



POVM consequenties Eurocode

Rapportage

Waterschap Rivierenland

30 december 2020

Project POVM consequenties Eurocode
Opdrachtgever Waterschap Rivierenland

Document Rapportage
Status Definitief
Datum 30 december 2020
Referentie 108616/18-020.074

Projectcode 108616
Projectleider ir. J.J.M. Sluis
Projectdirecteur ir. R.A. de Heij

Auteur(s) ir. T. Naves
Gecontroleerd door ir. H.J. Lengkeek, ir. J.J.M. Sluis
Goedgekeurd door ir. J.J.M. Sluis

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Afbakening	5
1.4	Leeswijzer	6
2	VERGELIJKING BEOOGDE BETROUWBAARHEID	7
2.1	Waterwet	7
2.2	Eurocode	8
2.3	Interpretatie vergelijking beoogde betrouwbaarheid	10
3	VERGELIJKING SEMI-PROBABILISTISCHE REKENREGELS	12
3.1	Ontwerpfilosofie	12
3.2	Partiële factoren	13
3.3	Bovenbelasting	16
3.4	Grondparameters	16
3.5	Hydraulische randvoorwaarden (waterstanden)	18
3.6	Corrosiesnelheid	20
3.7	Bodemdaling en toets draagvermogen	21
3.8	Vervormingseisen	21
3.9	Overzicht vergelijking Waterwet en Eurocode	22
3.10	Vergelijking semi-probabilistische rekenregels Eurocode en Waterwet	24
4	UITWERKING CASES	26
4.1	Case A: Toets sterkte en stabiliteit binnenwaarts	27
4.1.1	Uitgangspunten Case A	27
4.1.2	Resultaten	29
4.2	Case B: Toets sterkte en stabiliteit buitenwaarts	31
4.2.1	Uitgangspunten Case B	31
4.2.2	Resultaten	33

5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	36
6	REFERENTIES	40
	Laatste pagina	40
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Damwanden in primaire waterkeringen en de toepassing van het Bouwbesluit en NEN-normen	3
II	Generieke Uitgangspunten Case A	3
III	Generieke uitgangspunten Case B	3

1

INLEIDING

Vanuit de POVM is gevraagd te onderzoeken wat voor waterkeringen met verschillende norm de consequenties zijn van het toepassen van de Eurocode. In welke gevallen wordt dit een eis om rekening mee te houden, naast de eisen uit de Waterwet. De achtergrond van de vraag is dat een constructie in een waterkering, zoals een stabiliteitsverhogende damwand, wordt gezien als een bouwwerk. Voor bouwwerken geldt dat het Bouwbesluit van toepassing is, waardoor voldaan moet worden aan de eisen uit de Eurocode.

1.1 Aanleiding

Aanleiding van dit onderzoek is een juridische beoordeling (zie bijlage I) waaruit volgt dat conform het Bouwbesluit een damwand in een waterkering aan het Bouwbesluit moet voldoen en daarmee dus ook aan de Eurocode, meer specifiek NEN9997-1. Deze conclusie volgt uit de definitie van een 'bouwwerk' conform de model-bouwverordening. De definitie van bouwwerk: *'elke constructie van hout, steen, metaal of ander materiaal, die op de plaats van bestemming hetzij direct of indirect steun vindt in of op de grond'*. Een damwand in een dijk voldoet aan deze criteria en daarom is dus ook het Bouwbesluit van toepassing.

Dit zou betekenen dat voor stabiliteitsverhogende constructies altijd twee verificaties gemaakt moeten worden. Echter is er in het Bouwbesluit ook een gelijkwaardigheidsbepaling opgenomen. Dit houdt in dat *aan een in het Bouwbesluit gesteld voorschrift niet hoeft te worden voldaan, indien het bouwwerk anders dan door toepassing van het desbetreffende voorschrift ten minste dezelfde mate van veiligheid biedt als beoogt met het voorschrift.*

Als men gebruik wil maken van de gelijkwaardigheidsbepaling, dan dient te worden aangetoond dat het bouwwerk ten minste eenzelfde mate van veiligheid biedt als is beoogd met het betrokken voorschrift. In dit geval gaat het dan om eenzelfde mate van veiligheid als op grond van NEN-EN 1990 of NEN 8700 geldt voor een damwand ((BJZ/WIO), 2018).

Voor het toepassen van het gelijkwaardigheidsprincipe bij langconstructies in waterkeringen volgt de mate van veiligheid niet uit NEN-EN 1990 maar uit de Waterwet.

1.2 Doel

Het doel van dit document is een pragmatisch invulling te geven in geval van een dubbele beoordeling van langconstructies in waterkeringen.

Daarnaast zijn vergelijkbare semi probabilistische berekening uitgevoerd waarin zowel de Waterwet als Eurocode aanpak en resultaten worden vergeleken. Het doel van deze berekeningen is te verkennen welke van de normen maatgevend is en of een dergelijke aanpak haalbaar is in praktijk.

1.3 Afbakening

In het voorliggende document is voor een tweetal cases een ontwerp conform de Waterwet vergeleken met een ontwerp conform de Eurocode. Hierbij is enkel het faalmechanisme macrostabiliteit beschouwd en dus niet het constructief bezwijken van een kunstwerk (bijvoorbeeld fundering).

De vergelijking tussen de Eurocode en Waterwet beperkt zich in dit document enkel en alleen op het ontwerp van de constructie, uitvoering en toetsing van bestaande constructies valt buiten scope van dit rapport. Wat betreft uitvoering wordt daarbij opgemerkt dat de Eurocode naast ontwerprichtlijnen ook uitgebreide richtlijnen heeft met betrekking tot de uitvoering en leveringsvoorwaarden van producten, alle producten dienen bijvoorbeeld voorzien te zijn van een CE keurmerk. Hetgeen niet is vastgelegd in de Waterwet. Daar waar tijdens de uitvoering interactie is met de omgeving dienen deze Eurocode richtlijnen in acht genomen te worden. De toekomstige POV-M Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies (Deltares, 2018) geeft hier verdere invulling aan.

Wat betreft bestaande bouw wordt verwezen naar NEN-EN 8700 en het WBI 2017.

Als onderdeel van deze studie zijn geen probabilistische analyses uitgevoerd ter kalibratie van partiële factoren en/of belastingen. In beginsel geeft de Eurocode namelijk ook de mogelijkheid om de betrouwbaarheid aan te tonen middels een volledig probabilistische analyse. In dat geval zou de Eurocode en de Waterwet met eenzelfde doelbetrouwbaarheid tot hetzelfde ontwerppunt moeten komen. In dit onderzoek zijn enkel de beoogde betrouwbaarheid en de daarvoor beschikbare semi-probabilistische rekenregels met elkaar vergeleken.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport is de vergelijking gemaakt tussen de betrouwbaarheidsfilosofie conform de Eurocode en de Waterwet. Als eerste stap is in hoofdstuk 2 de boogde betrouwbaarheid conform beide normen met elkaar vergeleken. In hoofdstuk 3 zijn de belangrijkste kenmerken en semi-probabilistische rekenregels van beide normen met elkaar vergeleken. Op basis van deze vergelijking zijn een aantal situaties vastgesteld waarvan verwacht wordt dat een specifieke norm maatgevend/geschikt is. In hoofdstuk 4 is een ontwerp gemaakt voor een tweetal cases conform zowel de Eurocode als de Waterwet ter validatie van de verwachting uit het voorgaande hoofdstuk. In hoofdstuk 5 zijn de conclusies en aanbevelingen voor de praktijk gepresenteerd.

