51** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	174.1	141.0 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	2430	1994 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	2430	1994 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	55820	45796 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	117222	96173 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	3656100	2960580 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	2	3 -

reductie factor corrosie = **0.82** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
<i>belasting(combinatie)</i>	<i>symbool</i>	<i>waarde</i>	<i>symbool</i>	<i>intieel</i>	<i>gecorrodeerd</i>	<i>intieel</i>	<i>gecorrodeerd</i>
buigend moment	M _{Ed}	633	M _{C,Rd}	863	708	0.73	0.89
dwarskracht	V _{Ed}	105	V _{plRd}	1468	1154	0.07	0.09
buigend moment + dwarskracht	M _{Ed} ; V _{Ed}	633; 105	M _{V,Rd}	863	708	0.73	0.89
dwarskracht plooi	V _{buc}	105	V _{b,Rd}	n.v.t.	1088	n.v.t.	0.10
normaalkracht	N _{Ed}	51	N _{plRd}	6181	5005	0.01	0.01
knik	N _{buc} ; 1.15·M _{Ed}	0; 728	χ·N _{plRd} ; M _{C,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	M _{Ed} ; N _{Ed}	633; 51	M _{N,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	M _{Ed} ; N _{Ed} ; V _{Ed}	633; 105; 51	M _{NV,Rd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.73	0.89

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1E - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	42.7	54.3 -
doorsnedeklasse	klasse	=	2	3 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	28.2	35.9 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	355 N/mm ²

toetsing buigend moment

rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	863	708 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.73	0.89 -

toetsing dwarskracht

afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	7165	5629 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1468	1154 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.07	0.09 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	863	708 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.73	0.89 -

toetsing plooï dwarskracht

schuine lengte van lijf	c	=	545	545 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	59.8	76.2 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	nee	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	n.v.t.	0.88 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{Dw}	=	n.v.t.	193 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	n.v.t.	1088 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	0.10 -

toetsing normaalkracht

rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	6181	5005 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.01 -

toetsing knik

kritische normaalkracht	N_{cr}	=	115693477	94918509 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **sectie 1E - onverankerde damwand - faalkansruimteverschuiving**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

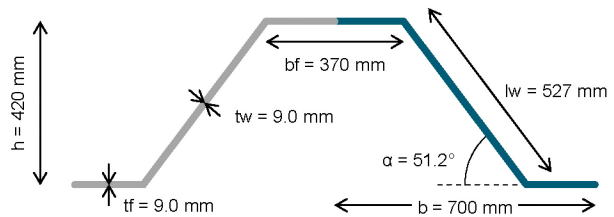
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 18-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 420 mm
flensdikte t_f = 9.0 mm
lijfdikte t_w = 9.0 mm
hoek lijf α = 51.2 °
weerstandsmoment W = 1800 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 37800 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 139.2 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.33 m²/m
flensbreedte b_f = 370 mm
lijflengte l_w = 527 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort **S355 GP**
vloeigrens f_y = **355** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **397** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **77** kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = **77** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **66** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	139.2	107.3 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	1800	1413 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	1800	1413 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	37800	29671 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	79380	62309 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	2923200	2252880 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	3	4 -

reductie factor corrosie = **0.78** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	397	$M_{C,Rd}$	639	461	0.62	0.86
dwarskracht	V_{Ed}	77	$V_{pl,Rd}$	1083	731	0.07	0.11
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	397; 77	$M_{V,Rd}$	639	461	0.62	0.86
dwarskracht plooi	V_{buc}	77	$V_{b,Rd}$	1080	557	0.07	0.14
normaalkracht	N_{Ed}	66	$N_{pl,Rd}$	4942	3503	0.01	0.02
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 456	$\chi \cdot N_{pl,Rd}; M_{C,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	397; 66	$M_{N,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	397; 77; 66	$M_{N,V,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.62	0.86

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1E - onverankerde damwand - faalkansruimteverschuiving**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	50.5	68.8 -
doorsnedeklasse	klasse	=	3	4 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	327 N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	33.7	46.0 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	327 N/mm ²

toetsing buigend moment

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.62	0.86 -

toetsing dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	5284	3875 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1083	731 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.07	0.11 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.62	0.86 -

toetsing plooï dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
schuine lengte van lijf	c	=	527	527 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	72.0	98.2 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	ja	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	0.834	1.09 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{bw}	=	204	144 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	1080	557 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.07	0.14 -

toetsing normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	4942	3503 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.01	0.02 -

toetsing knik

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
kritische normaalkracht	N_{cr}	=	78344920	61496836 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N+V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1F - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

