

PER E-MAIL

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Postbus 20951
2500 EZ 'S-GRAVENHAGE

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
24 februari 2022	11206803-009-BGS-0001	1 van 31
Contactpersoon	Doorkiesnummer	E-mail

Onderwerp

Second opinion technische restlevensduur aangepaste stalen damwandconstructie waterzijde EMK-terrein

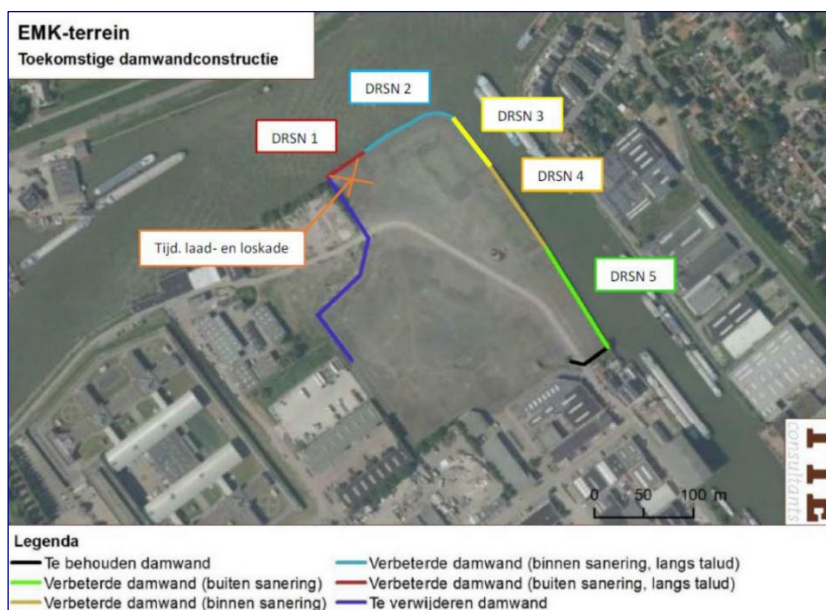
Geachte heer ,

Hierbij ontvangt u de resultaten van het onderzoek naar de beantwoording van de door u gestelde vraag met betrekking tot de restlevensduur van de stalen damwand aan de waterzijde van het EMK-terrein na afronding van de voorgestelde aanpassingen.

1 Vraagstelling

De technische restlevensduur van de bestaande stalen damwandconstructies van het EMK-terrein te Krimpen aan den IJssel dient naar minimaal 50 jaar te worden gebracht. Dura Vermeer gaat de hiervoor benodigde werkzaamheden aan de bestaande damwandconstructies uitvoeren. De werkzaamheden bestaan voornamelijk uit het vervangen van de bestaande verankering door groutankers, het uitvoeren van grondvervangingen met zand en licht ophoogmateriaal (saneringen) en het verlagen van het maaiveld langs de IJssel. De te verbeteren damwanden liggen langs de IJssel en de Sliksloot, zie Figuur 1. Voor de benodigde werkzaamheden is door Dura Vermeer een ontwerp gemaakt en dit is door het Ingenieursbureau Rotterdam gecontroleerd.

Het dossier over de stalen damwandconstructies van de afgelopen 30 jaar beslaat vele duizenden pagina's verdeeld over 43 sub-dossiers met onderzoeken. De beheersing van het geïsoleerde, ernstig verontreinigde EMK-terrein, houdt de gemoederen al vele decennia bezig met als meest recente toevoeging een reeks van Kamervragen. Alhoewel het Ministerie van IenW bij monde van de Staatssecretaris de recente Kamervragen naar tevredenheid kon beantwoorden wil ze gesteld staan voor eventuele vervolgvragen en vraagt Deltares om, het gehele dossier overziende, een risico gestuurde beoordeling over de betrouwbaarheid van de damwandconstructies gedurende de restlevensduur van 50 jaar.



Figuur 1 Situatie damwandconstructie [3]

Onderzoeksvraag

Heeft de bestaande stalen damwandconstructie van het EMK-terrein na het uitvoeren van de door Dura Vermeer voorgestelde werkzaamheden een minimale technische restlevensduur van 50 jaar waarbinnen de constructieve betrouwbaarheid voldoet aan de wettelijke vereisten conform NEN8700:2020?

2 Aanpak

In bijlage A is een overzicht opgenomen van de door het Ministerie van IenW verstrekte gegevens waarop deze second opinion is gebaseerd. De onderbouwing met berekeningen van de voorgestelde maatregelen wordt hierna als “het ontwerp” aangeduid en staat beschreven in [24]. Als eerste zal in H3 worden ingegaan op het in het ontwerp aangehouden beoordelingsniveau. Hierna wordt in H4 onderzocht of er voldoende informatie is verzameld voor het ontwerp, of de relevante bezwijkmechanismen beoordeeld zijn en de relevante rekenfasen daarbij zijn gehanteerd. Vervolgens wordt er in H5 nader ingegaan op de key riskdrivers voor stalen damwanden: waterstanden, degradatie en damwandreststerkte. In Tabel 1 is een revisie overzicht opgenomen met de wijzigingen van deze brief.

Tabel 1 Revisie overzicht

Versie	Datum	Wijzigingen
0.2 Concept ¹	31-08-2021	-n.v.t.- Eerste versie op basis van ontwerpberekeningen [2] t/m [4]
2.0 Concept ¹	08-09-2021	1) Mechanisme verticaal evenwicht en corrosie van de ankerbuis zijn wel beschouwd. 2) Enkele typo's. 3) Toevoeging Tabel 1 met versies en §6.3 vooruitzicht. 4) Toevoeging hoge buitenwaterstanden + toelichting
3.0 Concept ¹	21-12-2021	Ontwerp is herberekening [19] op basis van aanvullend onderzoek en ontwerpaanpassing langs de Sliksloot. 1) Bijlage C, Hydra-NL berekening hoge buitenwaterstanden 2) Toevoeging Bijlage F Plastische rotatiecapaciteit
4.0 Definitief	15-02-2022	Ontwerp is [24] update van de herberekening voor de situatie met hoge buitenwaterstand en uit de PLAXIS-berekening blijkt dat de optredende momenten lager zijn dan het volplastisch moment
5.0 Definitief	24-02-2022	Referentieperiode gebruiksfase gelijkgesteld aan 50 jaar restlevensduur berekende waterstanden 0,03 m lager. Conclusie ongewijzigd: voldoet

¹ Conceptversies van documenten zijn uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van een concept kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend

3 Beoordelingsniveau bestaande damwandconstructie

Om aan te tonen dat bouwwerken op het gebied van constructieve veiligheid voldoen aan de eisen van de Nederlandse bouwregelgeving zijn 2 series van normen in Nederland beschikbaar. De NEN-EN 1990-serie [5] doet dat voor de beoordeling van nieuwbouw en de NEN 8700-serie [1] doet dat voor de beoordeling van bestaande bouw. De NEN 8700-serie is bedoeld te worden gebruikt in samenhang met de NEN1990 serie. De NEN-8700-serie geeft met aanvullende en vervangende bepalingen een verbijzondering voor de beoordeling van bestaande bouw. De NEN 8707 [6] is de norm voor de beoordeling van bestaande geotechnische constructies binnen de NEN 8700-serie.

In Tabel 2 zijn voor de gevolgklasse CC1b t/m CC3 de minimale betrouwbaarheidsindicie, β en minimale referentieperioden, T_{ref} weergegeven voor nieuwbouw en verbouw van een bestaande constructie waarvan de omgevingsvergunning onder bouwbesluit 2003 of daarvoor is afgegeven. Tevens dient T_{ref} ook minimaal gelijk te zijn aan de restlevensduur.

Tabel 2 Betrouwbaarheidsindicie en referentieperiode voor nieuwbouw en verbouw van een bestaande constructie waarvan de omgevingsvergunning onder bouwbesluit 2003 verleend of daarvoor

Gevolg- en betrouwbaarheids-klasse	NEN1990-nieuwbouw minimum waarden		NEN8707-verbouw Bouwbesluit 2003 en daarvoor minimumwaarden	
	β	T_{ref}	β	T_{ref}
	[-]	[jaar]	[-]	[jaar]
RC1/CC1	3,3	50	2,8	15
RC2/CC2	3,8	50	3,1	15
RC3/CC3	4,3	50	3,6	15

Op basis van de verstrekte gegevens plaatst Deltares de bestaande stalen damwand in CC2 omdat:

- CC3 is bedoeld voor andere situaties waar bijvoorbeeld meer dan 500 mensen gelijktijdig gevaar lopen zoals bij het instorten van het dak van een groot stadion.
- CC1 klasse wordt daarentegen te licht bevonden. Deze is bedoeld voor gewone kadeconstructies waar een functionele herverdelingscapaciteit is.

De aanpassing van de stalen damwandconstructie uit 1990 dient minimaal te worden beoordeeld op verbouw-niveau van een constructie waarvan de omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor. In Tabel 2 zijn de van toepassing zijnde waarden met geel gemarkeerd.

De ontwerpberekeningen [24] voor de bouwfase en de gebruiksfase zijn uitgevoerd met de programma's D-Sheet Piling en PLAXIS.

D-Sheet-Piling

In dit programma kan op eenvoudige wijze een berekening voor nieuwbouw worden uitgevoerd voor de van toepassing zijnde risicoklasse (RC/CC). Het kiezen voor een berekening voor een bestaande constructie is ook mogelijk maar dan dienen handmatig de set partiële factoren te worden aangepast aan de waarden uit de NEN 8707. In de ontwerpberekeningen [24] is gebruik gemaakt van de handmatige invoer van de partiële factoren set voor verbouw CC2. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een restlevensduur t_{rest}

= 50 jaar. Voor één van de variabelen, namelijk de lage buitenwaterstand in de gebruiksfase, is deze gebaseerd op een $T_{ref} = 15 \text{ jaar}^2$ in plaats van 50 jaar.

PLAXIS

In dit programma kan op eenvoudige wijze een berekening voor zowel bestaande als nieuwbouw worden uitgevoerd voor de va toepassing zijnde risicoklasse (RC/CC). In de ontwerpberekeningen [25] is gebruik gemaakt van designapproach optie waarbij handmatig de partiele factoren voor de "NEN 8707:2018 - RC 2 verbouw (voor 2003)" zijn ingevoerd. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een restlevensduur $t_{rest} = 50 \text{ jaar}$. Voor één van de variabelen, namelijk de lage buitenwaterstand in de gebruiksfase, is deze gebaseerd op een $T_{ref} = 15 \text{ jaar}^2$ in plaats van 50 jaar.

In Tabel 3 is het in het ontwerp toegepaste beoordelingsniveau weergegeven en getoetst of dit beoordelingsniveau effectief voldoet aan de minimale eisen $\beta = 3,1$ en $T_{ref} = 15 \text{ jaar}$ voor CC2-verbouw. Hierbij is gekeken naar de indeling bij de uitgangspunten van het ontwerp en als tweede is geverifieerd of het daadwerkelijk in de berekeningen toegepaste beoordelingsniveau voldoet. Uit de toetsing blijkt dat het beoordelingsniveau als ontwerpuitgangspunten voldoen en zijn toegepast in de D-Sheet Piling en PLAXIS-berekeningen.

De conclusie is dat het in de berekeningen toegepaste beoordelingsniveau voldoet.

Tabel 3 Beoordeling beoordelingsniveau van het ontwerp [19]

fase	Ontwerpuitgangspunt beoordelingsniveau				Voldoen uitgangspunten aan beoordelings- niveau CC2- verbouw?	Voldoet het daadwerkelijke in de berekeningen toegepaste beoordelingsniveau?	
	Indeling	β [-]	t_{rest} [jaar]	T_{ref} [jaar]		D-sheet Piling	PLAXIS
Bouwfase	CC2-verbouw	3,1	nvt	15	Ja	Ja	Ja
Gebruiksfase	CC2-verbouw	3,1	50	15	Nee ³	Nee ³	Nee ³

4 Volledigheid gegevens en berekeningen

4.1 Volledigheid verzamelde gegevens

In bijlage B Tabel B1 is een overzicht opgenomen met de toetsing van de verzamelde gegevens op volledigheid. Hieruit blijkt dat deze volledig is.

4.2 Volledigheid beoordeelde mechanismen

In bijlage B Tabel B2 is een overzicht opgenomen met de toetsing van de in het ontwerp beoordeelde mechanismen op volledigheid. In Bijlage B Tabel B3 is een overzicht opgenomen van de toetsing van overige relevante aspecten bij de beoordeling van mechanismen op volledigheid. Uit deze toetsing blijkt dat alle mechanismen zijn beoordeeld.

4.3 Volledigheid meegenomen faseringen in damwandbeoordeling

De uitgevoerde damwandberekeningen zijn getoetst op volledigheid van de meegenomen fasen. Hieruit blijkt dat de meegenomen fasering volledig is.

² De referentieperiode van 15 jaar is feitelijk op aangeven van Deltares gehanteerd, deze stond in de eerdere versie van de voorliggende brief.

³ Met oranje aangegeven omdat de afwijking slechts leidt tot een 0,03 m te hoge waterstand wat geen significante invloed heeft op de berekeningsresultaten [24].