2

VERGELIJKING BEOOGDE BETROUWBAARHEID

2.1 Waterwet

In de Waterwet is voor een totaal dijktraject een wettelijke norm gegeven waaraan de overstromingskans van het hele traject aan moet voldoen. De norm van een dijktraject kan variëren tussen de 1:100 en 1:100.000¹. Voor de indeling van een dijktraject is gekeken naar het gebied dat kan overstromen, naar de omvang van de gevolgen, aard van de bedreiging en naar de lengte van de trajecten.

De som van de faalkansbijdragen van alle faalmechanismen mag niet groter zijn dan de norm. De beschikbare faalkansruimte (= overstromingskansnorm) moet daarom verdeeld worden over de faalmechanismen. Per faalmechanisme moeten vervolgens faalkanseisen op doorsnedeniveau worden bepaald, zodanig dat de som van de faalkansbijdragen van alle individuele doorsneden in het dijktraject past binnen de totaal beschikbare faalkansruimte voor het betreffende faalmechanisme (OI2014v4, 2017).

De vertaalslag van maximaal toelaatbare overstromingskans op trajectniveau (P_{eis}) naar faalkanseisen per faalmechanisme op doorsnedeniveau ($P_{eis;dsn}$) gebeurt op basis van:

$$P_{eis;dsn} = \frac{P_{eis} \cdot \omega}{N}$$

- faalkansbegroting (ω): voor de damwand is de faalkansruimte voor macrostabiliteit binnenwaarts van belang. Het WBI2017 geeft als 'voorzet' dat voor macrostabiliteit een faalkansruimte van 4 % toegepast kan worden. Echter kan dit per project aangepast worden, als bijvoorbeeld piping uitgesloten is dan kan de faalkansruimte herverdeeld worden zodat de eisen aan macrostabiliteit soepeler worden;
- lengte-effect (N): afhankelijk van de trajectlengte.

Ook op doorsnede niveau wordt een faalkansverdeling toegepast om van de faalkans op doorsnedeniveau naar een faalkans van de damwand te gaan. Het recent opgestelde POV-M Publicatie Eindige Elementen Methode (POVM-EEM, 2018) (PPE) geeft aanwijzingen hiervoor. Hieruit volgt dat voor het bezwijken van een damwand een faalkansruimte van 33 % toegepast moet worden.

Uit de faalkanseis volgt de geëiste betrouwbaarheidsindex (β) volgens:

$$\beta_{eis} = -\Phi^{-1}(P_{eis;dsn})$$

Hierin is Φ^{-1} de inverse van de standaardnormale verdeling.

In afbeelding 2.1 is de resulterende betrouwbaarheidsindex (β) weergegeven voor alle dijktrajecten in Nederland op basis van:

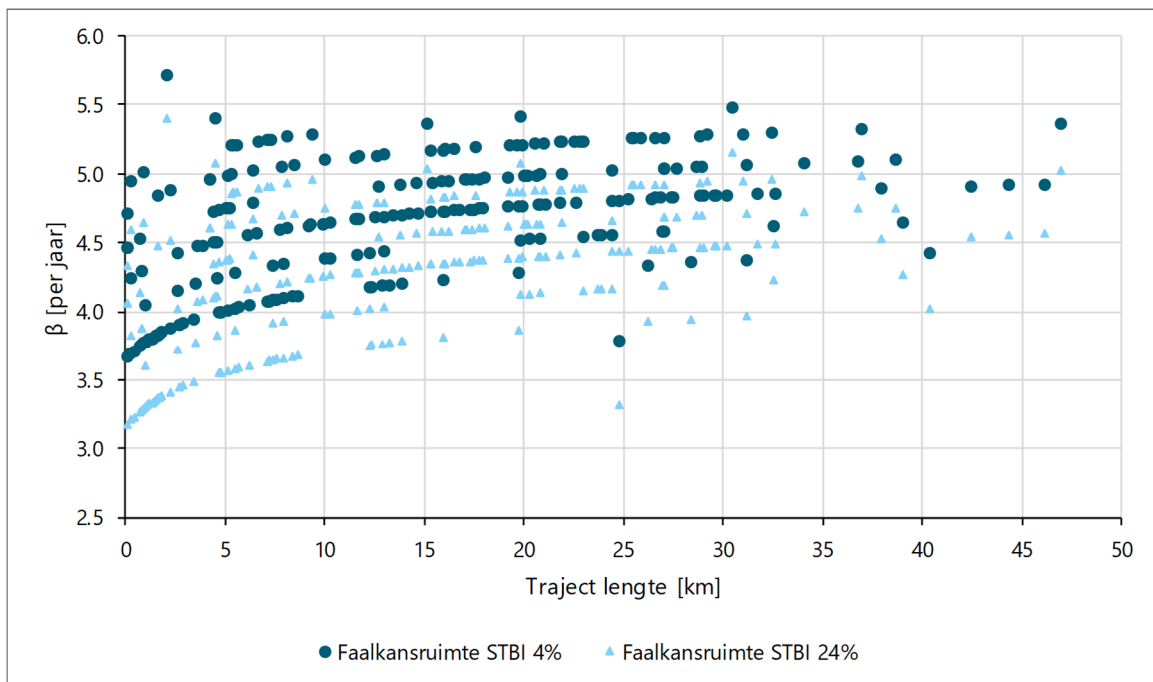
- trajectlengtes en toelaatbare faalkansen conform (OI2014v4, 2017) Bijlage A;
- faalkansruimte STBI van 4 % en 24 %;
- faalkansruimte damwand op doorsnede niveau van 33 %.

¹ Ter plaatse van de kerncentrale te Borssele is dit norm zelfs 1:1.000.000.

In afbeelding 2.1 is de betrouwbaarheidsindex uitgezet tegen de trajectlengte waarbij duidelijk de afhankelijkheid van trajectlengte en norm is te zien. Daarnaast geeft de grotere faalkansruimte voor STBI ook een aanzienlijk lagere faalkanseis.

De hier genoemde betrouwbaarheidsindex geldt voor de toets van de binnenwaartse macrostabiliteit. Bij het ontwerp van de buitenwaartse stabiliteit wordt doorgaans een kans op overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies van 0,1 aangehouden [OI2014v4].

Afbeelding 2.1 Minimale Betrouwbaarheidsindex (β_{STBI}) afhankelijk van traject lengte voor alle dijktrajecten in Nederland



2.2 Eurocode

Ten behoeve van de betrouwbaarheidsdifferentiatie dient de van toepassing zijn de gevolgklassen (CC) te worden gekozen door het beschouwen van de gevolgen van bezwijken of slecht functioneren van de constructie, zie tabel 2.1.