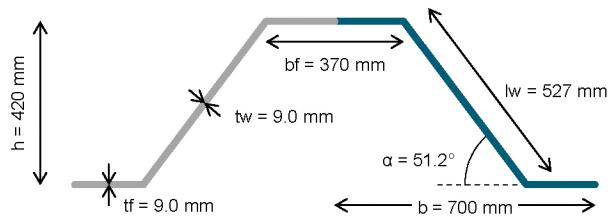
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 18-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 420 mm
flensdikte t_f = 9.0 mm
lijfdikte t_w = 9.0 mm
hoek lijf α = 51.2 °
weerstandsmoment W = 1800 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 37800 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 139.2 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.33 m²/m
flensbreedte b_f = 370 mm
lijflengte l_w = 527 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort = **S355 GP**
vloeigrens f_y = **355** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **51** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **29** kN/m¹
dwarskracht (ploo) V_{buc} = **29** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **161** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	139.2	107.3 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	1800	1413 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	1800	1413 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	37800	29671 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	79380	62309 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	2923200	2252880 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	3	4 -

reductie factor corrosie = **0.78** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	51	$M_{C,Rd}$	639	461	0.08	0.11
dwarskracht	V_{Ed}	29	V_{plRd}	1083	731	0.03	0.04
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	51; 29	$M_{V;Rd}$	639	461	0.08	0.11
dwarskracht ploo	V_{buc}	29	$V_{b;Rd}$	1080	557	0.03	0.05
normaalkracht	N_{Ed}	161	$N_{pl;Rd}$	4942	3503	0.03	0.05
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 58	$\chi \cdot N_{pl;Rd}; M_{C;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	51; 161	$M_{N;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	51; 29; 161	$M_{N;V;Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.08	0.11

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1F - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	50.5	68.8 -
doorsnedeklasse	klasse	=	3	4 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	327 N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	33.7	46.0 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	327 N/mm ²

toetsing buigend moment

rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.08	0.11 -

toetsing dwarskracht

afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	5284	3875 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1083	731 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.04 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.08	0.11 -

toetsing plooï dwarskracht

schuine lengte van lijf	c	=	527	527 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	72.0	98.2 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	ja	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	0.834	1.09 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{bw}	=	204	144 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	1080	557 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.05 -

toetsing normaalkracht

rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	4942	3503 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.05 -

toetsing knik

kritische normaalkracht	N_{cr}	=	78344920	61496836 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{cV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{pV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{NV,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1G - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

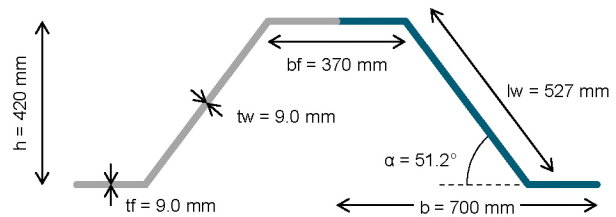
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 18-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 420 mm
flensdikte t_f = 9.0 mm
lijfdikte t_w = 9.0 mm
hoek lijf α = 51.2 °
weerstandsmoment W = 1800 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 37800 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 139.2 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.33 m²/m
flensbreedte b_f = 370 mm
lijflengte l_w = 527 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort **S355 GP**
vloeigrens f_y = **355** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **107** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **32** kN/m¹
dwarskracht (plooï) V_{buc} = **32** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **258** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte A	=	139.2	107.3 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment W_{el}	=	1800	1413 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment W_{pl}	=	1800	1413 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment I	=	37800	29671 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid EI	=	79380	62309 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid EA	=	2923200	2252880 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	3	4 -

reductie factor corrosie = **0.78** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	107	$M_{C,Rd}$	639	461	0.17	0.23
dwarskracht	V_{Ed}	32	$V_{pl,Rd}$	1083	731	0.03	0.04
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	107; 32	$M_{V,Rd}$	639	461	0.17	0.23
dwarskracht plooï	V_{buc}	32	$V_{b,Rd}$	1080	557	0.03	0.06
normaalkracht	N_{Ed}	258	$N_{pl,Rd}$	4942	3503	0.05	0.07
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 123	$\chi \cdot N_{pl,Rd}; M_{C,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	107; 258	$M_{N,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	107; 32; 258	$M_{N,V,Rd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.17	0.23