5 Waterstanden, degradatie en damwandreststerkte

5.1 Waterstanden

Het waterdrukverschil over de damwand heeft significante invloed op de krachtswerking in de een damwandconstructie. De bepaling van rekenwaarden van de waterstanden is een bekende onzekerheidsbron⁴. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen [24] aangehouden karakteristieke en rekenwaarde van de lage buitenwaterstand voor de bouw- en gebruiksfase. Voor de bouw- en gebruiksfase bedragen deze respectievelijk NAP -0,94 m en NAP -1,13 m. In deze situatie met ontgravingen tijdens de bouwfase is ook de hoge waterstand van belang daarom is ook nader gekeken naar de in de bouwfase aangehouden karakteristieke waarde van NAP +3,15 m en rekenwaarde van NAP +3,20 m.

Er is een nadere analyse naar de lage en hoge buitenwaterstanden uitgevoerd, zie Bijlage C waarvan het resultaat is opgenomen in Tabel 4. Uit de analyse volgt dat:

- De aangehouden waarden voor de lage buitenwaterstand in de gebruiksfase voldoen niet aan de afgeleide vereiste waarden volgens de NEN8707, ze zijn 0,03 m hoger.
- De in het ontwerp aangehouden waarden voor de hoge en lage waarden voor de buitenwaterstand in de bouwfase voldoen aan de afgeleide vereiste waarden volgens de NEN8707.

Tabel 4 Lage en hoge waarden van de buitenwaterstand

Type buiten-waterstand	Fase	Type waarde	Ontwerp [m NAP]	Vereist ⁵ [m NAP]	Voldoet de ontwerpwaarde?
Lage	Bouwfase	Karakteristieke waarde	-0,94	-0,94	Ja
		Rekenwaarde	-1,13	-1,13	Ja
	Gebruiksfase	Karakteristieke waarde	-0,94 ⁶	-0,97	Nee ³
		Rekenwaarde	-1,13 ⁶	-1,16	Nee ³
Hoge	Bouwfase	Karakteristieke waarde	+3,15	+2,98	Ja
		Rekenwaarde	+3,20	+3,20	Ja

5.2 Degradatie

De degradatie van een bestaande damwandconstructie heeft een significante invloed op de constructieve sterkte. De bepaling van dikteafname is een bekende onzekerheidsbron. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen aangehouden dikteafname van 3,8 mm van de damwand en de 3,0 mm van het anker [24].

Er is een nadere analyse naar de dikteafname volgens de laatste inzichten [8] uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van de in 2013 [9] en 2019 [11] uitgevoerde diktemetingen, zie Bijlage D. De resultaten van de in Bijlage D opgenomen analyse zijn opgenomen in Tabel 5. Uit Tabel 5 blijkt dat de in het ontwerp aangehouden dikteafnamen voldoen.

⁴ Deze onzekerheid is enerzijds het gevolg van het ontbreken van een degelijke beschrijving in [18] hoe deze waarden goed kunnen worden afgeleid en anderzijds wordt langdurige bouwphase soms van waarden uitgegaan die van toepassing zijn voor bijvoorbeeld een kortstondige situatie die alleen wordt uitgevoerd bij een bepaalde waterstandsvoorspelling.

⁵ Volgens NEN8707 [6]

⁶ Deze waarde is gebaseerd op een referentieperiode van 15 jaar is feitelijk op aangeven van Deltares gehanteerd, deze stond in de eerdere versie van de voorliggende brief.

Tabel 5 Dikte afname aan het einde van de restlevensduur in 2072⁷

Onderdeel	Zone	grond- conditie type	Ontwerp [mm]	Vereist ⁸ [mm]	Voldoet de ontwerpwaarde?
Damwand	Boven bodemniveau	II	3,8 ⁹	3,8	Ja
	Bodemniveau tot NAP -8 m	I		1,7	Ja
		II		3,2	Ja
	Beneden NAP -8 m	I		2,0	Ja
Verankering	Volle lengte	II	3,0	3,0	Ja

5.3 Damwandreststerkte

De constructieve sterkte van damwand heeft een significante invloed op de betrouwbaarheid van de damwandconstructie. De bepaling van de constructieve reststerkte van een bestaande damwand bij het optreden van een dikteafname een bekende onzekerheidsbron. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen aangehouden rekenwaarde van de volplastische momentcapaciteit van tijdens de bouwphase en aan het einde van 50 jaar restlevensduur van respectievelijk $M_{Rd} = 576$ kNm/m en $M_{Rd} = 454$ kNm/m.

Er is door Deltares een nadere analyse naar de rekenwaarde van de volplastische momentcapaciteit uitgevoerd die uitgaat van een de maximale rekenwaarde van dikteafname van 0,94 mm (bijlage E2) in de bouwphase en 3,8 mm aan het einde van de 50 jaar restlevensduur (zie Tabel 5). De resultaten van de in Bijlage E opgenomen analyse alsmede de maximale berekende momenten van het ontwerp [24] zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Toetsing berekende momenten

Rekenwaarde van de restmomentcapaciteit	Berekend moment [kNm/m]	Volplastische momentcapaciteit [kNm/m]	Voldoet berekend waarde?
Begin restlevensduur/bouwphase (2022)	563	572	ja
Einde restlevensduur (2072)	430	454	ja

Verder is er voor versie 3 van het voorliggende Deltares brief een analyse gemaakt naar de plastische rotatiecapaciteit welke is opgenomen in bijlage F. Uit deze analyse blijkt hoeveel plastische rotatie capaciteit er in het begin van de restlevensduur in 2022 en aan het einde van de restlevensduur in 2072 beschikbaar is. Echter uit de gepresenteerde resultaten van de D-Sheet Piling berekeningen voor doorsnede 1, 2 en 5 en de PLAXIS-berekeningen voor doorsnede 3 en 4 blijkt dat er geen plastische scharnieren ontstaan.

Uit Tabel 6 blijkt dat de maximaal berekende momenten in zowel de bouw- als de gebruiksfase lager zijn dan de volplastische momentcapaciteit, dat betekent dat het ontwerp voldoet.

5.4 Evaluatie

Alle getoetste aspecten van het ontwerp voldoen op een aspect na, er is in de gebruiksfase gerekend met een 0,03 m minder lage waterstand¹⁰ dan door Deltares in bijlage C.

Deltares beoordeeld dat dit verschil van 0,03 m geen significant effect heeft op de berekeningsresultaten. Dus de ontwerpberekening voldoet.

⁷ Uitgaande van uitvoer van de bouwwerkzaamheden in 2022 is het einde van de restlevensduur 2072.

⁸ Vereist voor een restlevensduur van 50 jaar volgens de laagste inzichten opgenomen in NEN6766 [8]

⁹ Deze waarde is over de volledige hoogte toegepast bij toetsing van de berekende momenten

6 Conclusie en aanbeveling

6.1 Conclusie

Er is aangetoond dat de bestaande stalen damwandconstructie van het EMK-terrein na het uitvoeren van de door Dura Vermeer voorgestelde werkzaamheden een minimale technische restlevensduur van 50 jaar heeft.

6.2 Aanbeveling

Voer conform de NEN6766 [8], minimaal eenmalig, ruim voor het einde van de restlevensduur uit volgens het CROW-protocol [15]. Hierbij kan gedacht worden aan een meting in 2060. Op basis van deze meting van de actuele staaldikte kan dan worden vastgesteld hoeveel jaar de werkelijke restlevensduur is. De verwachting is namelijk dat de restlevensduur gemiddeld genomen enige jaren langer zal zijn omdat de meting een deel van de onzekerheid, waar het huidige ontwerp rekening mee houdt, wegneemt.

Hoogachtend,

Bijlage(n)

- A. Verstreckte gegevens
- B. Beoordeling op volledigheid
- C. Waterstanden
- D. Corrosie
- E. Damwandreststerkte
- F. Plastische scharnieren

Referenties

- [1] NEN 8700:2011 + A1:2020, Beoordeling constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren - Grondslagen (bestaande bouw en verbouw), Nederland Normalisatie instituut, Delft, 2020
- [2] Uitgangspuntennotitie damwandberekening de saneringsfase (bestaand) + stabiliteit verbeterde damwand (gebruiksfase) - Bodemsanering, Bouwrijpmaken, Verbeterde damwandconstructie en Beheerfase EMK-terrein e.o. te Krimpen aan den IJssel, kenmerk 02R17197-00615 versie 2, Dura Vermeer, 12 februari 2020
- [3] DO-damwandberekening stabiliteit tijdens de saneringsfase (bestaand) + stabiliteit verbeterde damwand (gebruiksfase), 02R17197-00410, Dura Vermeer, 21 februari 2020
- [4] Krimpen a/d IJssel EMK-terrein, Ontwerprapport verankering referentie 20.020-BER-001, Jetmix, 18-06-2020
- [5] NEN-EN 1990 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp, inclusief nationale bijlage NB:2019, Nederlands Normalisatie Instituut
- [6] NEN 8707:2018 +C1:2020, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur - Geotechnische constructies, Nederland Normalisatie instituut, Delft, 2020
- [7] Herziene versie Vraagspecificatie deel 1 Bodemsanering, Bouwrijp maken, Verbeterde damwandconstructies en Beheerfase EMK-terrein e.o. te Krimpen aan den IJssel, Adviesbureau Geofox-Lexmond-TTE Vof, Tilburg, 7 juni 2018
- [8] NEN 6766 Corrosie stalen elementen in de ondergrond, Nederlands Normalisatie Instituut, 1 juli 2021
- [9] Damwandonderzoek aan de Schaardijk te Krimpen aan den IJssel, Resultaten geotechnisch onderzoek, documentnummer 02P003704-RG-01, INPIJN-BLOKPOEL Ingenieursbureau, 16 September 2013
- [10] Damwandinspectie Project 02R17197a BRM EMK terrein rapport versie 1.0 projectnummer 2019AV057, CivielTech, 11 maart 2019
- [11] Grondmechanisch onderzoek EMK-terrein te Krimpen a/d IJssel, projectnummer (12)10.692, Omegam, 24 februari 1997
- [12] Review ontwerpberoeeningen damwanden EMK-terrein Krimpen aan den IJssel, Document Nr.: 1018-0485-000, Fugro NL Land B.V., 11 januari 2019
- [13] Gewijzigde uitgangspunten damwand berekening, MEMO 1016-0627-001, Fugro, 13 april 2018
- [14] Inventarisatie beschikbare informatie voormalig EMK-terrein te Krimpen a/d IJssel, BMC-bodemconsult B.V., rapportnummer 990110, 10 september 2002
- [15] Protocol gemiddelde staaldiktebepaling van 6 aangrenzende stalen damwandplanken met ultrasone metingen, CROW, 1 juli 2021
- [16] Multibeam peiling Schaardijk - EMK terrein BMR Peildatum: 24-01-2019, Baars-CIPRO, 24 januari 2019
- [17] Onderbouwing buitenwaterstand NAP -0,85 m (1x per jaar), referentie 1020-16273.M02, Dura Vermeer, 22 januari 2020
- [18] NEN 9997-1 NEN 9997-1+C1:2017 Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, november 2017
- [19] Verbeteren damwandconstructie EMK terrein Damwandadvies, referentie 6421-199790-10-R01 versie 4, status definitief, Fugro, 06-12-2021
- [20] Nulsituatie waterbodemonderzoek Krimpen aan den IJssel, bijlage: Boorprofielen, Dura Vermeer, projectcode: P2021-1424, september 2021
- [21] Onderzoek stortsteen Hollandsche IJssel en Sliksloot referentie 21004 versie 1.1, 360survey B.V., 27-04-2021
- [22] Hydra-NL software, versie 2.7.1, Rijkswaterstaat WVL, november 2019
- [23] NEN-EN 1993-5 Eurocode 3 Ontwerp en berekening van staalconstructies Deel 5 Palen en damwanden C1:2009 en NB2012, Nederlands Normalisatie Instituut, 2008/2009/2012

- [24] Verbeteren damwandconstructie EMK terrein Damwandadvies, referentie 6421-199790-10-R01 versie 5, status definitief, Fugro, 28-01-2022
- [25] PLAXIS file "data.p2dx" van 20-01-2022 van de berekening "6421-199790 Damwand EMK terrein Krimpen ad IJssel_DRSN 4_BHF_v5.0" Fugro