Tabel 2.1 Definitie gevolgklassen (NEN-EN 1990, 2011)

Tabel B1 — Definitie van gevolgklassen

Gevolgklasse CC	Omschrijving	Voorbeelden van gebouwen en civieltechnische werken
CC3	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of zeer grote economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Tribunes, openbare gebouwen waarbij de gevolgen van het bezwijken groot zijn (bijv. een concertzaal)
CC2	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, aanzienlijke economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Woon- en kantoorgebouwen, openbare gebouwen waar de gevolgen van bezwijken beperkt zijn (bijv. een kantoorgebouw)
CC1	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of kleine of verwaarloosbare economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Gebouwen voor de landbouw waar mensen normaal niet verblijven (bijv. opslagschuren, tuinbouwkassen)

Voor een waterkering versterkt met een constructief element zijn de gevolgen afhankelijk van het gebied dat kan overstromen, de omvang van de gevolgen en aard van de bedreiging. De indeling in consequentieklassen conform de Eurocode geeft ruimte voor een vrije interpretatie door de ontwerper. De gevolgklasse wordt vervolgens vertaald naar de betrouwbaarheidsklassen. De betrouwbaarheidsklassen (RC) worden gedefinieerd met behulp van het β -betrouwbaarheidsconcept. De betrouwbaarheid klassen RC1, RC2 en RC3 mogen daarbij in één verband worden gezien met de gevolgklassen CC1, CC2 en CC3.

De Eurocode geeft daarbij minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex zie tabel 2.2. De betrouwbaarheidseis in de Eurocode wordt standaard gesteld voor de levensduur, 50 jaar. Gemiddeld genomen moet de faalkans per jaar dan (bij benadering) 1/50e zijn van de faalkanseis voor 50 jaar.

Anders gezegd, de omrekening van de β bij 50 jaar naar 1 jaar geldt als de onzekerheid gedomineerd wordt door de belasting (bijvoorbeeld de (buiten)waterstand). Echter geldt bij geotechnische constructies en, met name bij een stabiliteitswand in een dijk, dat de onzekerheid van de grondeigenschappen minstens zo belangrijk is als de buitenwaterstand. Met name als er geen opdrijven of opbarsten optreedt, wordt de belasting op de damwand gedomineerd door de grondsterkte. Aangezien de grondeigenschappen niet elk jaar statistisch onafhankelijk zijn geldt onderstaande omrekening niet en zal de β voor de 1 jaar referentieperiode veel dichter bij de β van de 50 jaar periode liggen.

Voor dergelijke situaties waarin er een sterkte mate van correlatie is kan bij de omrekening van de betrouwbaarheid per jaar (Waterwet) naar de betrouwbaarheid over de levensduur (Eurocode) gebruik gemaakt worden van de Leidraad voor Kunstwerken waarin een levensduur factor wordt voorgesteld. Voor de levensduurfactor kan in eerste instantie uit worden gegaan van 1 met een maximum van 10.

Tabel 2.2 Minimumwaarden voor β (NEN-EN 1990, 2011)

Tabel B2 — Aanbevolen minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex β (uiterste grenstoestanden)

Betrouwbaarheids- klasse RC	Minimumwaarden voor β	
	1 jaar referentieperiode	50 jaar referentieperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

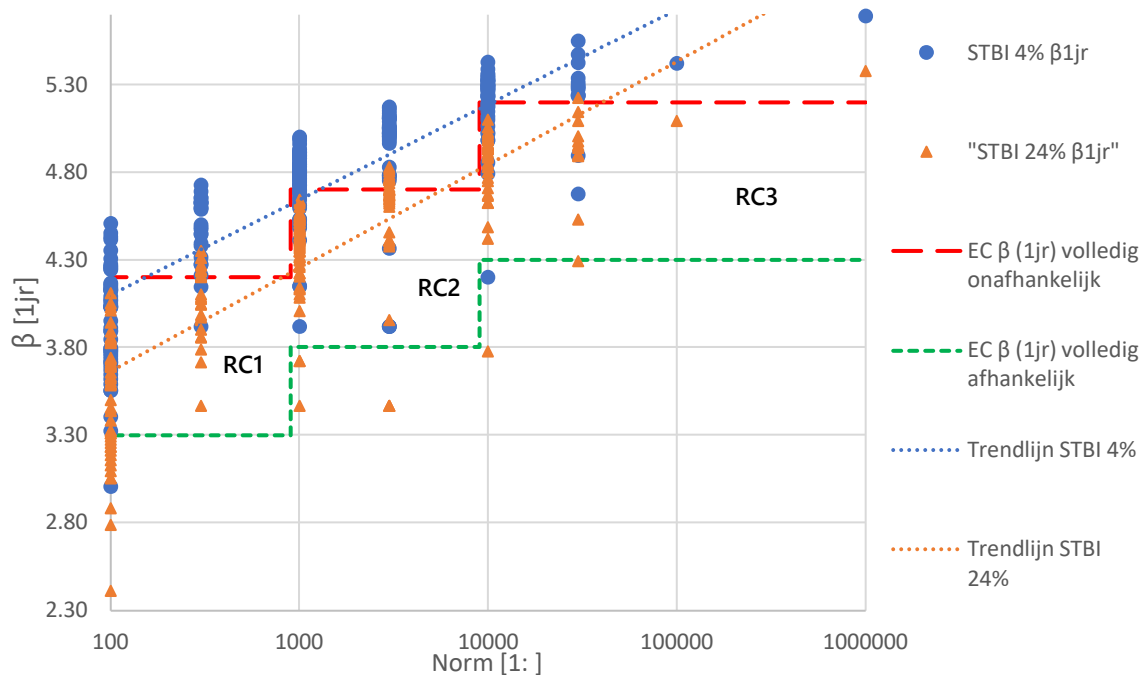
2.3 Interpretatie vergelijking beoogde betrouwbaarheid

Een exacte vergelijking tussen de betrouwbaarheid conform de Waterwet en de Eurocode is gecompliceerd omdat de relatie tussen de gevolgklasse en overstromingskansnorm niet vast staat en de grenstoestanden kunnen verschillen.

Toch is de te behalen betrouwbaarheid conform Eurocode en Waterwet enigszins aan elkaar te relateren. De vereiste betrouwbaarheid is voor beide normen ten slotte gebaseerd op de gevolgen bij bezwijken. Deze afweging is binnen de Waterwet per dijktraject gemaakt en vastgelegd in de wettelijke norm waaraan het dijktraject aan moet voldoen.

De betrouwbaarheidsindex conform de Eurocode en de Waterwet zijn met elkaar vergeleken in Afbeelding 2.2. Echter is de omrekening voor de β van een 50-jaars referentieperiode naar een 1-jaars referentieperiode voor de Eurocode niet eenduidig. In **Error! Reference source not found.** zijn daarom 2 lijnen voor de doelbetrouwbaarheid conform de eurocode weergegeven. Als bovengrens is de β weer gegeven uitgaande van volledige onafhankelijkheid en als ondergrens is de β weergegeven uitgaande van volledige afhankelijkheid. De toepassing van een levensduurfactor van 10 jaar conform de Leidraad voor Kunstwerken geeft een tussengelegen waarde.

Afbeelding 2.2 Betrouwbaarheidsindex (β) afhankelijk van de gestelde norm voor alle dijktrajecten in Nederland



Op basis van bovenstaande figuur is in Tabel 2.3 bij benadering een vergelijking gemaakt tussen de norm van het dijktraject en de gevolgklasse in:

- dijkkringen met een norm van 1:100/1:300 hebben veelal een beperkte kerende hoogte en/of een relatief klein overstromingsgebied in het achterland. Op basis daarvan is de verwachting dat de economische gevolgen bij overstroming gering zijn en het verlies op mensenlevens zeer klein (CC1);
- aan de andere kant zijn dijkkringen met een norm van 1:10.000 of strenger vaak gelegen langs druk stedelijk gebied en hebben een groot overstromingsgebied. De gevolgen bij bezwijken kunnen dus zeer groot zijn (CC3);
- dijkkringen met een norm van 1:1000/1:3000 zitten hier tussenin en daarom worden deze ingedeeld in CC2.