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1G - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	50.5	68.8 -
doorsnedeklasse	klasse	=	3	4 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	327 N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	33.7	46.0 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	327 N/mm ²

toetsing buigend moment

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.17	0.23 -

toetsing dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	5284	3875 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1083	731 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.04 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.17	0.23 -

toetsing plooï dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
schuine lengte van lijf	c	=	527	527 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	72.0	98.2 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	ja	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	0.834	1.09 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{bw}	=	204	144 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	1080	557 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.06 -

toetsing normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	4942	3503 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.05	0.07 -

toetsing knik

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
kritische normaalkracht	N_{cr}	=	78344920	61496836 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{c,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{p,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1H - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

TITEL

Berekening van (on)gecorrodeerde eigenschappen van een damwand en volledige doorsnede toetsing conform NEN-EN 1993-5.

UITGANGSPUNTEN

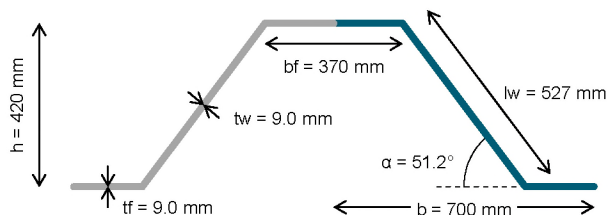
algemeen

taal = NL

sheet pile properties

type damwand **AZ 18-700**

profiel type [Z / U] = Z
profiel breedte b = 700 mm
profiel hoogte h = 420 mm
flensdikte t_f = 9.0 mm
lijfdikte t_w = 9.0 mm
hoek lijf α = 51.2 °
weerstandsmoment W = 1800 cm³/m¹
traagheidsmoment I = 37800 cm⁴/m¹
doorsnede oppervlakte A = 139.2 cm²/m¹
verfoppervlak (eenzijdig) A_c = 1.33 m²/m
flensbreedte b_f = 370 mm
lijflengte l_w = 527 mm



corrosie eigenschappen

berekening corrosie = **per jaar**
levensduur T = **100** jaar
corrosie voorzijde $u_{c,1}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie achterzijde $u_{c,2}$ = **0.012** mm/jaar
corrosie totaal $u_{c,tot}$ = **2.4** mm/100 jaar

staal eigenschappen

E-modulus E = **2.10E+08** kN/m²
volumiek gewicht γ = **7850** kg/m³
staalsoort = **S355 GP**
vloeigrens f_y = **355** N/mm²

belastingen

buigend moment M_{Ed} = **116** kNm/m¹
dwarskracht V_{Ed} = **34** kN/m¹
dwarskracht (plooi) V_{buc} = **34** kN/m¹
normaalkracht N_{Ed} = **278** kN/m¹
normaalkracht (knik) N_{buc} = **0** kN/m¹
kniklengte l = **0.1** m
waterdrukverschil w = **0.2** m

factoren

partiële factor weerstand dwarsdoorsnede γ_{M0} = **1.00**
partiële factor voor instabiliteit γ_{M1} = **1.10**
-- --
-- --

BEREKENINGEN

eigenschappen

		intieel	gecorrodeerd
doorsnede oppervlakte	A	139.2	107.3 cm ² /m ¹
elastisch weerstandsmoment	W_{el}	1800	1413 cm ³ /m ¹
plastisch weerstandsmoment	W_{pl}	1800	1413 cm ³ /m ¹
traagheidsmoment	I	37800	29671 cm ⁴ /m ¹
buigstijfheid	EI	79380	62309 kN/m ² /m ¹
axiale stijfheid	EA	2923200	2252880 kN/m ¹
doorsnedeklasse	klasse	3	4 -

reductie factor corrosie = **0.78** -

SAMENVATTING DOORSNEDE TOETSING

toetsing	belasting		weerstand			unity check	
belasting(combinatie)	symbool	waarde	symbool	intieel	gecorrodeerd	intieel	gecorrodeerd
buigend moment	M_{Ed}	116	M_{CRd}	639	461	0.18	0.25
dwarskracht	V_{Ed}	34	V_{pLRd}	1083	731	0.03	0.05
buigend moment + dwarskracht	$M_{Ed}; V_{Ed}$	116; 34	M_{VRd}	639	461	0.18	0.25
dwarskracht plooi	V_{buc}	34	V_{bLRd}	1080	557	0.03	0.06
normaalkracht	N_{Ed}	278	N_{pLRd}	4942	3503	0.06	0.08
knik	$N_{buc}; 1.15 \cdot M_{Ed}$	0; 134	$\chi \cdot N_{pLRd}; M_{CRd}$	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht	$M_{Ed}; N_{Ed}$	116; 278	M_{NRd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
buigend moment + normaalkracht + dwarskracht	$M_{Ed}; N_{Ed}; V_{Ed}$	116; 34; 278	M_{NVRd}	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
						↓	↓
maatgevende unity check =						0.18	0.25