Bijlagen

A Verstrekte gegevens

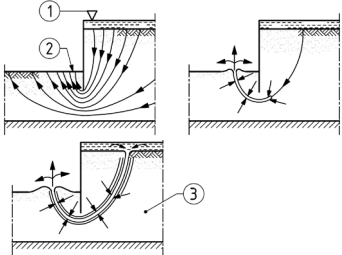
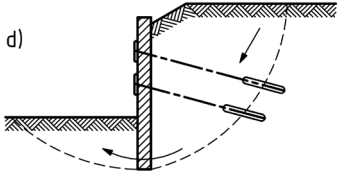
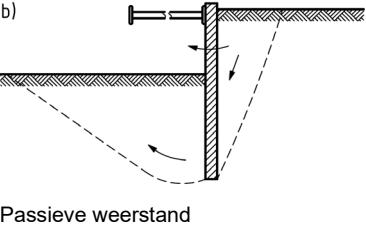
datum	titel	kenmerk	versie	opsteller	opdrachtgever	toelichting
1997-02-24	grondmechanisch onderzoek	(12)10.692	--	Omegan	Stichting Nazorg Afvalverwijderingsinrichtingen en aanverwante locaties	Conclusies: de huidige constructie (zonder bovenbelasting) is stabiel, maar de veiligheden in de constructie zijn beperkt. Met name wanneer de grondwaterstand binnen de damwand aan de Slikslootzijde tot boven NAP + 1.5 m stijgt. Waarschuwingsspeil instellen op +1.50 NAP, alarmpeil +2.00 NAP. Geen bovenbelasting toelaten in de zone achter de damwand.
1997-05-29	aanvullend ankersysteem	(12)10.905	--	Omegan	Stichting Nazorg Afvalverwijderingsinrichtingen en aanverwante locaties	Een aanvullend ankersysteem zou extra veiligheid kunnen bieden m.b.t. de stabiliteit van de damwand. Er is door Omegan een verankeringsysteem met schroefinjectieankers gedimensioneerd.
1997-06-26	dichtingswand	(12)11.009	--	Omegan	Gemeente Krimpen aan den IJssel	Onderzoek naar de minimale afstand tussen nieuwe paalfunderingen en de bestaande cement-bentonietwand.
2002-09-10	inventarisatie beschikbare informatie		990110 def. Versie actualistie	BMC Bodemconsult	Provincie Zuid-Holland	In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de grondmechanische, milieuhygiënische en geohydrologische informatie, welke voor het voormalige EMK-terrein tot en met 2000 beschikbaar is. Het gaat hierbij om informatie welke uit dossieronderzoek naar voren is gekomen en welke in de periode van begin 1 996 tot en met 2000 ter plaatse zelf nog verzameld is.
2012-02-22	resultaten grondonderzoek	R18115	--	Wiertsema & Partners	BK Bodem	17 stuks sonderingen uitgevoerd.
2013-09-16	damwandonderzoek	02P003704-RG-01	--	Iniijn Blokpoel	Strukton Milieutechniek	Op 18 locaties zijn de dikte van de damwand en de aanwezige coating vastgesteld.
2017-10-19	rapportage damwand EMK-terrein	1016-0627-001	versie 2	Fugro NL Land B.V.	Technisch Bureau in de Krimpenerwaard	Berekeningen van diverse varianten voor verbetering van de damwandconstructie.
2018-04-13	memo reductie scheve buiging	1016-0627-001	--	Fugro NL Land B.V.	Technisch Bureau in de Krimpenerwaard	Bepaling reductie scheve buiging.
2018-05-15	memo reactie Nvi	1016-0627-001.M02	--	Fugro NL Land B.V.	Technisch Bureau in de Krimpenerwaard	Beantwoording vragen Nvi.
2018-06-07	contractstukken (vraagspecificatie deel I)	C18001 Vraagspecificatie deel 1 EMK	versie 1.1	Adviesbureau Geofox-Lexmond – TTE Vof	Ministerie I&W	Herziene versie vraagspecificatie Deel 1 - Technisch "Bodemsanering, Bouwrijp maken, Verbeterde damwandconstructies en Beheerfase EMK-terrein e.o. te Krimpen aan den IJssel."
2018-06-08	contractstukken (vraagspecificatie deel II)	20180211_a3.doc	versie 3	Adviesbureau Geofox-Lexmond – TTE Vof	Ministerie I&W	Herziene versie vraagspecificatie Deel 2 - Proceseisen "Bodemsanering, Bouwrijp maken, Verbeterde damwandconstructies en Beheerfase EMK-terrein e.o. te Krimpen aan den IJssel."
2019-01-11	Review Fugro op damwandberekeningen	1018-0485-000	versie 1.0	Fugro NL Land B.V.	Dura Vermeer	Interne review op concept ontwerpberekeningen damwand.
2019-02-12	survey waterbodem	PS-019-004	versie 0.1	Baars-Cipro	Dura Vermeer	Dieptemeting waterbodem d.m.v. een multibeam peiling.
2019-02-18	berekening stabiliteit damwand + verbeterde damwand	02R17197-00151	versie 0.1	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Eerste conceptberekening stabiliteit bestaande damwand + verbeterde damwandconstructie.
2019-03-11	damwandinspectie	2019AV057 [DV 02R17197-00151]	versie 1.0	Civieltech	Dura Vermeer	Er is een afwijkend type damwand aangetroffen. De damwanden op locatie [A] richting [I] verkeren nog in een goede staat, er zijn geen noemenswaardige beschadigingen waargenomen. Op een enkele locatie is bio-corrosie ontstaan, dit heeft nog geen invloed op de stabiliteit van de damwand.
2019-04-01	Aanvraag vergunning aanpassing bestaande damwandconstructie rondom EMK	4319193 [DV 02R17197-00318]	--	Dura Vermeer	Gemeente Krimpen aan den IJssel	Aanvraag vergunning aanpassing bestaande damwandconstructie tbv bodemsanering en bouwrijpmaken
2019-04-05	beoordeling damwandberekeningen	--	--	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen.
2019-04-11	Aanvraag vergunning aanpassing bestaande damwandconstructie rondom EMK	4345201 [DV 02R17197-00331]	--	Dura Vermeer	Rijkswaterstaat	Aanvraag vergunning aanpassing bestaande damwandconstructie tbv bodemsanering en bouwrijpmaken
2019-05-01	Brief met verzoek aanvullende gegevens tbv omgevingsvergunning aanpassing bestaande damwand	16937	--	Gemeente Krimpen aan den IJssel	Dura Vermeer	Brief met verzoek tot aanleveren van aanvullende gegevens voor toetsing van de aanvraag omgevingsvergunning voor de aanpassingen aan de damwanden langs het EMK terrein.
2019-05-09	Watervergunning	RWSZ2019-00005890	--	Rijkswaterstaat	Dura Vermeer	Watervergunning aanpassing damwand nabij de Schaardijk Krimpen aan den IJssel
2019-05-21	geotechnisch onderzoek (sonderingen)	R63577	versie 1	Rijksema & Partners	Dura Vermeer	19 stuks sonderingen uitgevoerd.
2019-06-12	toelichting afwijking damwand	02R17197	--	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Volgens het contract zou er een Larssen 64/2500 damwand aanwezig zijn. Uit de uitgevoerde damwandinspectie blijkt het echter te gaan om een Hoesch 64 damwand. In deze toelichting zijn de afwijkende eigenschappen van de damwand omschreven.
2019-06-28	berekening stabiliteit damwand + verbeterde damwand	02R17197-00410	versie 1.0	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Berekening stabiliteit van de bestaande damwand in de diverse bouwfasen en een berekening van de verbeterde damwandconstructie.
2019-07-18	beoordeling damwandberekeningen	--	--	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen.
2019-08-26	Nauwkeurige deformatiemetingen in XYZ-richting Hollandsche IJssel en Sliksloot	19-0013	--	BBCI Frijwijk	Dura Vermeer	Nauwkeurige deformatiemetingen in XYZ richting van prismastickers op de damwand langs de Hollandsche IJssel en Sliksloot.
2019-10-08	onderzoeksopzet aanvullend damwandonderzoek	--	--	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Voorstel voor locaties uitvoeren watersonderingen.
2019-10-16	rapportage damwand testen	2019AV057	versie 1.0	Civieltech	Dura Vermeer	Rapportage staalkwaliteit en dikte damwand.
2019-12-02	aanvullend onderzoek staalkwaliteit + watersonderingen	02R17197-00597	versie 1.0	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Bij het aanvullende onderzoek naar de staalkwaliteit zijn meerdere staalkwaliteiten aangetroffen. De minimale staalkwaliteit bestaat uit S270 GP, deze komt overeen met de opgegeven staalkwaliteit in het contract. Er zijn watersonderingen uitgevoerd t.b.v. bepaling bodemopbouw waterzijde.
2019-12-09	onderzoek lengte damwand	VN-74787-1	versie 1	Wiertsema & Partners	Dura Vermeer	Onderzoek t.b.v. bepaling damwandlengte op 3 locaties waar afwijkende damwandplanken voorkomen. De gemaakte magnetometer sonderingen tonen allen een zeer onrustig beeld. De damwandlengte is derhalve ook niet eenduidig vast te stellen.
2019-12-13	chroom VI onderzoek	02R17197-00604	versie 1.0	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Uit de resultaten van het onderzoek 19-11-2019 blijkt dat in de bemonsterde verlagen geen meetbare concentratie chroom-6 aanwezig is. Dit betekent dat de werkzaamheden op een reguliere manier uitgevoerd mogen worden. Ook in geval van afvoer van damwandplanken gelden geen aanvullende verplichtingen.
2020-01-22	memo onderbouwing buitenwaterstand	1020-160273.M02	--	Fugro NL Land B.V.	Dura Vermeer	Onderbouwing voor uitgangspunt buitenwaterstand Hollandsche IJssel.
2020-02-12	uitgangspuntennotitie damwandberekeningen	02R17197-00615	versie 2.0	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Vastlegging uitgangspunten voor het Definitief Ontwerp van de damwandconstructie.
2020-02-17	DO-damwandberekening (bestaand en gebruiksfase)	19-019-R01 [DV 02R17197-00151]	versie 3.0	Sterk EU	Dura Vermeer	DO-berekening damwand Hollandsche IJssel en Sliksloot (herberekening)
2020-02-21	DO damwandberekeningen	02R17197-00410	versie 1.0	Dura Vermeer	Ministerie I&W	DO-ontwerp damwandconstructie op basis van aanvullende onderzoeken, interne bevindingen en toetscommentaar.
2020-03-11	beoordeling DO damwandberekeningen	--	--	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen.
2020-03-19	oplegnotitie beoordeling DO damwandberekeningen	2019-0049-07	--	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Hoofdpunten commentaar: 1. Er wordt uitgegaan van enkele zeer gunstige uitgangspunten en aannames. 2. Het ontstaan van plastische scharnieren tijdens de saneringsfase. 3. Gebruiksbeperkingen als gevolg van het verankeringsysteem.
2020-03-24	Wijziging watervergunning RWS	02R17197-00974	--	Rijkswaterstaat	Dura Vermeer	Aanpassing verankeringsconstructie damwand (groutankers).
2020-03-24	Memo toekomstbestendige damwand rond het EMK terrein te Krimpen a/d IJssel	02R17197-00628	--	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Toelichting toekomstbestendigheid damwand met aanhouden bovenbelasting 20 kN/m².
2020-03-26	reactie Dura Vermeer op toetsingsdocument IBR	--	--	Dura Vermeer	Ministerie I&W	Reactie Dura Vermeer op de opmerkingen van Ingenieursbureau Rotterdam.
2020-04-09	beoordeling damwandberekeningen	--	--	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen.
2020-04-20	memo interactie tussen palen en groutankers	1020-160273.M05	--	Fugro NL Land B.V.	Dura Vermeer	In de memo licht Fugro toe hoe het aankijkt tegen de risico's van interactie (toekomstige) paalfunderingen met groutankers. Daarnaast zijn er een aantal effecten en beheersmaatregelen kort toegelicht.
2020-07-23	UO verbeterde damwand Hollandsche IJssel	0517-006-MEM-JKL-001	versie 1.0	Ploegam	Dura Vermeer	Uitvoeringsontwerp (UO) voor de verbeterde damwandconstructie langs de Hollandsche IJssel. Beoordeling moet nog plaatsvinden door de opdrachtgever. Ontwerp damwand is mede afhankelijk van uitkomsten herorientatie project.
2021-04-27	Onderzoek stortsteen Hollandsche IJssel en Sliksloot		21004 versie 1.1	360survey bv	Dura Vermeer	Side scan sonar en subbottom profiler onderzoek naar de aanwezigheid van stortsteen
2021-06-07	Deformatiemetingen	--	--	BBCI Frijwijk	Dura Vermeer	xyy-deformatiemetingen van de damwand
2021-06-07	Weergave doorsnedes en profielen stortsteen onderzoek t.b.v. damwand ontwerp	--	--	Dura Vermeer	Ministerie I&W	
2021-10-29	Verbeteren damwandconstructie EMK terrein, Damwandadvies Krimpen a/d IJssel	6421-199790-10-R01	Concept v3.0	Fugro	Dura Vermeer	DO-ontwerp
2021-11-23	Voorstel tot aanpassing damwandberekeningen EMK	6421-199790-M02	--	Fugro	Dura Vermeer	Damwandconstructie EMK terrein Krimpen a/d IJssel – Uitgangspunten DRSN 3
2021-12-06	Verbeteren damwandconstructie EMK terrein, Damwandadvies Krimpen a/d IJssel	6421-199790-10-R01	Definitief v4.0	Fugro	Dura Vermeer	DO-ontwerp
	Review Rapportage Verbeteren damwandconstructie EMK terrein Doc.nr. 6421-199790-10-R01 v4.0, d.d. 6-12-2021, status definitief	--	Definitief	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen
2021-12-10	Review Rapportage Verbeteren damwandconstructie EMK terrein Doc.nr. 6421-199790-10-R01 v4.0, d.d. 6-12-2021, status definitief	--	Definitief v2	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen
2021-12-17	2021, status definitief					
2022-01-28	Verbeteren damwandconstructie EMK terrein, Damwandadvies Krimpen a/d IJssel	6421-199790-10-R01	Definitief v5.0	Fugro	Dura Vermeer	DO-ontwerp
2022-01-28	6421-199790-10-R01_v5.0_Damwandadvies-Berekeningen	--	--	Fugro	Dura Vermeer	Berekeningsfiles DO-ontwerp
	Review Rapportage Verbeteren damwandconstructie EMK terrein Doc.nr. 6421-199790-10-R01 v5.0, d.d. 28-01-2022, status definitief	--	Definitief	Ingenieursbureau Rotterdam	Ministerie I&W	Diverse technisch inhoudelijke opmerkingen+ principee schets benodigde afstand funderingspaal-anker
2022-02-04						