Tabel 2.3 Benaderende vergelijking norm dijktraject (Waterwet) en consequentieklaas conform (Eurocode) ¹

Norm*	1:100	1:1000	1:10.000
	1:300	1:3000	1:30.0000 1:100.000 1:1.000.000
Gevolgklasse	CC1	CC2	CC3

* Dit betreft de ondergrenswaarde oftewel de maximaal toelaatbare faalkans.

Opgemerkt wordt dat conform de Eurocode geen lengte-effect toegepast hoeft te worden op de vereiste betrouwbaarheid. Echter wordt er conform de CUR 166 (Damwandconstructies) en de CUR 211 (Handboek Kademuren) in de Nederlandse ontwerppraktijk wel een lengte-effect geïntroduceerd op de vereiste betrouwbaarheid als de constructie in een primaire waterkering wordt geplaatst. Voor dit onderzoek wordt deze factor geïnterpreteerd als een middel om het ontwerp conform de Eurocode op de Nederlandse Waterwet te laten aansluiten. Dit is echter niet een doelbetrouwbaarheid of ontwerpregel die volgt uit de Eurocode. Daarom is in de uitwerking van de cases geen rekening gehouden met een verhoogde te behalen betrouwbaarheidsindex als gevolg van het lengte-effect.

¹ De Waterwet en Eurocode geeft deze vergelijking niet. De gepresenteerde vergelijking is op basis van expert judgement en kan dus aan discussie onderhevig zijn.

3

VERGELIJKING SEMI-PROBABILISTISCHE REKENREGELS

In dit hoofdstuk is een vergelijking gemaakt tussen de semi-probabilistische rekenregels conform de Eurocode en Waterwet. Daarbij zijn de volgende onderwerpen vergeleken:

- paragraaf 3.1: ontwerpfilosofie;
- paragraaf 3.2: partiële factoren;
- paragraaf 3.3: bovenbelasting;
- paragraaf 3.4: grondparameters;
- paragraaf 3.5: hydraulische randvoorwaarden (waterstanden);
- paragraaf 3.6: corrosiesnelheid;
- paragraaf 3.7: bodemdaling en toets draagvermogen;
- paragraaf 3.8: vervormingseisen.

3.1 Ontwerpfilosofie

Waterwet

Conform de Waterwet (OI2014v4, 2017) dient een ontwerp gemaakt te worden op basis van een overstromingskansbenadering. Dit betekent dat nadrukkelijk gekeken moet worden naar de kans op het verlies van het waterkerend vermogen, met een overstroming tot gevolg die leidt tot 'substantiële schade of slachtoffers' (uiterste grenstoestand). Dit is anders dan de voormalige veiligheidsfilosofie, waarbij het uitgangspunt is dat de ontwerpwaterstand veilig gekeerd dient te worden. De voormalige ontwerpregels zijn veelal gebaseerd op criteria die verband houden met het begin van falen. Dit betekent dat een bepaald criterium (bijvoorbeeld schade aan de bekleding op kruin en binnentalud) niet mag worden overschreden. Reststerkte wordt hierbij normaliter niet in ogenschouw genomen. In de overstromingskansbenadering is dit nadrukkelijk anders.

Voor een constructief versterkte dijk betekent dit bijvoorbeeld dat in theorie constructief bezwijken van de damwand is toegestaan mits de dijk nog voldoende reststerkte heeft om het water te keren. Echter is het in de praktijk erg moeilijk om de betrouwbaarheid na bezwijken van een constructief element aan te tonen en daarom wordt meestal verondersteld dat bezwijken van de constructie ook leidt tot bezwijken van de waterkering.

Eurocode

Conform de Eurocode wordt er onderscheid gemaakt tussen uiterste grenstoestanden en bruikbaarheidsgrenstoestanden. Uiterste grenstoestanden hebben betrekking op de veiligheid van personen en/of de veiligheid van de constructie [EN 1990 artikel 3.3]. Bruikbaarheidsgrenstoestanden hebben betrekking op het functioneren van de constructie of delen ervan onder normaal gebruik, het comfort van mensen, het uiterlijk van de bouwwerken [EN 1990 artikel 3.4].

Daarnaast maakt de Eurocode onderscheid in drie verschillende ontwerpsituaties (EN 1990 artikel 3.2):

- blijvende ontwerpsituaties, omstandigheden onder normaal gebruik;
- tijdelijke ontwerpsituaties, tijdelijke omstandigheden tijdens bijvoorbeeld uitvoering of herstel;
- buitengewone ontwerpsituaties, uitzonderlijke omstandigheden.

Voor elke geotechnische ontwerpsituatie moet zijn getoetst dat geen enkele er toe doende grenstoestand is overschreden.

Voor een waterkering, ontworpen conform de Eurocode, betekent dit dat in de uiterste grenstoestand de constructieve sterkte en stabiliteit van de waterkering getoetst moeten worden en in de bruikbaarheidsgrenstoestand de vervormingen (functioneren van de constructie). Voor de blijvende ontwerpsituatie wordt gerekend met de waterstanden binnen de referentieperiode (zie hoofdstuk 3.5) en partiële factoren conform hoofdstuk 3.2. Daarnaast dient de buitengewone ontwerpsituatie beschouwd te worden. Daarbij wordt uitgegaan van de extreme waterstand (gelijk aan waterstand conform Waterwet) en partiële factoren gelijk aan 1,0 (NEN 9997-1 artikel 2.4.7.1).

De directe vergelijking tussen de Eurocode en de Waterwet is moeilijk direct te maken gezien de verschillen: de overstromingskansbenadering conform de Waterwet of de verschillende grenstoestanden en ontwerpsituaties conform de Eurocode.

3.2 Partiële factoren

Om de vereiste betrouwbaarheid te realiseren in het ontwerp worden zowel in de Eurocode als in de Waterwet partiële factoren toegepast. Voor beide ontwerpmethodieken geldt als uitgangspunt de karakteristieke materiaaleigenschappen. De rekenwaarden worden bepaald door de karakteristieke waarden¹ van materiaaleigenschappen te delen door de partiële materiaalfactoren.

Waterwet

Conform de Waterwet (OI2014v4, 2017) worden de volgende factoren onderscheiden:

- schadefactor γ_n ;
- modelfactor γ_d ;
- materiaalfactor γ_m ;
- schematiseringsfactor γ_b .

Hierbij worden de schadefactor, de modelfactor en de materiaalfactor als partiële factor op de materiaalsterkte van de grond toegepast. De schematiseringsfactor wordt voor geotechnische stabiliteit ook toegepast op de materiaalsterkte, maar voor de toets van de damwand en het anker wordt de schematiseringsfactor toegepast op de resulterende belasting (POVM-EEM, 2018).