Project **Planuitwerking dijkversterking Den Oever - Den Helder**
Projectcode **138945**
Onderwerp **Sectie 1H - onverankerde damwand**
Adviseur **ir. J.J.M. Sluis**
Datum **20-05-2025**

VOLLEDIGE DOORSNEDE TOETSING

doorsnedeklasse

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
factor afhankelijk van vloeigrens	ε	=	0.814	0.814 -
slankheid flens	$(b_f/t_f)/\varepsilon$	=	50.5	68.8 -
doorsnedeklasse	klasse	=	3	4 -
gereduceerde vloeigrens om klasse 3 te krijgen*	$f_{y,red}$	=	n.v.t.	327 N/mm ²

* alleen voor klasse 4 damwanden

lokale effecten door waterdruk

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
dimensieloze factor slankheid profiel	$(b/t_{min})\varepsilon$	=	33.7	46.0 -
reductiefactor voor verschil waterdruk	ρ_p	=	1.000	1.000 -
gereduceerde vloeigrens voor waterdruk	$f_{y,red}$	=	355	327 N/mm ²

toetsing buigend moment

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde momentcapaciteit	$M_{c,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.18	0.25 -

toetsing dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
afschuifoppervlakte lijf	A_v	=	5284	3875 mm ² /m
rekenwaarde dwarskrachtcapaciteit	$V_{p,Rd}$	=	1083	731 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.05 -

toetsing buigend moment + dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	nee	nee -
reductiefactor door dwarskracht	ρ	=	0.000	0.000 -
gereduceerde momentcapaciteit	$M_{V,Rd}$	=	639	461 kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.18	0.25 -

toetsing plooï dwarskracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
schuine lengte van lijf	c	=	527	527 mm
slankheid lijf	$(c/t_w)/\varepsilon$	=	72.0	98.2 -
controle dwarskracht plooïweerstand?	$(c/t_w)/\varepsilon > 72$	=	ja	ja -
relatieve slankheid lijf	λ_w	=	0.834	1.09 -
dwarskracht plooï sterkte	f_{bw}	=	204	144 N/mm ²
dwarskracht plooï capaciteit	$V_{b,Rd}$	=	1080	557 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.03	0.06 -

toetsing normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
rekenwaarde normaalkracht capaciteit	$N_{p,Rd}$	=	4942	3503 kN/m ¹
unity check (≤ 1)		=	0.06	0.08 -

toetsing knik

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
kritische normaalkracht	N_{cr}	=	78344920	61496836 kN/m ¹
unity check kritische normaalkracht	N_{buc}/N_{cr}	=	0.000	0.000 -
controle knik?	$N_{buc}/N_{cr} > 0.04$	=	nee	nee -
slankheid dwarsdoorsnede	λ	=	n.v.t.	n.v.t. -
imperfectiefactor (knikkromme d)	α	=	n.v.t.	n.v.t. -
factor $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$	Φ	=	n.v.t.	n.v.t. -
reductiefactor voor knikvorm	χ	=	n.v.t.	n.v.t. -
buckling check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
normaalkracht verwaarlozen?		=	ja	ja -
(gereduceerde) momentcapaciteit	$M_{N,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -

toetsing buigend moment + normaalkracht + shear force

			<u>intieel</u>	<u>gecorrodeerd</u>
reductie door dwarskracht nodig?	$V_{Ed} > 50\% V_{p,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. -
(gereduceerde) vloeigrens (door V)	$f_{y,V}$	=	n.v.t.	n.v.t. N/mm ²
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V)	$M_{c,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
(gereduceerde) normaalkracht capaciteit (door V)	$N_{p,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kN/m ¹
(gereduceerde) momentcapaciteit (door V+N)	$M_{N,V,Rd}$	=	n.v.t.	n.v.t. kNm/m ¹
unity check (≤ 1)		=	n.v.t.	n.v.t. -