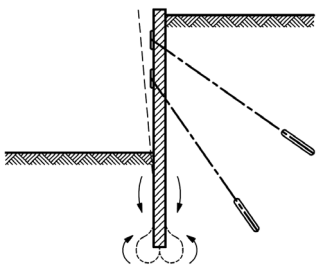
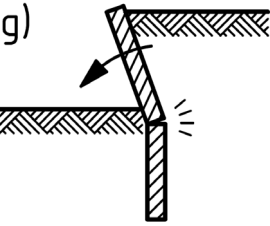
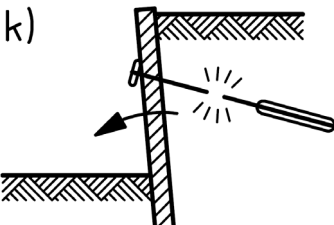
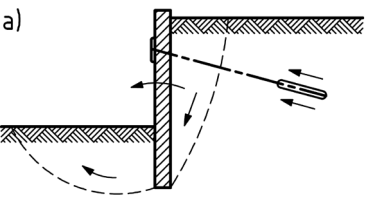
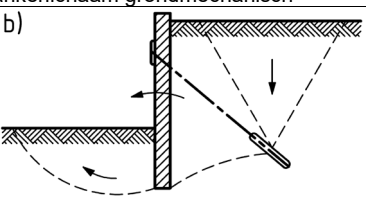
B Beoordeling op volledigheid

Tabel B1 Beoordeling op relevante informatie

Relevante informatie tbv beoordeling op volledigheid van informatie voor de berekeningen		Is de informatie beschikbaar?	
Eis		Referentie [#]	Opmerking
Referentie	beschrijving		
NEN8707:2020 art 7.3 (1)	Ten minste 2 grondonderzoekspunten (terreinproeven) max 100 m h.o.h.	[3]	zie verwijzingen in [3] §2.9 naar grondonderzoeken
NEN8707:2020 art 7.3 (3)	Grondonderzoek binnen afstand 12,5 m hoge zijde	[3]	
NEN8707:2020 art 7.3 (4)	Bodemligging 2H raster max 1/3H min 2m	[16]	
	Slibdikte bepaling raaien 100 m h.o.h. tot 2 H2 afstand meetpunten max 1/3H min 2m	[20], [21] en [24]	
NEN8707:2020 art 7.3 (5)	Rekening gehouden met mogelijkheid van lokale uitspoelingen	[20], [21] en [24]	Huidig bodemniveau en slibdikte gedetailleerd gemeten & er wordt rekening gehouden met significant lagere bodemniveau i.v.m. baggeren
NEN8707:2020 art 7.3 (6)	Variatie GWS en Waterstanden	[12]	
NEN8707:2020 art 7.4 (1) & (2)	Diktemetingen meerdere niveaus h.o.h. 250 m	[9] en [10]	

Tabel B2 Toetsing volledigheid beoordeelde mechanismen

Relevante bezwijkmechanismen beoordeling op volledigheid van uitgevoerde berekeningen		Getoetst in document [#]	Opmerking
	Details		
NEN9997-1 fig 9.a		nvt	Niet van toepassing teen van damwand staat in slecht doorlatende laag
NEN9997-1 fig 9.1 bezwijkmechanismen voor de algehele stabiliteit		[24]	
NEN9997-1 fig 9.3 bezwijkmechanismen bij rotatie		[24]	

NEN9997-1 fig 9.4 Verticaal bezwijken		[24]	
NEN9997-1 fig 9.5 bezwijkmechanismen bij constructief bezwijken	g)  damwand	[24]	
	k)  ankerstang	[24]	
bezwijkmechanismen bij uittrekken van verankeringen	a)  ankerlichaam grondmechanisch	[24]	
	b)  Kranz	[24]	

Tabel B3 Toetsing van overige relevante aspecten

Overige relevante aspecten beoordeling op volledigheid van uitgevoerde berekeningen		Getoetst in document [#]
Referentie	Details	
NEN9997-1:2017 art 9.7.1	Bij damwandprofielen met de sloten in de neutrale lijn moet rekening worden gehouden met het effect van scheve buiging	[24]
NEN9997-1:2017 art 9.7.1 (q)	Corrosie anker	[24]
	Corrosie damwand	[24]
NEN9997-1:2017 9.7.1 (k)	Uitvoeren Tabel 9.d — Dimensioneringsberekeningen 1 t/m. 5	[24]

C Waterstanden

C.1 Aanleiding

Het waterdrukverschil over de damwand heeft significante invloed op de krachtswerking van een damwandconstructie. De bepaling van rekenwaarden van de waterstanden is een bekende "foutenbron"⁴. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen aangehouden rekenwaarde en karakteristieke waarde van de lage en hoge waarde van de buitenwaterstand.

C.2 Afleiding rekenwaarde en karakteristieke lage waarde van de buitenwaterstand

C.2.1 Onderschrijdingskans

De NEN8707:2020 Tabel A.1 geeft voor een RC2 verbouw van de damwandconstructie uit 1990 dat $\gamma_{\text{geo}} = 1,6$ en $\Delta a = 0,19$ m. Het minimum van de met beide waarden berekende waterstand betreft de aan te houden lage buitenwaterstand. De formule " μ - γ_{geo} " is geformuleerd voor een normale verdeling. De bij een $\gamma_{\text{geo}} = 1,6$ behorende onderschrijdingskans P_e over de referentieperiode is te berekenen met:

$$P_{e;RC2} = \Phi(1,6) = 5,48 \cdot 10^{-2}$$

C.2.2 Bouwfase

Met de minimale referentieperiode van $T_{\text{ref}} = 15$ jaar conform de NEN8700 voor RC2 verbouw kan de rekenwaarde van de herhalingstijd van de lage buitenwaterstand worden bepaald met:

$$T_{d;RC2} = \frac{T_{\text{ref}}}{P_{e;RC2}} = \frac{15}{5,48 \cdot 10^{-2}} = 274 \text{ jaar}$$

Uit [17] blijkt dat voor een herhaaltijd van $h_1 = 1$ jaar de lage buitenwaterstand waterstand $h_1 = \text{NAP } -0,85$ m is en voor een herhaaltijd van $T_2 = 2000$ jaar is dat $h_2 = \text{NAP } -1,09$ m.

Met de methode A om rekenwaarden van waterstanden te berekenen uit de NEN-EN1990:2019 kunnen ook voor damwanden rekenwaarden van de waterstand worden berekend.

$$h_{d;\gamma_{\text{geo}};RC2} = h_1 + \frac{\log\left(\frac{T_{d;RC2}}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \times (h_2 - h_1)$$

Op basis van $T_d = 274$ jaar kan nu de rekenwaarde van de lage waterstand $h_{d;\gamma_{\text{geo}};RC2;laag}$ voor de bouwfase worden bepaald.

$$h_{d;\gamma_{geo};RC2;laag} = -0,85 + \frac{\log\left(\frac{274}{1}\right)}{\log\left(\frac{2000}{1}\right)} \times (-1,09 + 0,85) = NAP - 1,03m$$

Met dezelfde methode kunnen de karakteristieke lage waarde van de buitenwaterstand $h_{k;laag}$ met een herhaaltijd gelijk aan de referentieperiode van de bouwphase optreedt worden bepaald.

$$h_{k;laag} = -0,85 + \frac{\log\left(\frac{15}{1}\right)}{\log\left(\frac{2000}{1}\right)} \times (-1,09 + 0,85) = NAP - 0,94m$$

Op basis van $h_{k;laag}$ kunnen voor RC2 de op Δa gebaseerde rekenwaarde van de lage buitenwaterstand voor de bouwphase $h_{d;\Delta a;RC2;laag}$ worden bepaald.

$$h_{d;\Delta a;RC2;laag} = h_{k;laag} - \Delta a_{RC2} = -0,94 - 0,19 = NAP - 1,13m$$

Het minimum van de twee bepaalde waterstanden $h_{d;\gamma_{geo}}$ en $h_{d;\Delta a}$ is de afgeleide rekenwaarde van de buitenwaterstand voor de bouwphase h_d :

$$h_{d;RC2;laag} = \min\{h_{d;\gamma_{geo};RC2;laag}; h_{d;\Delta a;RC2;laag}\} = \min\{-1,03; -1,13\} = NAP - 1,13m$$

C.2.3 Gebruiksphase

Met de minimale referentieperiode gelijk aan de restlevensduur van $T_{ref} = 50$ jaar conform de NEN8700 voor RC2 verbouw kan de rekenwaarde van de herhalingstijd van de lage buitenwaterstand worden bepaald met:

$$T_{d;RC2} = \frac{T_{ref}}{P_{e;RC2}} = \frac{50}{5,48 \cdot 10^{-2}} = 912 \text{ jaar}$$

Uit [17] blijkt dat voor een herhaaltijd van $h_1 = 1$ jaar de lage buitenwaterstand waterstand $h_1 = NAP - 0,85$ m is en voor een herhaaltijd van $T_2 = 2000$ jaar is dat $h_2 = NAP - 1,09$ m.

Met de methode A om rekenwaarden van waterstanden te berekenen uit de NEN-EN1990:2019 kunnen ook voor damwanden rekenwaarden van de waterstand worden berekend.

$$h_{d;\gamma_{geo};RC2} = h_1 + \frac{\log\left(\frac{T_{d;RC2}}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)} \times (h_2 - h_1)$$

Op basis van $T_d = 274$ jaar kan nu de rekenwaarde van de lage waterstand $h_{d;\gamma_{geo};RC2;laag}$ voor de gebruiksfase worden bepaald.

$$h_{d;\gamma_{geo};RC2;laag} = -0,85 + \frac{\log\left(\frac{912}{1}\right)}{\log\left(\frac{2000}{1}\right)} \times (-1,09 + 0,85) = NAP - 1,07m$$

Met dezelfde methode kunnen de karakteristieke lage waarde van de buitenwaterstand $h_{k;laag}$ met een herhaaltijd gelijk aan de referentieperiode van de gebruiksfase optreedt worden bepaald.

$$h_{k;laag} = -0,85 + \frac{\log\left(\frac{50}{1}\right)}{\log\left(\frac{2000}{1}\right)} \times (-1,09 + 0,85) = NAP - 0,97m$$

Op basis van $h_{k;laag}$ kunnen voor RC2 de op Δa gebaseerde rekenwaarde van de lage buitenwaterstand voor de gebruiksfase $h_{d;\Delta a;RC2;laag}$ worden bepaald.

$$h_{d;\Delta a;RC2;laag} = h_{k;laag} - \Delta a_{RC2} = -0,97 - 0,19 = NAP - 1,16m$$

Het minimum van de twee bepaalde waterstanden $h_{d;\gamma_{geo}}$ en $h_{d;\Delta a}$ is de afgeleide rekenwaarde van de buitenwaterstand voor de bouwphase h_d :

$$h_{d;RC2;laag} = \min\{h_{d;\gamma_{geo};RC2;laag}; h_{d;\Delta a;RC2;laag}\} = \min\{-1,07; -1,16\} = NAP - 1,16m$$

C.3 Afleiding rekenwaarde en karakteristieke hoge waarde van de buitenwaterstand

Bij het optreden van de rekenwaarde van de hoge waterstand is de landzijde de passieve zijde en dient in dit geval de waterzijde als hoge zijde te worden beschouwd. Tijdens de bouwphase wordt de grond De NEN8707:2020 Tabel A.1 geeft voor een RC2 verbouw van de damwandconstructie uit 1990 dat $\gamma_{geo} = 0,82$ en $\Delta a = 0,05$ m. Het maximum van de met beide waarden berekende waterstand betreft de aan te houden hoge buitenwaterstand. De formule

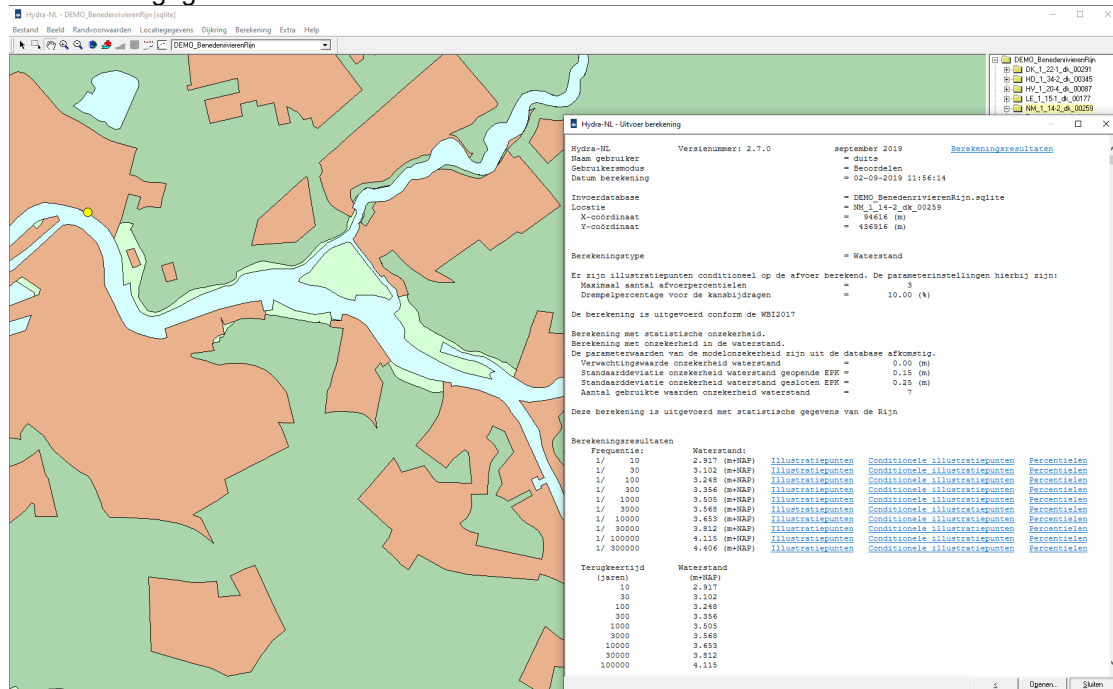
" $\mu-\gamma_{\text{geo}}$ " is geformuleerd voor een normale verdeling. De bij een $\gamma_{\text{geo}} = 0,82$ behorende onderschrijdingskans P_e over de referentieperiode is te berekenen met:

$$P_{e;RC2} = \Phi(0,82) = 2,06 \cdot 10^{-1}$$

Met de minimale referentieperiode van $T_{\text{ref}} = 15$ jaar conform de NEN8700 voor RC2 verbouw kan de rekenwaarde van de herhalingstijd van de lage buitenwaterstand worden bepaald met:

$$T_{d;RC2} = \frac{T_{\text{ref}}}{P_{e;RC2}} = \frac{15}{2,06 \cdot 10^{-1}} = 72,8 \text{ jaar}$$

In Figuur C1 zijn de resultaten van Hydra-NL [22] voor hoogwater van een nabijgelegen locatie weergegeven.