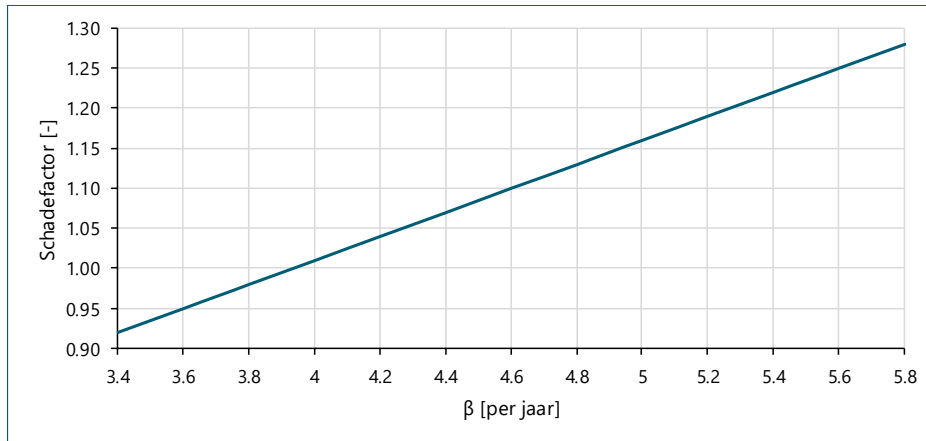
Schadefactor γ_n

Via de schadefactor worden de effecten van de overstromingskansnorm en het lengte-effect in rekening gebracht via onderstaande relatie met de geëiste betrouwbaarheidsindex voor een doorsnede, in afbeelding 3.1 is deze relatie grafisch weergegeven. In afbeelding 2.1 is te zien dat de te behalen β in de range van 3,4 tot 5,8 is. Dit betekent dat de schadefactor in de range van 0,92 tot 1,28 kan liggen.

$$\gamma_n = 0,15 \cdot \beta_{eis} + 0,41$$

¹ De karakteristieke waarden dienen zo te worden afgeleid dat de berekende waarschijnlijkheid van een slechtere waarde voor de beschouwde grenstoestand niet meer dan 5 % bedraagt [NEN-EN 9997-2 artikel 2.4.5.2].

Afbeelding 3.1 Relatie schadefactor en betrouwbaarheid (β)



Modelfactor γ_d

Naast de schadefactor dient de grondsterkte ook gereduceerd te worden voor de modelfactor. Conform BEEM dient voor EEM-berekeningen een modelfactor van 1,06 toegepast te worden.

Materiaalfactor γ_m

Bij toepassen van het CSSM-materiaalmodellen hebben alle materiaalfactoren de waarde 1,0 gekregen. Dit geldt ook voor de s_u bij de Dijken op Veen methode (OI2014v4, 2017).

Schematiseringsfactor γ_b

Voor het ontwerp van een damwand dient conform de PPE een geotechnische en constructieve schematiseringsfactor bepaald te worden om schematiseringsonzekerheden af te dekken. Afhankelijk van hoe groot de onzekerheid is in de basisschematisering kan de schematiseringsfactor variëren. In de praktijk ligt deze vaak in de range van 1,05 tot 1,15.

Eurocode

Voor een ontwerp conform NEN9997-1 worden partiële factoren toegepast op de materiaaleigenschappen en belastingen. In tabel 3.1 zijn de partiële belastingfactoren¹ weergegeven voor een referentieperiode van 50 jaar. Voor het ontwerp van een damwand mag geen gunstige veranderlijke belasting worden meegenomen, ongunstige veranderlijke belastingen moeten worden verhoogd afhankelijk van de veiligheidsklasse (zie onderschrift b in tabel 3.1) en de aard van de belasting.

Voor constructieve belastingen en geotechnische belastingen op een fundering gelden de partiële belastingfactoren conform kolom A1, voor geotechnische belastingen op grondkerende constructies geldt kolom A2-Damwand [NEN 9997-1 artikel 2.4.2].

In tabel 3.2 zijn de aan te houden partiële materiaalfactoren weergegeven. Ook hierbij is de aan te houden partiële factor afhankelijk van de veiligheidsklasse.

¹ Merk op dat de Eurocode ook partiële factoren geeft voor de toets van het statisch evenwicht (EQU), deze factoren wijken af van de factoren uit Tabel 3.1 en Tabel 3.2. Deze controle is alleen van toepassing in het geval de sterkte van de constructieve materialen en de ondergrond geen noemenswaardige bijdrage levert aan de weerstand (zoals een stijve fundering op gesteente) (NEN-EN 9997-1 artikel 2.4.7.1 en artikel 2.4.7.2).

Tabel 3.1 Partiële belasting factoren conform (NEN 9997-1+C2, 2017)

Tabel A.3 — Partiële factoren voor belastingen (γ_F) of belastingseffecten (γ_E)

Belasting		Symbool	Combinatie		
			A1	A2	
				Overig	Damwand
Permanent	Ongunstig	γ_G	1,35 ^{a b c}	1,0	1,0
	Gunstig		0,9	1,0	1,0
Veranderlijk	Ongunstig	γ_Q	1,5 ^b	1,3 ^b	1,1 ^b
	Gunstig		0	0	0

^a Alleen bij kleine veranderlijke belastingen is deze waarde maatgevend, zie vergelijking (6.10a) in NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011. In de andere gevallen wordt gerekend met $\gamma_G \times \xi$, zie vergelijking (6.10b) in NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011, waarvoor, uitgaande van $\xi = 0,89$ geldt $\gamma_G \times \xi = 1,2$. Zie ook de nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011.

^b De hier gegeven waarden gelden voor RC2. Voor RC1 geldt een vermenigvuldigingsfactor van 0,9 en voor RC3 van 1,1. In de kolom damwand geldt dan voor RC1 $\gamma_Q = 1,0$ en voor RC3 $\gamma_Q = 1,25$.

^c Bij vloeistofdrukken met een fysiek beperkte waarde mag zijn volstaan met 1,2.

Tabel 3.2 Partiële materiaal factoren conform (NEN 9997-1+C2, 2017)

Tabel A.4b — Partiële factoren voor grondparameters (γ_M)

Grondparameter	Symbool	Combinatie			
		M1	M2		
			Damwand		
			Veiligheidsklasse		
			RC1	RC2	RC3
Hoek van inwendige wrijving ^a	γ_ϕ	N.v.t.	1,15	1,175	1,20
Effectieve cohesie	γ_c	N.v.t.	1,15	1,25	1,40
Ongedraineerde schuifsterkte	γ_{cu}	N.v.t.	1,5	1,6	1,65
Prismadruksterkte	γ_{qu}	N.v.t.	1,5	1,6	1,65
Volumiek gewicht	γ_γ	N.v.t.	1,0	1,0	1,0

^a Deze factor heeft betrekking op $\tan \phi$.

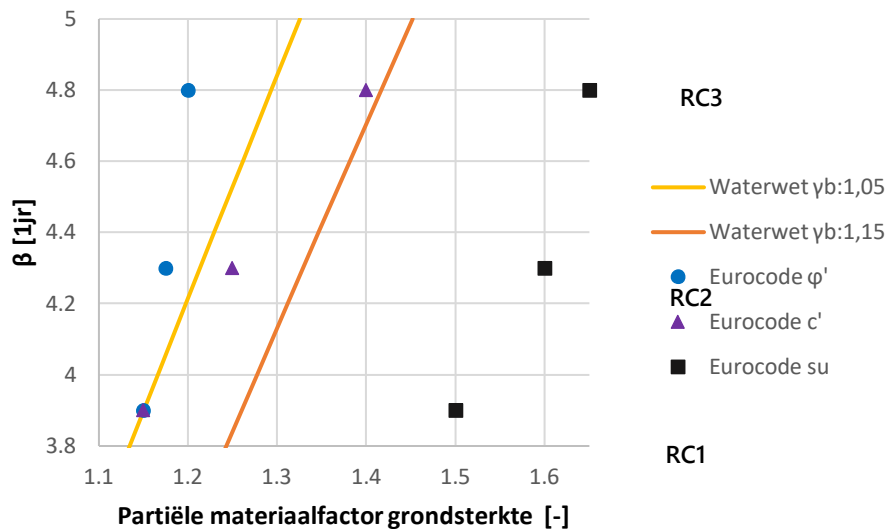
Uitgangspunt partiële factoren ten behoeve van uitwerking cases

De partiële factoren zijn voor zowel een ontwerp conform de Eurocode als een ontwerp conform de Waterwet dus afhankelijk van de vereiste betrouwbaarheid. In het geval van de Eurocode volgt dit uit de reliability class en voor de Waterwet volgt dit uit de relatie tussen de betrouwbaarheidsindex en de schadefactor.