Figuur C1 Hydra-NL uitvoer locatie NM_1_14-2_dk_00259, locatie aangeven met gele stip

Uit Figuur C1 blijkt dat voor een herhaaltijd van $h_1 = 10$ jaar de hoge buitenwaterstand waterstand $h_1 = \text{NAP} + 2,917 \text{ m}$ is en voor een herhaaltijd van $T_2 = 100$ jaar is dat $h_2 = \text{NAP} + 3,248 \text{ m}$.

Met de methode A om rekenwaarden van waterstanden te berekenen uit de NEN-EN1990:2019 kunnen ook voor damwanden rekenwaarden van de waterstand worden berekend.

$$h_{d;\gamma_{\text{geo}};RC2;hoog} = 2,917 + \log\left(\frac{72,8}{10}\right) \times (3,248 - 2,917) = \text{NAP} + 3,20 \text{ m}$$

Met dezelfde methode kunnen de karakteristieke hoge waarde van de buitenwaterstand $h_{k;hoog}$ met een herhaaltijd gelijk aan de referentieperiode optreedt worden bepaald.

$$h_{k;hoog} = 2,917 + \log \frac{\left(\frac{15}{10}\right)}{\log\left(\frac{100}{10}\right)} \times (3,248 - 2,917) = NAP + 2,98 m$$

Op basis van $h_{k;hoog}$ kunnen voor RC2 de op Δa gebaseerde rekenwaarde van de hoge buitenwaterstand $h_{d;\Delta a;RC2;hoog}$ worden bepaald.

$$h_{d;\Delta a;RC2;hoog} = h_{k;hoog} + \Delta a_{RC2} = 2,98 + 0,05 = NAP + 3,03 m$$

Het maximum van de twee bepaalde waterstanden $h_{d;\gamma_{geo}}$ en $h_{d;\Delta a}$ is de afgeleide rekenwaarde van de hoge buitenwaterstand h_d :

$$h_{d;RC2;hoog} = \max \{ h_{d;\gamma_{geo};RC2;hoog}; h_{d;\Delta a;RC2;hoog} \} = \max \{ +3,20; +3,03 \} = NAP + 3,20 m$$

C.4 Toetsing

De in de berekeningen [24] aangehouden karakteristieke en rekenwaarde van de lage en hoge buitenwaterstand zijn getoetst aan de in C.2 en C.3 afgeleide vereiste buitenwaterstanden, zie Tabel C1. Uit de analyse volgt dat de waarden voor de lage en hoge waterstand voldoen aan de afgeleide vereiste waarde om te voldoen aan de NEN8707.

Tabel C1 Lage en hoge waarden van de buitenwaterstand

Type buiten-waterstand	Fase	Type waarde	Ontwerp [m NAP]	Vereist ⁵ [m NAP]	Voldoet de ontwerpwaarde?
Lage	Bouwfase	Karakteristieke waarde	-0,94	-0,94	Ja
		Rekenwaarde	-1,13	-1,13	Ja
	Gebruiksfase	Karakteristieke waarde	-0,94 ¹⁰	-0,97	Nee ¹¹
		Rekenwaarde	-1,13 ¹⁰	-1,16	Nee ¹¹
Hoge	Bouwfase	Karakteristieke waarde	+3,15	+2,98	Ja
		Rekenwaarde	+3,20	+3,20	Ja

¹⁰ Deze waarde is gebaseerd op een referentieperiode van 15 jaar is feitelijk op aangeven van Deltares gehanteerd, deze stond in de eerdere versie van de voorliggende brief.

¹¹ Met oranje aangegeven omdat de afwijking slechts leidt tot een 0,03 m te hoge waterstand wat geen significante invloed heeft op de berekeningsresultaten [24].

D Corrosie

D.1 Aanleiding

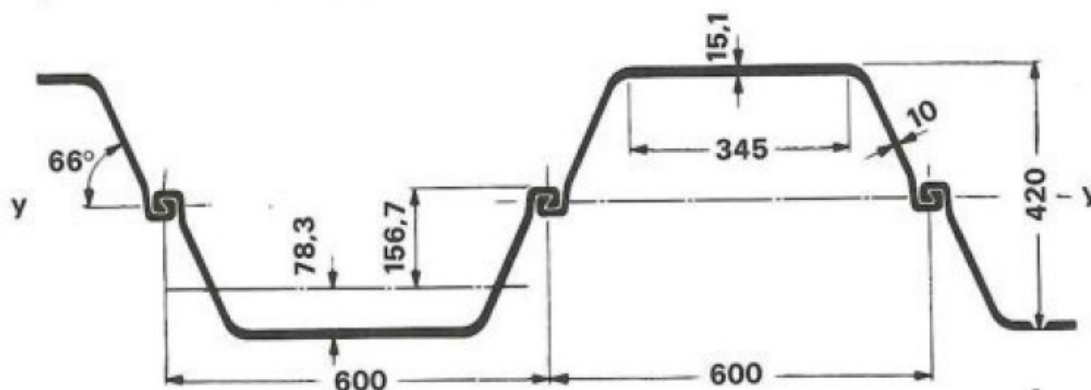
De degradatie van een bestaande damwandconstructie heeft een significante invloed op de constructieve sterkte. De bepaling van dikteafname is een bekende onzekerheidsbron de laatste inzichten op dit gebied zijn vastgelegd in de op 1 juli 2021 verschenen NEN6766 [8]. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen aangehouden dikteafname van 3,8 mm van de damwand en de 3,0 mm in het ankerontwerp [24].

D.2 Afleiding dikteafname

Voor de bepaling van de rekenwaarde van de dikteafname van de damwand wordt gebruik gemaakt van de NEN6766 [8] en de resultaten van de in 2013 en 2019 uitgevoerde diktemetingen. De damwand is over de bovenste 12 meter eenzijdig gecoat [11] hetgeen overeenkomt met een niveau van NAP -8 m. In 2013 [9] was de coating nog aanwezig maar in 2019 [10] nagenoeg verdwenen.

De bestaande damwand betreft volgens Omegam [11] een Larsen64/2500.

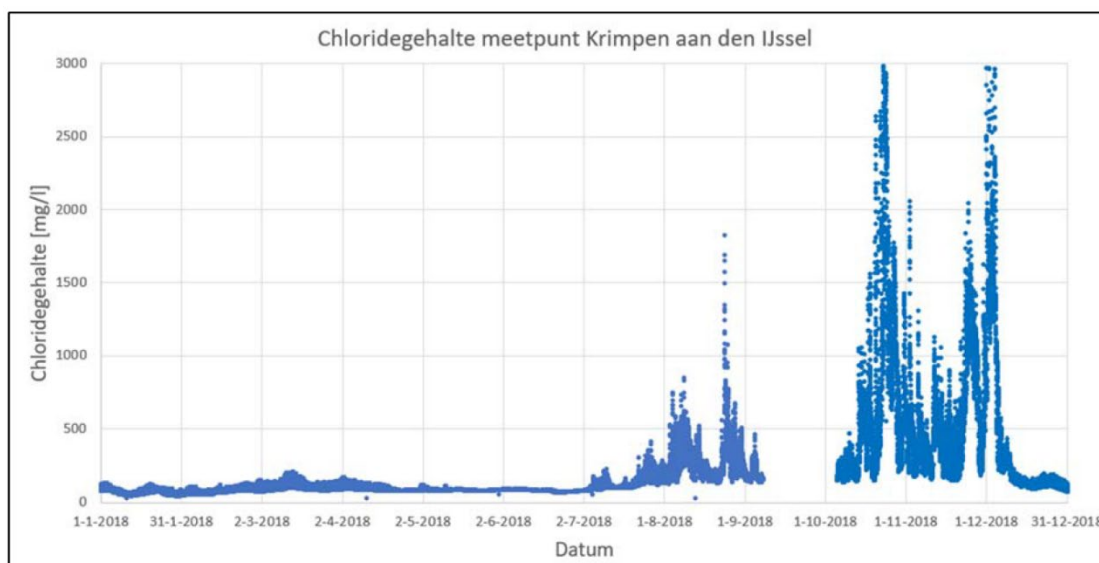
In Figuur D1 staat de lichtere Larsen 64/2400 weergegeven met een flensdikte van 15,1 mm in plaats van de 16 mm van de bij het EMK-terrein toegepaste Larsen 64/2500.



Figuur D1 Afmetingen Larsen 64/2500

Voor de bepaling van de rekenwaarde van de dikteafname volgens de NEN6766 [8] dient het chloridegehalte van het water bekend te zijn. Het jaargemiddelde van het chloridegehalte in de Hollandse IJssel is volgens Figuur D2 minder van 1,5 g/l. En in de zone boven bodemniveau is bij het EMK-terrein sprake van grondconditie type II¹². In Tabel D1 is rood omkaderd het verloop van de verwachtingswaarde van de dikteafname volgens de NEN6766 in de tijd gegeven voor een ongecoate damwand. In Figuur D3 is de verwachtingswaarde van de gemiddelde corrosie als functie van de tijd met een groene stippellijn uitgezet.

¹² Grondconditie type II betreft vanuit corrosie perspectief schone grond boven de laagste grondwaterspiegel en vanuit corrosie perspectief schone grond onder de laagste grondwaterspiegel in de situatie dat wel verversing van grondwater optreedt. Verversing van grondwater staat voor de situatie waarin er door stroming blijvende aanvoer is van oxiderende stoffen (zoals zuurstof). Als sprake is van grondwater dat zich niet verplaatst, is het oxidatieproces eindig, omdat er geen nieuwe aanvoer is van oxiderende stoffen



Figuur D2 Chloridegehalte meetpunt Krimpen aan de IJssel 2018 [12]

Tabel D1 Staaldikte afname van damwanden grenzend aan open water met aan de achterzijde (van uit corrosie perspectief) schone grond [8]

Saliniteit ^d [ppt] (Chloridegehalte [g/l])	Corrosie zone conform tabel 2	Grondconditie type conform tabel 1	Rekenwaarde van de staaldikte afname ^b (mm)					Variatie- coëfficiënt 3 (-)
			T=5 jaar	T=10 jaar	T=25 jaar	T=50 jaar	T=100 jaar	
< 2,5 (< 1,5)	alle	I	0,3	0,4	0,9	1,5	2,6	0,5
		II	0,4	0,6	1,3	2,1	3,6	
2,5 tot 10 (1,5 tot 6)	1	I en II	0,4	0,7	1,1	1,7	2,4	
	2		0,5	0,7	1,2	1,8	2,5	
	3		0,6	1,3	2,1	3,1	4,5	
	4		0,6	0,9	1,5	2,2	3,2	
≥ 10 (≥ 6)	1	I en II	0,6	1,0	1,7	2,5	3,6	
	2		0,6	0,9	1,4	2,1	3,1	
	3		0,9	1,3	2,2	3,3	4,8	
	4		0,6	1,0	1,7	2,5	3,6	

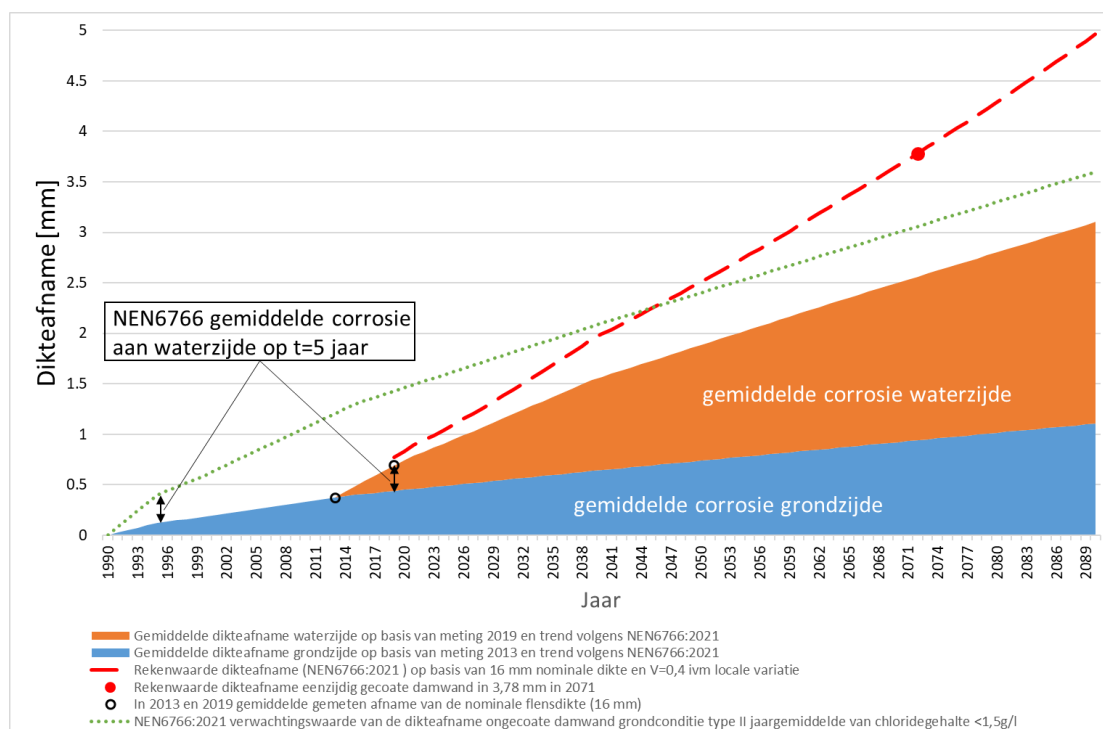
^a Zie voor de definitie van schone grond 3.17.
^b Voor tussenliggende periodes mag lineair worden geïnterpoleerd.
^c De variatiecoëfficiënt van het horizontale gemiddelde dikteafname. Deze waarde is ten behoeve van de bepaling van de rekenwaarde van de constructieve weerstand niet van de grond dichtheid.
^d De in de tabel genoemde waarden voor saliniteit ≥ 2,5 ppt zijn gebaseerd op een grote meetdatabase van het Havenbedrijf Rotterdam.

De NEN6766 geeft echter waarden voor ongecoate damwanden en de damwand langs het EMK was bij installatie voorzien van eenzijdige coating. Voor de afleiding in het kader van deze second opinion is er voor de eenvoud van uitgegaan dat de nominale flensdikteafname in 2013 veroorzaakt is door de corrosie aan de grondzijde zijde en dat het verloop van de dikteafname aan de grondzijde gelijkvormig is.

In 2013 was de nominale flensdikteafname op een niveau van circa NAP 0,65 m gemiddeld 0,37 mm. Uitgaande van deze 0,37 mm en de hiervoor vermelde gelijkvormigheid kan prognose van de dikteafname van de grondzijde als functie van de tijd worden bepaald, zie Figuur D3 in blauw weergegeven.

In 2019 was de gemiddelde nominale flensdikteafname op 4 en 6 m vanaf de bovenzijde van de damwand 0,69 mm en de prognose van de grondzijde was 0,44 mm er is aangenomen dat het verschil van 0,25 mm de dikteafname van de waterzijde betrof. Vervolgens is gekeken na hoeveel jaar deze waarde bij een ongecoate wand optrad (verschil tussen groen stippellijn en blauw dat blijkt na ~5 jaar te zijn). Vervolgens is het verschil tussen deze lijnen na 5 jaar verschoven vanaf 2019 in oranje uitgezet in Figuur D3 met een lineair verloop tussen 2013 en 2019.

Vervolgens is voor de flensdikte de rekenwaarde van de dikteafname bepaald volgens de methode van de NEN6766 waarbij arbitrair is gekozen voor een naar 0,4 verlaagde variatiecoëfficiënt¹³ in plaats van de standaardwaarde van 0,5 die gebaseerd is op de landelijke variatie en hier de variatie beperkter lijkt te zijn. De werkelijk van toepassing zijnde variatie kan met het metingen volgens CROW-protocol [15] worden bepaald over meer dan 10 jaar wanneer lokale effecten van het moment van falen van de coating minder meespelen.



Figuur D3 Rekenwaarde van de dikteafname sinds 1990 van de damwand in de zone boven bodemniveau uitgaande van NEN6766 [8] in bodemtype II. Eenzijdig gecoat op $t= 23$ intacte coating en op $t=29$ jaar volledig falende coating

Voor de volledigheid is er nog een analyse gemaakt voor de het gedeelte beneden bodemniveau waar de damwand volledig door de grond omsloten is. De NEN6766 geeft hiervoor de in Tabel D2 met een blauw kader aangegeven waarden. Aangezien beneden het bodemniveau ook zones met grondconditie type I¹⁴ voorkomen is voor tot op de diepte waar de damwand voor zien is van coating (NAP -8 m) beide typen een grafiek opgesteld, zie Figuur D4 en D5. Hierbij is voor de eenvoud ervan uitgegaan dat de coating na 23 jaar in een

¹³ Dit betreft de variatiecoëfficiënt van de horizontaal over een mechanische breedte gemiddelde staaldikte afname

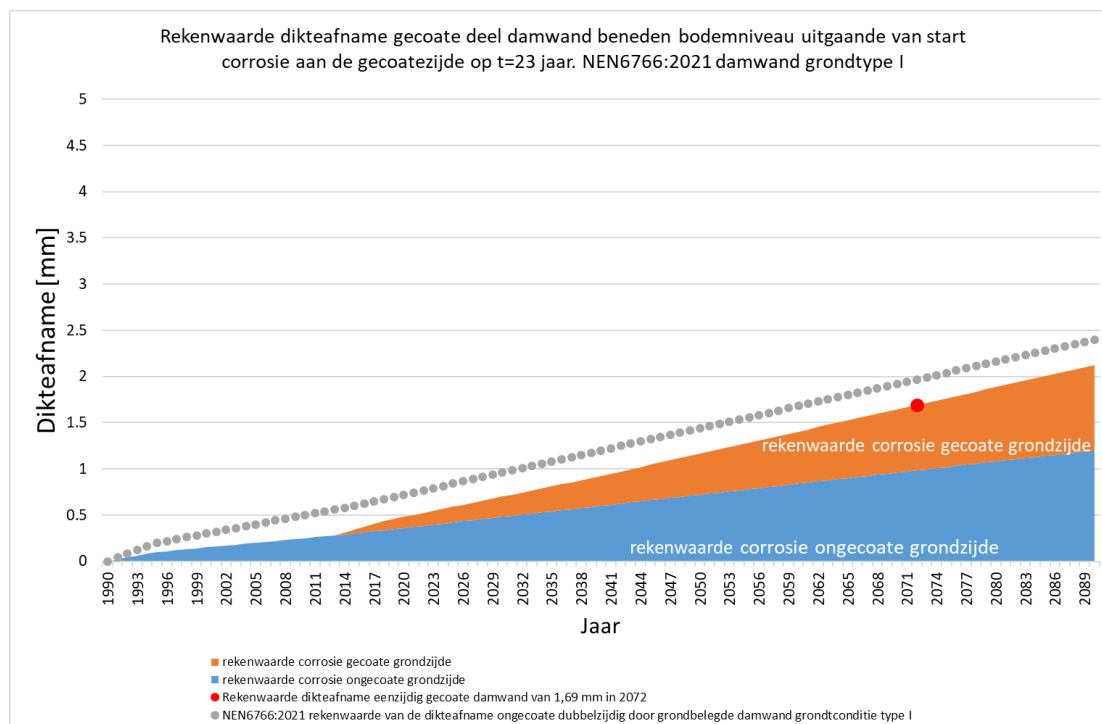
¹⁴ Grondconditie type I is vanuit corrosie perspectief gezien schone grond die zich permanent beneden de laagste grondwaterspiegel bevindt en waarbij bovendien geen verversing van het grondwater optreedt

keer faalt. Voor het ongecoate gedeelte beneden NAP -8 m is sprake van grondconditie I de grafiek hiervoor is weergegeven in Figuur D6.

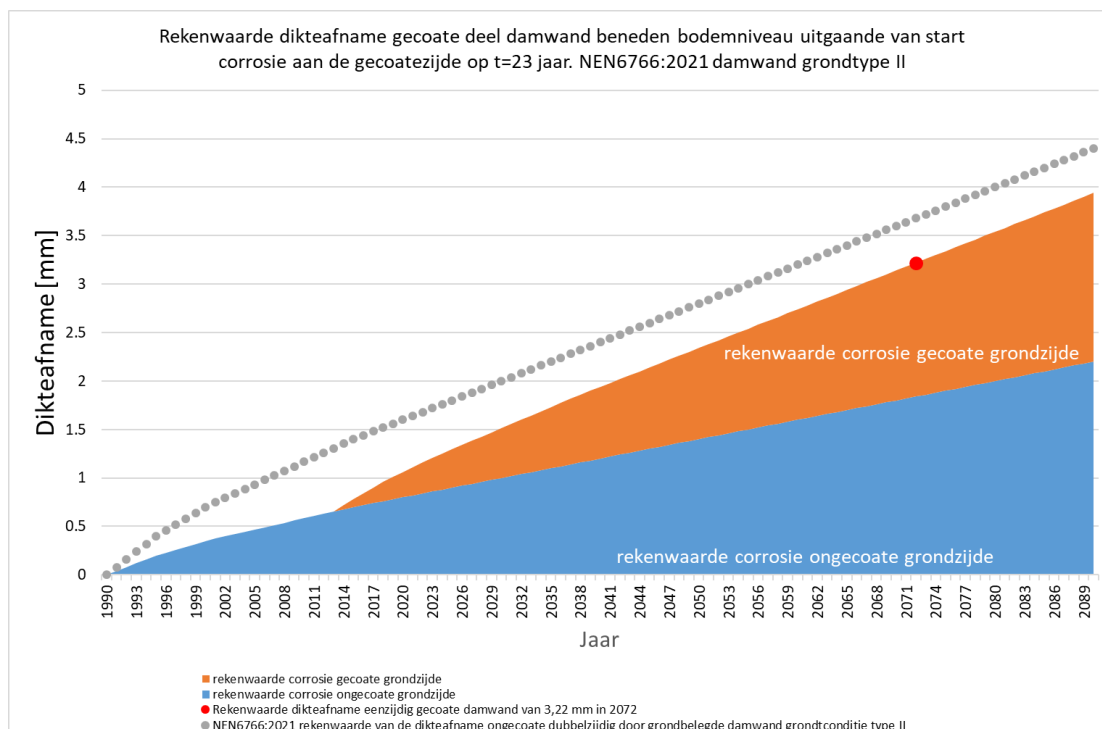
Tabel D2 *Staaldikte afname van funderingselementen of delen van funderingselementen die volledig door (vanuit corrosie perspectief) schone grond zijn omsloten [8]*

Funderingselement type volg. tabel 3	Grondconditie type conform tabel 1	Rekenwaarde van de staaldikte afname ^{b,c} (mm)				
		T=5 jaar	T=10 jaar	T=25 jaar	T=50 jaar	T=100 jaar
groep 1	I	0,2	0,3	0,5	0,8	1,4
	II	0,3	0,5	0,9	1,4	2,4
groep 2	I	0,2	0,3	0,6	1,2	2,4
	II	0,4	0,7	1,4	2,4	4,4
groep 3	I	0,5	0,8	1,3	2,0	3,5
	II	0,8	1,3	2,3	3,5	6,0
groep 4	I	0,5	0,8	1,5	3,0	6,0
	II	1,0	1,8	3,5	6,0	11,0

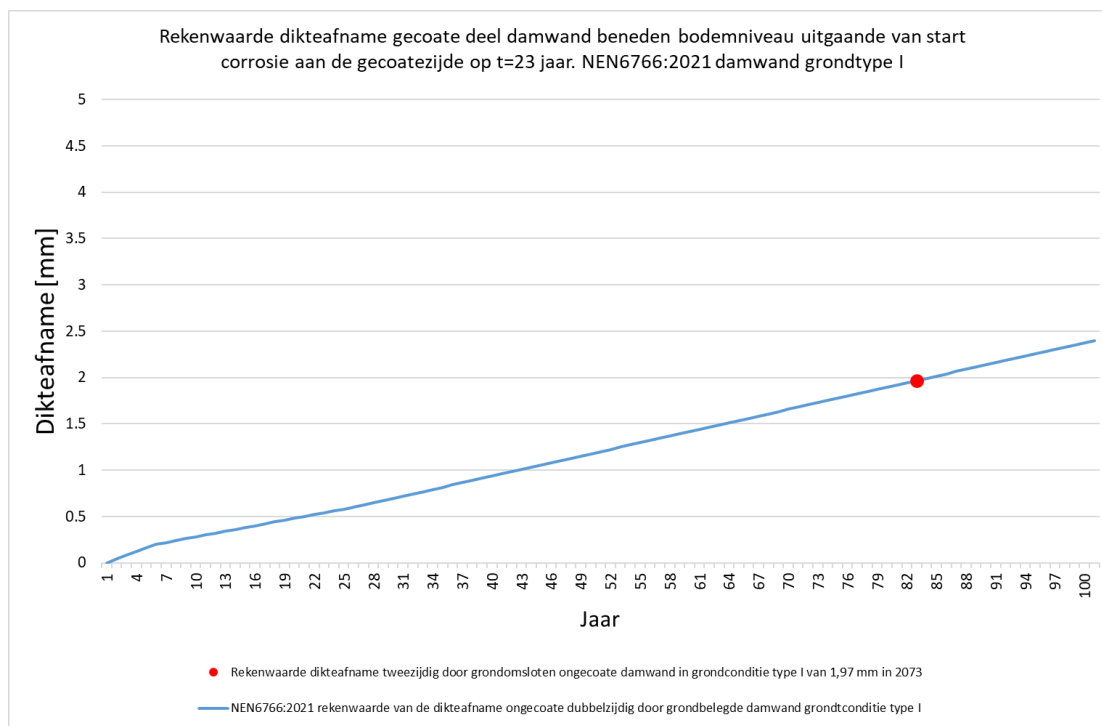
^a Zie voor de definitie van schone grond 3.17.
^b Voor tussenliggende periodes mag lineair worden geïnterpoleerd.
^c In geval van massieve stalen staven of afgesloten holle ankerstaven lees 'afname diameter', in geval van afgesloten buizen uit combi-wanden lees 'afname wanddikte', zie ook figuur 2.