Uitgaande van de vergelijking van de betrouwbaarheid conform §2.3 kan de partiële materiaalfactor conform de Eurocode en Waterwet met elkaar vergeleken worden. In afbeelding 3.2 is dit grafisch weergegeven. Daarbij is de betrouwbaarheid weergegeven voor de referentieperiode. De betrouwbaarheid conform de Eurocode is weergegeven afhankelijk van de RC-klasse. Hierbij is voor de partiële materiaalfactor een bandbreedte weergegeven aangezien de Eurocode een aparte factor voor de hoek van inwendige wrijving ϕ en cohesie c' kent. Conform de Waterwet bestaat de totale sterkte reductie uit de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. De schadefactor heeft een directe relatie met de betrouwbaarheidsindex, de modelfactor staat vast (1,06) en de schematiseringsfactor kan variëren waarbij de variatie over het algemeen tussen de 1,05 en 1,15 zit.

Op basis hiervan kan worden vastgesteld dat de Waterwet in het algemeen een grotere partiële materiaalfactor heeft bij dezelfde betrouwbaarheid. Hierbij wordt wel de kanttekening gemaakt dat conform de Eurocode een erg hoge partiële materiaalfactor op de schuifsterkte moet worden toegepast. De partiële materiaalfactor is zo hoog omdat de Eurocode de ongedraineerde schuifsterkte als een constante beschouwd met een hoge onzekerheid. In deze waterwet wordt een spanningsafhankelijk schuifsterkte model toegepast. Deze hoge partiële materiaalfactor lijkt daarmee onterecht hoog.

Afbeelding 3.2 Vergelijking partiële materiaalfactor*



* De onzekerheid in de aan te houden partiële materiaalfactor conform de Waterwet (OI2014v4, 2017) volgt uit de resulterende schematiseringsfactor (modelfactor en relatie schadefactor en β staan vast). Als ondergrens is een schematiseringsfactor van 1,05 gekozen en als bovengrens een factor van 1,15.

3.3 Bovenbelasting

Tijdens een calamiteit dient er rekening te worden gehouden met een belasting op de (kruin) van de dijk. De grootte van de belasting is afhankelijk van de situatie maar zit over het algemeen in de range van 5 kN/m² tot 13,3 kN/m² over 2,5 m breedte.

Deze bovenbelasting is een veranderlijke belasting en dient conform de Eurocode dus verhoogd te worden met een partiële factor, zie tabel 3.1. Echter kan deze bovenbelasting ook gezien worden als belastingcombinatie met hoogwater en kan dus ook een combinatiefactor (ψ) worden toegepast. In het geval de bovenbelasting niet dominant is zullen de partiële factor op de veranderlijke belasting en de combinatiefactor elkaar grotendeels opheffen en daardoor zit er uiteindelijk geen verschil tussen de Eurocode en Waterwet.

3.4 Grondparameters

Waterwet

Binnen het WBI2017 is besloten om voor macrostabiliteit-analyses over te stappen naar het Critical State Soil Model (CSSM). Het toepassen van het CSSM-materiaalmodel houdt in het kort in (OI2014v4, 2017):

- bij grondsoorten met een lage doorlatendheid is sprake van ongedraineerd grondgedrag en wordt gerekend met een ongedraineerde schuifsterkte;
- overconsolidatie wordt in rekening gebracht ten behoeve van bepaling van de schuifsterkte;
- er wordt gerekend met de bezwijksterkte van grond (critical state) in plaats van sterkte bij kleine rek.

- Bij de bepaling van de karakteristieke sterkte wordt onderscheid gemaakt in regionaal en lokaal onderzoek.

Voor constructief versterkte dijken dient conform POVM-EEM ook met het CSSM-model gerekend te worden. Hierbij is wel een belangrijke voorwaarde dat dan een materiaalmodel wordt gebruikt dat de relatie tussen sterkte en rek goed beschrijft. Rondom het damwandprofiel zijn de rekken in de grond beperkt, dit betekent dat hier de sterkte ook beperkt moet zijn tot de sterkte bij kleine rek. Rekenen met het Mohr-Coulomb model is dus niet toegestaan en daarom dient bijvoorbeeld met het Shansep NGI-ADP model gerekend te worden.

Eurocode

De NEN 9997-1 schrijft niet expliciet een materiaalmodel voor maar stelt (onder andere):

- *het berekeningsmodel moet een beschrijving geven van het veronderstelde grondgedrag voor de grenstoestand die wordt beschouwd. [NEN 9997-1 artikel 2.4.1 (3)P];*
- *de verenigbaarheid van de rekken in een grenstoestand behoort te zijn beschouwd. In gevallen waarbij bezwijken van de constructie en de grond gezamenlijk zou kunnen optreden, kunnen gedetailleerde berekeningen nodig zijn, waarin rekening wordt gehouden met de onderlinge stijfheden van constructie en grond. Voorbeelden hiervan, horizontaal belaste palen en flexibele grondkerende wanden. [NEN 9997-1 artikel 2.4.1 (13)];*
- *rekening moet zijn gehouden met mogelijke verschillen tussen de uit proefresultaten verkregen grondeigenschappen en geotechnische parameters enerzijds en anderzijds die eigenschappen en parameters, die het gedrag van de geotechnische constructie bepalen: [NEN 9997-1 artikel 2.4.3 (3)P].*
 - *veel geotechnische parameters zijn geen echte constanten maar zijn afhankelijk van het spanningsniveau en de vervormingswijze;*
 - *tijdeffecten;*
 - *.... [NEN 9997-1 2.4.3 (4)]*

Kleine rek/pieksterkte/CSSM

In de praktijk wordt bij het ontwerp van grondkerende constructies zoals bouwkuipen en kademuren veelal gerekend met gedraineerde eigenschappen en grondsterkte parameters bepaald op basis van kleine rekken aangezien vervormingen maar zeer beperkt toelaatbaar zijn. Indien gebruik gemaakt wordt van geavanceerde rekenmodellen, zoals het Plaxis HS(S)-model, dan wordt het volledige spanningsrektraject benaderd en wordt uitgegaan van de pieksterkte, mits deze niet wordt overschreden. Een aandachtspunt is dat de modellen geen softening kennen.

Voor een constructief versterkte dijk wordt in POVM-EEM net als voor niet-constructief versterkte dijken uitgegaan van toetsten op basis falen van de waterkering bij doorgaand bezwijken. In het WBI en POVM-EEM is vastgesteld dat in het geval van gronddijken grotere rekken toelaatbaar zijn en dat daarom gerekend moet worden met de bezwijksterkte (ultimate state). Voor veel grondsoorten is deze sterkte lager dan de pieksterkte, maar voor veenlagen is dat niet altijd het geval. Voor constructief versterkte dijken is aansluiting gezocht bij het WBI en wordt uitgegaan van de sterkte bij grote rekken. Wel wordt getracht het spanningsrektraject te benaderen zonder toepassing van de pieksterkte.