Figuur D4 *Rekenwaarde van de dikteafname sinds 1990 zone beneden bodemniveau van een dubbelzijdig met grondbelegde damwand conform NEN6766 [8] in grondtype II. Eenzijdig gecoat met falen van de coating na 23 jaar en zone zonder coating*



Figuur D5 Rekenwaarde van de dikteafname sinds 1990 zone beneden bodemniveau van een dubbelzijdig met grondbelegde damwand conform NEN6766 [8] in grondtype I. Eenzijdig gecoat met falen van de coating na 23 jaar en zone zonder coating



Figuur D6 Rekenwaarde van de dikteafname sinds 1990 zone beneden NAP -8 m van een dubbelzijdig met grondbelegde damwand conform NEN6766 [8] in grondtype I.

De ankerbuis is aan de binnenzijde volledig met grout gevuld valt volgens de NEN6766 in groep 4 van de type funderingselementen¹⁵. Voor groep 3 in de maatgevende grondconditie type II geeft NEN6766 de in Tabel D2 met een paars kader aangegeven rekenwaarden van de dikteafname van de buiswand. Voor een restlevensduur van 50 jaar is de rekenwaarde van de diameterafname 6,0 mm wat overeenkomt met een buiswanddikte afname van 3,0 mm.

D.3 Toetsing

De in de berekeningen aangehouden waarde van de dikteafname van 3,8 mm bij de damwand en 3,0 mm bij de wanddikte van de ankerbuis zijn getoetst aan de in D.2 afgeleide waarden, zie Tabel D3. Uit de toetsing blijkt dat de in het ontwerp toegepaste waarde voor de damwand van 1,85 mm alleen in de zone van bodemniveau tot NAP -8 m voldoet daar waar sprake is van grondconditie type I.

Tabel D3 Dikteafname $a_{d,t}$ van ankerbuis en damwand aan het einde van de restlevensduur in 2072

Onderdeel	Zone	Grond- conditie type	Ontwerp [mm]	Vereist ¹⁶ [mm]	Voldoet de ontwerpwaarde?
Damwand	Boven bodemniveau	II	3,8 ¹⁷	3,8	Ja
	Bodemniveau tot NAP -8 m	I		1,7	Ja
		II		3,2	Ja
	Beneden NAP -8 m	I		2,0	Ja
Verankering	Volle lengte	II	3,0	3,0	Ja

¹⁵ Wanneer er geen herverdeling van spanningen is mogelijk is en een funderingselement grenst aan één zijde aan de grond en aan de andere zijde aan afgesloten grond dan is er sprake van een type 3 element volgens NEN6766 in groep 3.

¹⁶ Vereist voor een restlevensduur van 50 jaar volgens de laagste inzichten opgenomen in NEN6766 [8]

¹⁷ Deze waarde is over de volledige hoogte toegepast bij toetsing van de berekende momenten

E Damwandreststerkte

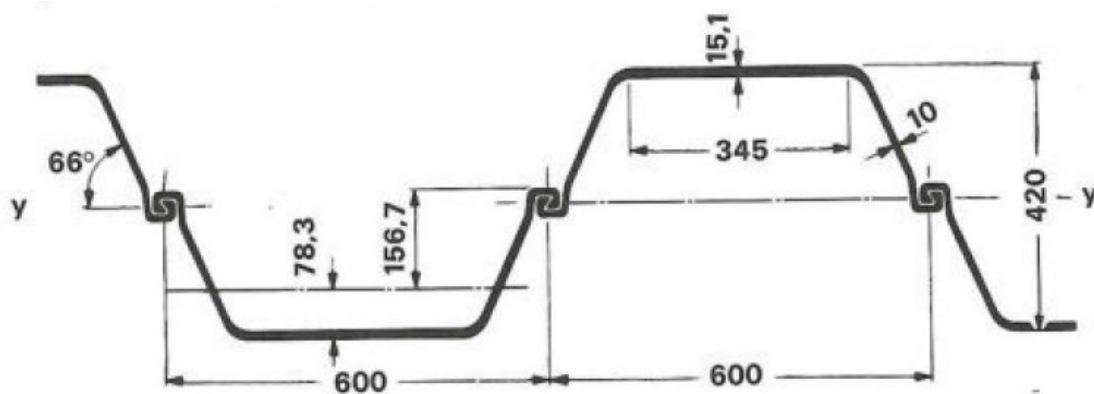
E.1 Aanleiding

De constructieve sterkte van damwand heeft een significante invloed op de betrouwbaarheid van de damwandconstructie. De bepaling van de constructieve reststerkte van een bestaande damwand bij het optreden van een dikteafname is een bekende onzekerheidsbron. Om deze reden is nader gekeken naar de in de ontwerpberekeningen aangehouden rekenwaarde van de volplastische momentcapaciteit van tijdens de bouwphase en aan het einde van 50 jaar restlevensduur van respectievelijk $M_{Rd;2022} = 576 \text{ kNm/m}$ en $M_{Rd;2072} = 454 \text{ kNm/m}$.

E.2 Afleiding damwandreststerkte

De bestaande damwand betreft volgens Omegam [11] een Larsen64/2500 met staalkwaliteit Fe44 met een vloeispanning $f_y = 265 \text{ N/mm}^2$. Het Larsen 64/2500 profiel heeft een traagheidsmoment $I_x = 52500 \text{ cm}^4/\text{m}'$ en $W_x = 2500 \text{ cm}^3/\text{m}'$.

In Figuur E1 staat de lichtere Larsen 64/2400 weergegeven met een flensdikte van 15,1 mm in plaats van de 16 mm van de bij het EMK-terrein toegepaste Larsen 64/2500.



Figuur E1 Afmetingen Larsen 64/2400

Voor dit U-profiel zijn in [3] de correctie factoren voor scheve buiging voor het traagheidsmoment $\beta_b = 0,77$ en voor het weerstandsmoment $\beta_B = 0,77$ afgeleid.

Omdat de flensdikte en lijfdikte niet gelijk zijn dient er een splitsing gemaakt worden in de bijdrage van het lijf en de flens aan de sterkte om de invloed van de degradatie daarop te kunnen bepalen. De flensdikte $e = 16 \text{ mm}$, de profielhoogte is $H = 420 \text{ mm}$ en de dubbele plankbreedte is $2B = 1200 \text{ mm}$. Het lijf met een dikte $d = 10 \text{ mm}$ maakt een hoek van 66° met de neutrale lijn. De bijdrage van het lijf per dubbele plankbreedte aan het traagheidsmoment is:

$$I_{x, \text{lijf}} = \frac{2 \cdot \frac{1}{12} (H - 2e)^3 \cdot \frac{a}{\sin(\alpha)}}{2B} = \frac{2 \cdot \frac{1}{12} (42 - 2 \cdot 1,6)^3 \cdot \frac{1,0}{\sin(66^\circ)}}{2 \cdot 0,6} = 8880 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

Hieruit volgt dat het aandeel van het lijf f_{lijf} aan het traagheidsmoment kan worden bepaald met:

$$f_{lijf} = \frac{I_{x;lijf}}{I_x} = 17\%$$

Het aandeel van lijf aan het weerstandsmoment is eveneens $f_{lijf} = 17\%$. Het aandeel van de flenzen is het overige deel $f_{flens} = 87\%$. De bepaling van de rekenwaarde van de dikteafname is bepaald voor de flenzen waarbij de initiële flensdikte bij installatie gelijk genomen is aan de nominale waarde $e_0 = 16$ mm. Voor de bepaling van de damwandreststerkte wordt ervan uitgegaan dat de dikte afname van het lijf en de flenzen gelijk zijn opgetreden. De gemiddeld gemeten dikte in van de flens in 2019 was 10,42 mm dat is dikker dan nominale dikte van $d = 10$ mm. De gemiddelde nominale dikteafname van de flenzen was in 2019 was 0,69 mm weer deze wordt toegepast wordt op het lijf wordt een initiële dikte van het lijf $d_0 = 11$ mm gevonden. Dat betekent dat het initiële weerstandsmoment iets hoger was dan $W_x = 2500 \text{ cm}^3/\text{m}$. Vervolgens kan het gereduceerde elastisch weerstandsmoment $W_{E;t;rest}$ op tijdstip t tijdens de levensduur worden bepaald met:

$$W_{E;t;rest} = W_E \cdot \left(f_{flens} \cdot \frac{e_0 - a_{d;t}}{e} + f_{lijf} \cdot \frac{d_0 - a_{d;t}}{d} \right) = 2500 \cdot \left(0,83 \cdot \frac{16 - a_{d;t}}{16} + 0,17 \cdot \frac{11 - a_{d;t}}{10} \right)$$

Aan het einde van de restlevensduur in 2072 is de rekenwaarde van de dikteafname¹⁸ flensdikte $a_{d;2072} = 3,78$ mm dus de rekenwaarde van de restdikte van de flens is $16 - 3,78 = 12,22$ mm. En aan het begin van de restlevensduur in 2022 is de rekenwaarde van de dikteafname flensdikte $a_{d;2022} = 0,94$ mm dus

$$W_{E;2022;rest} = 2500 \cdot \left(0,83 \cdot \frac{16 - 0,94}{16} + 0,17 \cdot \frac{11 - 0,94}{10} \right) = 2381 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

$$W_{E;2072;rest} = 2500 \cdot \left(0,83 \cdot \frac{16 - 3,78}{16} + 0,17 \cdot \frac{11 - 3,78}{10} \right) = 1892 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

Als volgende wordt nu getoetst of Met Eurocode 3 deel 5 Tabel C-1 [23] of het profiel aan het einde van de restlevensduur nog een klasse 2 profiel is.

$$\frac{b/t_f}{\varepsilon} \leq 37$$

Met de flensbreedte b in mm, flensdikte t_f in mm en de dimensieloze ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Uitgaande van de $b = 345$ mm uit Figuur E1 volgt:

$$\frac{b/t_f}{\varepsilon} = \frac{345/12,2}{\sqrt{\frac{235}{265}}} = 30,6 \leq 37$$

¹⁸ In deze afleiding is gewerkt met de op 2 decimalen afgeronde waarden van de rekenwaarde van de dikteafname om de invloed van afronden te minimaliseren

Dat betekent dat het profiel aan het einde van de levensduur nog een klasse 2 profiel is. Er mag dan met het volplastisch moment zonder reductie worden gerekend. De reductie factor is dus $\rho_C = 1,0$. Van dit profiel is geen plastisch weerstandsmoment bekend. Het elastisch weerstandsmoment is wel bekend. Omdat het elastisch weerstandsmoment optreedt bij $\rho_C = 0,85$ kan het plastisch weerstandsmoment als volgt worden afgeleid:

$$M_{pl;t;rest} = \frac{M_{E;t;rest}}{\rho_C} = \frac{M_{E;t;rest}}{0,85}$$

Dus de momentcapaciteit is

$$M_{pl;t;rest} = \frac{\beta_B \cdot W_{E;t;rest} \cdot f_y}{\rho_C} = \frac{0,77 \cdot W_{E;t;rest} \cdot 265}{0,85}$$

En aan het begin van de restlevensduur in 2022 en einde van de restlevensduur in 2072:

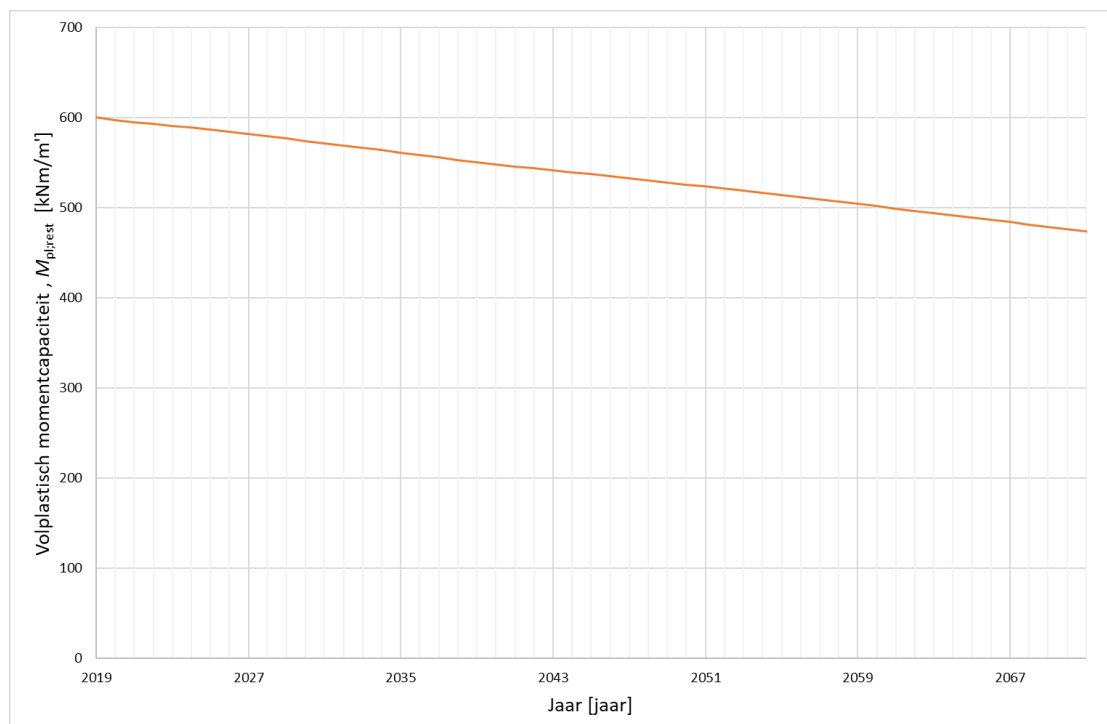
$$M_{pl;2022;rest} = \frac{\beta_B \cdot W_{E;2022;rest} \cdot f_y}{\rho_C} = \frac{0,77 \cdot 2381 \cdot 265}{0,85} = 572 \cdot 10^3 \text{ Nm / m} = 572 \text{ kNm / m}$$

$$M_{pl;2072;rest} = \frac{\beta_B \cdot W_{E;2072;rest} \cdot f_y}{\rho_C} = \frac{0,77 \cdot 1891,6 \cdot 265}{0,85} = 454 \cdot 10^3 \text{ Nm / m} = 454 \text{ kNm / m}$$

En voor $\gamma_{M;0} = 1,0$ is de rekenwaarde van de momentcapaciteit:

$$M_{Rd;2022;rest} = M_{pl;2022;rest} \cdot \gamma_{M;0} = 572 \cdot 1,0 = 572 \text{ kNm / m}$$

$$M_{Rd;2072;rest} = M_{pl;2072;rest} \cdot \gamma_{M;0} = 454 \cdot 1,0 = 454 \text{ kNm / m}$$



Figuur E2 Damwandreststerkte Larsen 64/2400 op basis van volplastisch weerstandsmoment

E.3 Toetsing

De in de berekeningen aan het einde van de restlevensduur in 2072 aangehouden rekenwaarde van de momentcapaciteit van $M_{Rd;2072} = 454$ kNm/m komt overeen met de in E.2 afgeleide waarde $M_{Rd;2072;rest} = 454$ kNm/m. De in de berekeningen aan het einde van de restlevensduur in 2022 aangehouden rekenwaarde van de plastische momentcapaciteit van $M_{Rd;2022} = 576$ kNm/m is 0,7% lager de in E.2 afgeleide waarde $M_{Rd;2072;rest} = 572$ kNm/m. Echter het verschil van 0,7% heeft geen invloed op de beoordeling berekeningsresultaten van het ontwerp [24] omdat het maximaal berekende moment lager is dan het in deze bijlage afgeleide volplastische momentcapaciteit. De resultaten zijn weergegeven in Tabel E1.

Opgemerkt wordt dat de oorzaak van het gevonden verschil van 0,7% is veroorzaakt doordat in [19] er van de verwachtingswaarde de dikteafname van 0,83 mm is uitgegaan en in E.2 van de rekenwaarde van de dikteafname van 0,94 mm.

Tabel E1 Toetsing berekende momenten aan de volplastische momentcapaciteit

Rekenwaarde van de restmomentcapaciteit	Berekend moment [kNm/m]	Volplastische momentcapaciteit [kNm/m]	Voldoet de ontwerpwaarde?
Begin restlevensduur (2022)	563	572	ja
Einde restlevensduur (2072)	430	454	ja

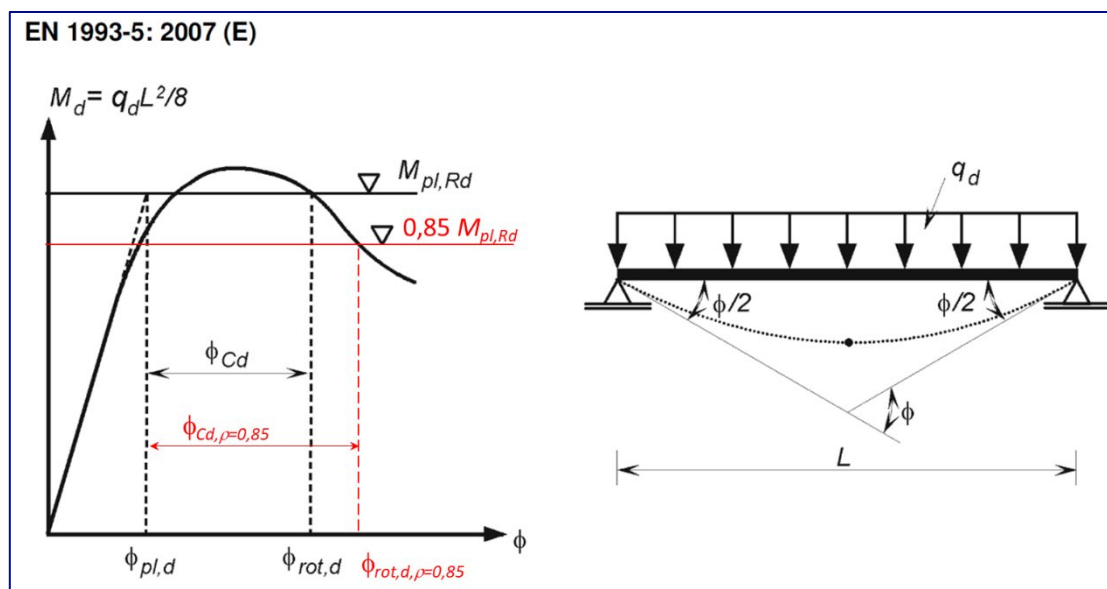
F Plastische scharnieren

F.1 Aanleiding

In de vorige versie van het ontwerp [19] waren PLAXIS-berekeningen uitgevoerd met plastische scharnieren. De plastische rotatiecapaciteit van een damwand heeft een significante invloed op de betrouwbaarheid van de damwandconstructie. De bepaling van de plastische rotatiecapaciteit van een damwandprofiel is een bekende onzekerheidsbron. Om deze reden is nader gekeken de toepassing van plastische scharnieren. In PLAXIS-berekeningen van januari 2022 [24] is aangetoond dat de optredende momenten beneden het volplastisch moment blijven treden en treden er dus geen plastische scharnieren op. Al hoewel niet meer nodig nu er geen plastische scharnieren optreden is voor de volledigheid is bijlage F, onderdeel gebleven van deze brief.

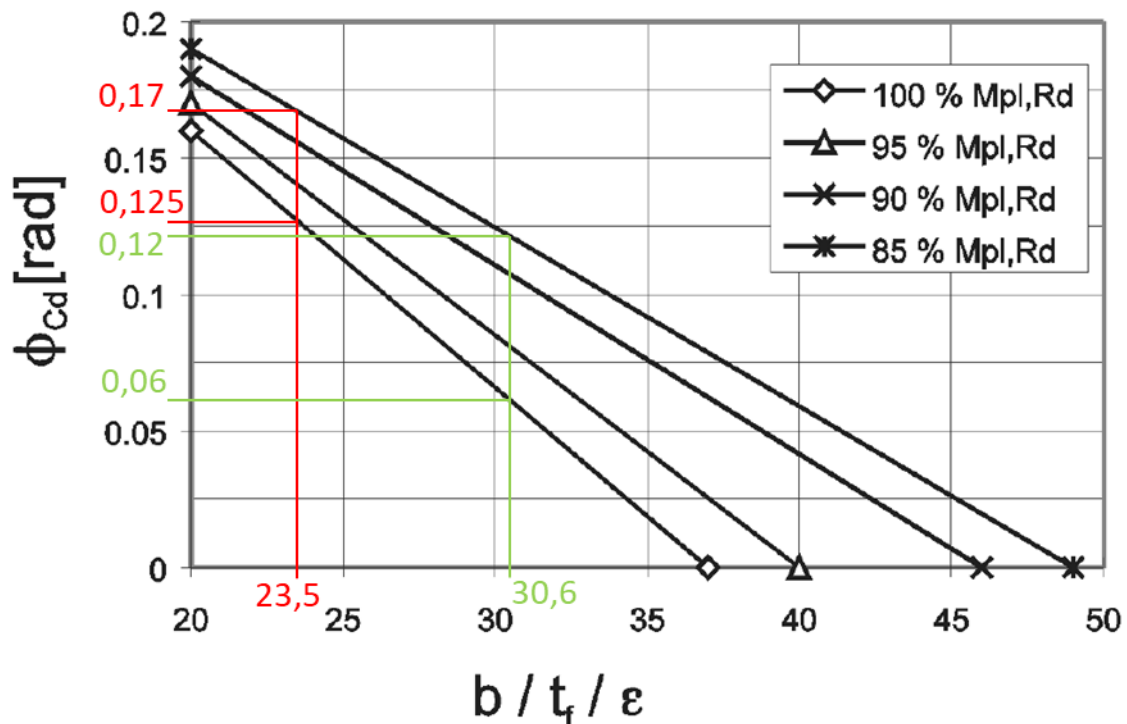
F.2 Plastische rotatiecapaciteit

In het geval van het optreden van plastische scharnieren in een berekening wordt de capaciteit van een damwandprofiel bepaald door de plastische rotatiecapaciteit. De plastische rotatiecapaciteit is de maximale rotatie die die een plastisch scharnier met een vloeimomentcapaciteit kan opnemen. Links in Figuur F1 is voor een klasse 2 damwandprofiel aangegeven hoe in de NEN-EN1993-5 [23] de plastische rotatiecapaciteit is gedefinieerd. Een plastisch scharnier met een volplastische momentcapaciteit in een klasse 2 profiel heeft een plastische rotatiecapaciteit ϕ_{Cd} . Bij grotere plastische rotatie dan ϕ_{Cd} treedt er softening op, waarbij toenemende plastische rotatie de momentcapaciteit van het plastische scharnier afneemt. Aan de linkerzijde van Figuur F1 is de situatie geschetst van de rotatiecapaciteit op het moment dat de sterkte van plastische scharnier is gereduceerd tot 85% van het volplastisch moment hetgeen overeenkomt met het elastische moment.



Figuur F1 Definitie van de plastische rotatiecapaciteit ϕ_{Cd} in de Eurocode 3 deel 5 [23] voor plastisch scharnier met de volplastische momentcapaciteit ($\rho=1$). En daarin rood geschetst de toegenomen plastische rotatiecapaciteit scharnier in een klasse 2 profiel met een tot het elastisch moment gereduceerde momentcapaciteit ($\rho=0,85$)

De grootte van de plastische rotatiecapaciteit kan met Figuur F2 worden bepaald.



Figuur F2 Plastische rotatiecapaciteit ϕ_{Cd} van een U-vormig damwandprofiel voor verschillende sterkte van het plastisch scharnier uit Eurocode 3 deel 5 [23]. Met in rood de plastische rotatie capaciteit van aangegeven aan het begin van de restlevensduur in 2022 voor een plastisch scharnier met de volplastische momentcapaciteit ($100\%M_{pl,Rd}$) en de tot het elastisch moment gereduceerde momentcapaciteit ($85\%M_{pl,Rd}$) en in groen de waarden aan het einde van de restlevensduur in 2072

Als eerste wordt voor het damwandprofiel aan het begin en het einde van de restlevensduur ingangswaarde van Figuur F2 bepaald:

$$\frac{b/t_f}{\varepsilon}$$

Met de flensbreedte b in mm, flensdikte t_f in mm en de dimensieloze ε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Uitgaande van de $b = 345$ mm uit Figuur E1 volgt voor het begin van de restlevensduur in 2022 een waarde:

$$\frac{b/t_f}{\varepsilon} = \frac{345/15,6}{\sqrt{\frac{235}{265}}} = 23,5$$

En voor het einde van de restlevensduur in 2072 is de waarde:

$$\frac{b/t_f}{\varepsilon} = \frac{345/12,2}{\sqrt{\frac{235}{265}}} = 30,6 \leq 37$$

Met deze twee gevonden waarden kan nu met behulp van Figuur F2 de plastische rotatiecapaciteit aan het begin en einde van de restlevensduur voor een plastisch scharnier met een volplastische momentcapaciteit ($100\%M_{pl,Rd}$) en de tot het elastisch moment gereduceerde momentcapaciteit ($85\%M_{pl,Rd}$) worden bepaald. De resultaten zijn in Tabel F1 weergegeven.

Tabel F1 Plastische rotatie capaciteit

Fase	Plastische	Momentcapaciteit plastisch scharnier [kNm/m]	Plastische rotatie- capaciteit, ϕ_{Cd} [rad]
Begin restlevensduur (2022)	100 % $M_{pl,Rd}$	576	0,125
	85 % $M_{pl,Rd} = M_{Elas}$	490	0,17
Einde restlevensduur (2072)	100 % $M_{pl,Rd}$	454	0,06
	85 % $M_{pl,Rd} = M_{Elas}$	386	0,12