Ook voor een ontwerp conform de Eurocode zou met ultimate sterktes gerekend mogen worden mits een geschikt materiaalmodel wordt toegepast.

Ongedraineerd/Gedraineerd

Voor het ontwerp van damwanden conform de Eurocode wordt in het algemeen uitgegaan van gedraineerde eigenschappen omdat de belastingen met name volgen uit permanente belasting vanuit de grond- en waterdrukken. Voor ontgravingen zou ongedraineerd rekenen zelfs onveilig kunnen zijn. Voor ophogingen achter een wand wordt wel rekening gehouden met effecten van ongedraineerd gedrag zoals wateroverspanning.

Voor een constructief versterkte dijk waarbij de damwand volledig ingebed is, wordt de damwand in principe niet belast. Pas bij hoogwater zal de damwand belast worden.

De Eurocode schrijft niet voor hoe de ongedraineerde schuifsterkte moet worden bepaald of toegepast en aangezien het geen materiaalconstante is, is de range aanzienlijk en daarmee de onzekerheid hoog. Daarmee is de partiële materiaalfactor op de ongedraineerde schuifsterkte relatief hoog om deze onzekerheid af te dekken. De huidige Eurocode kent geen partiële factoren voor een ongedraineerde schuifsterkte die wel spanningsafhankelijk is zoals het Shansep model dat conform het WBI gehanteerd wordt.

Uitgangspunt grondparameters ten behoeve van uitwerking cases

Uitgangspunt voor de parameterset ten behoeve van de vergelijking tussen de Eurocode en Waterwet is dat dezelfde sterkte-eigenschappen worden aangehouden voor zover dit past binnen de filosofie van de Eurocode. Om een zo eerlijk mogelijk vergelijk te kunnen maken wordt voor beide normen een ontwerp gemaakt met gedraineerde en ongedraineerde parameters. Dit betekent voor het ontwerp conform de Eurocode het volgende:

- het rekenen met de bezwijksterkte van grond (ultimate state) in plaats van sterkte bij kleine vervorming;
- voor de ongedraineerde sterkte wordt conform de Eurocode rekening gehouden met een hoge partiële materiaalfactor op de schuifsterkte.

3.5 Hydraulische randvoorwaarden (waterstanden)

Waterwet

Voor de toets van Macrostabieliteit binnenwaarts worden de rekenwaarden van de hydraulische belasting (te weten de ontwerpwaterstand en golfrandvoorwaarden) standaard bepaald bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans per dijktraject. Middels Hydra-modellen kan vervolgens de hydraulische ontwerpbelasting afgeleid worden.

De kritieke situatie voor Macrostabieliteit buitenwaarts is niet een hoge waterstand aan de buitenzijde van de waterkering, maar juist een lage buitenwaterstand in combinatie met een hoge grondwaterstand. Hierbij worden drie belastingsituaties onderscheiden conform TR Ontwerpbelastingen Rivierengebied:

- 1 een buitenwaterstand na een snelle val in combinatie met een verhoogde freatische lijn ten gevolge van een voorafgaand hoogwater (waterstand bij de norm bepaald in Ringtoets);
- 2 een gemiddelde laagwaterstand (GLW) van het buitenwater in combinatie met een verhoogde freatische lijn ten gevolge van extreme neerslag;
- 3 een laagwaterstand die eens per 10 jaar wordt onderschreden (LW1/10 jaar) in combinatie met een normale freatische lijn in de dijk.

Naast de aan te houden waterstanden geeft de Waterwet middels verschillende Technische rapporten en leidraden aanwijzingen hoe waterspanningen gemodelleerd dienen te worden. Denk daarbij aan de schematisatie van de freatische lijn en stijghoogte in het watervoerend pakket, hoe om te gaan met opdrijven en opbarsten in het achterland.

Eurocode

De Eurocode is voor meerdere typen constructies toepasbaar en daarom is niet expliciet voorgeschreven met welke waterstand gerekend moet worden. De Eurocode stelt:

Wanneer (grond)waterdrukken een rol spelen dienen conform de EN 1997 voor grenstoestanden met minder ernstige gevolgen (BGT toestand) de meest ongunstige waarde zijn die onder normale omstandigheden kunnen voorkomen (lees karakteristieke waarde). Voor grenstoestanden met ernstige gevolgen (gewoonlijk de uiterste grenstoestanden) moeten de rekenwaarden de meest ongunstige waarden vertegenwoordigen die gedurende de referentieperiode van de constructie kunnen optreden [NEN 9997-1 artikel 2.4.6.1 (6)P].

Karakteristieke waarden van vrij water moeten gemeten waarden, nominale waarden of geschatte boven- en ondergrens waarden zijn. [NEN 9997-1 artikel 2.4.5.3 (1)P].

Rekenwaarden van grondwaterdrukken mogen of zijn afgeleid door partiële factoren toe te passen op karakteristieke waterdrukken, of door een veiligheids toeslag op de karakteristieke waterstand te zetten [NEN 9997-1 artikel 2.4.6.1 (8)].

Voor de berekening en toetsing van in de grond ingebedde wanden moeten voor de verschillende klassen RC 1 t/m 3 volgens NEN-EN 1990 de partiële factoren of geometrische toeslagen volgens tabel 3.3 in rekening worden gebracht.

(a) De in tabel 9.a genoemde factoren gelden voor een referentieperiode van 50 jaar. Bij een langere referentieperiode en/of wanden waarbij falen van de beschouwde doorsnede leidt tot falen van de constructie als geheel (wand met een grote strekking) moeten de partiële factoren worden aangepast. OPMERKING In paragraaf 2.4.7 in deel 2 van CUR-publicatie 166 (2012) staan methoden voor de aanpassing van de partiële factoren voor wanden met een grote strekking.

Tabel 3.3 Toeslagen Δa conform NEN 9997-1 9.3.2.3

Tabel 9.a — Partiële factoren γ en toeslagen Δa voor berekening en toetsing van in de grond ingebedde wanden

Parameter	γ en Δa betrokken op X_k						Rekenwaarde
	Klasse RC1		Klasse RC2		Klasse RC3		
	γ	Δa (m)	γ	Δa (m)	γ	Δa (m)	
(Grond)waterstand lage zijde (m NAP)	1,70	0,20	1,90	0,25	2,10	0,25	$\max(\mu + \gamma \times \sigma; \mu + \Delta)$ of $\min(\mu - \gamma \times \sigma; \mu - \Delta)$ ^a
(Grond)waterstand hoge zijde (m NAP)	0,87	0,05	1,18	0,05	1,50	0,05	$\max(\mu + \gamma \times \sigma; \mu + \Delta)$ ^b

^a Zie de toelichting bij de dimensioneringsberekeningen, beschreven in 9.7.6.

^b Voor de rekenwaarde van de grondwaterstand aan de hoge zijde kan als maximum de maaiveldhoogte worden gehanteerd, als een hogere waarde fysiek niet mogelijk is. Voor de stijghoogte van diepere watervoerende lagen hoeft dit niet op te gaan.

Tabel 3.3 geeft op pragmatische wijze invulling aan een methode om van een karakteristieke waarde naar een rekenwaarde te gaan. Dit is dan ook de methode die in de praktijk veelal wordt toegepast. Echter zijn deze waarden alleen bedoeld voor een specifiek constructietype met de daarbij behorende belastingsituatie. Bovenstaande tabel is bijvoorbeeld bedoeld voor bouwkuipconstructies en beschoeiingen. Als alternatief op deze methode kan middels een veiligheidsfactor op de standaarddeviatie ook de rekenwaarde worden bepaald.

Voor kademuuren gelden weer andere belastingcondities en onzekerheden. Met name ook omdat dergelijke constructies veelal aan grote rivieren en zeeën liggen.

Uitgangspunt hydraulische randvoorwaarden ten behoeve van uitwerking cases

Zoals in voorgaande paragraaf is vastgesteld, is de rekenwaarde van de waterstand afhankelijk van het type constructie en belastingsituatie en moet deze voor een de referentieperiode (voor een constructieve dijkversterking veelal 100 jaar) bepaald worden.

Conform NEN1990 geldt dat: *de karakteristieke waarde moet overeenstemmen met een bovengrenswaarde met een voorgenomen kans om niet te worden overschreden, gedurende een zekere referentieperiode.*

Opmerking 2: De karakteristieke waarde van belastingen ten gevolge van weersinvloeden wordt gebaseerd op de kans van 0,02 dat haar tijd variërende deel wordt overschreden bij een referentieperiode van een jaar. Dit is gelijkwaardig aan een gemiddelde herhalingsperiode van 50 jaar voor het tij variërende deel. [NEN1990 artikel 4.1.2 (7)].

Voor een referentieperiode van 100 jaar wordt de karakteristieke waarde van de belasting dus gebaseerd op een kans van 0,01. Om deze waterstand te bepalen wordt gebruikt gemaakt van het Hydra-model conform de Waterwet met een terugkeertijd van 100 jaar en zonder onzekerheden (er wordt dus met gemiddelde waarden gerekend).

Bij voorkeur wordt de rekenwaarde van de waterstand verkregen door de veiligheidsfactor toe te passen op de standaarddeviatie conform tabel 3.3. Echter werkt Hydra NL met verschillende basisstochasten die allen een gemiddelde en standaardafwijking hebben: afvoer Rijn, zeewaterstand, windsnelheid en richting, open of gesloten Europoortkering. Dit maakt het lastig om op basis van de standaarddeviatie de rekenwaarde vast te stellen. Mogelijk dat hier nadere invulling aan gegeven kan worden maar dit valt buiten de scope van deze studie.

Daarom wordt de rekenwaarde van de waterstand verkregen door de karakteristieke waterstand te verhogen met een toeslag. Voor grondkerende constructies wordt in de praktijk veelal tabel 9.a conform NEN9997-1 toegepast (zie tabel 3.3 van dit document). Echter gaat deze tabel ervan uit dat laagwater maatgevend is en daarom zit er op de laagwater zijde een hogere toeslag. Voor een dijk is het tegenovergestelde het geval en kan deze tabel niet worden toegepast. Als pragmatische aanpak wordt daarom de onzekerheidstoeslag overgenomen uit het OI2014v4. Deze waarde wordt binnen het OI gebruikt om de onzekerheden af te dekken en om zo tot een rekenwaarde te komen. Voor rivieren wordt gerekend met een onzekerheidstoeslag van +0,30 m en voor meren en brede wateren met een toeslag van +0,40 m (OI2014v4, 2017).

3.6 Corrosiesnelheid

Waterwet

In de toets van damwand wordt het effect van corrosietoeslagen op de damwanddoorsnede meegenomen conform het protocol dat vigerend is vanaf 2016 (Helpdesk Water, 2015).

Damwanden:

- (1) ongeroerde schone grond, permanent beneden de grondwaterspiegel: 1,2 mm (enkelzijdig);
- (2) geroerde grond of verticale grondwaterbeweging, of boven de grondwaterspiegel: 2,2 mm (enkelzijdig).

Bovenstaande corrosietoeslagen gelden enkel en alleen voor damwanden die tweezijdig zijn belegd met grond. Conform dit protocol mag voor de corrosietoeslag op ankers bovenstaande toeslag niet worden toegepast en dient te worden aangesloten op de Eurocode.

Eurocode

In de Eurocode NEN-EN 1993-5 worden aanbevolen waarden gegeven voor de corrosiesnelheid indien geen andere corrosiesnelheden zijn gegeven. Hierbij is de snelheid afhankelijk van het milieu waarin de damwand staat.

In het geval van damwanden in een waterkering zijn op basis van praktijkonderzoek aangepaste corrosiesnelheden beschikbaar (Helpdesk Water, 2015). Deze corrosiesnelheden zijn over het algemeen iets gunstiger dan de standaardwaarden conform de NEN-EN 1993-5. Voor een ontwerp conform de Eurocode kan ook gebruik gemaakt worden van dit praktijkonderzoek en kan dezelfde corrosiesnelheid worden gehanteerd als de Waterwet.

3.7 Bodemdaling en toets draagvermogen

Waterwet

Conform POVM-EEM wordt bodemdaling integraal meegenomen in de berekeningsmethodiek. Dit kan worden gedaan door het toepassen van een verticale volumecontractie of een consolidatie berekening. Ook de zakkende grond op ankerstangen wordt als berekeningsfase meegenomen. De uiteindelijk resulterende krachten in de EEM-berekening ten behoeve van de constructieve toets zijn dan inclusief de effecten van zakkende grond op ankerstangen en het effect van bodemdaling.

Om het verticaal draagvermogen te waarborgen wordt conform POVM-EEM de verticale zakking van de damwand getoetst. Als deze kleiner is dan 0,02 m wordt voldaan aan het verticaal draagvermogen.

Eurocode

Conform Eurocode dient voor in de grond ingebedde wanden het verticaal evenwicht getoetst te worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de uiterste grenstoestand en bruikbaarheidsgrenstoestand. Voor de uiterste grenstoestand wordt gebruik gemaakt van rekenwaarden van de grondsterkte en belastingen. Negatieve kleef hoeft echter niet meegenomen te worden, de Eurocode stelt namelijk:

Voor de berekening van de weerstand van de palen voor het onderzoek van de uiterste grenstoestand ten gevolge van het grondmechanisch bezwijken van de grond om de paal kan de negatieve kleef buiten beschouwing blijven [NEN 9997-1 7.3.2.2 (7)].

Bij de bepaling van de vervormingen ten behoeve van de bruikbaarheidsgrenstoestand dient wel de negatieve kleef meegenomen te worden. Dit wordt in de praktijk alleen getoetst mits de damwand tevens een funderingsfunctie heeft. In alle andere gevallen wordt de draagkracht getoetst met een interactieberekening waarbij rekening wordt gehouden met de relatieve wand-grond verplaatsing.

Zakkende grond op ankers wordt achteraf in rekening gebracht voor de toets van de ankerstang en het draagvermogen door de extra trekkracht in het anker als kracht op de damwand in het model te zetten.

3.8 Vervormingseisen

Waterwet

Conform POVM-EEM dienen de vervormingen getoetst te worden. Daarbij gelden de volgende eisen:

- maximaal 0,1 m kruindaling over een breedte van 3 m;
- maximaal 0,1 m horizontale wandverplaatsing aan de kop van de damwand;
- maximaal 0,1 m horizontale verschilverplaatsing tussen binnen en buitenteen.

Het is mogelijk om grotere vervormingen toe te staan maar in dat geval dienen aanvullende controles op maat uitgevoerd te worden waarbij het effect op overige faalmechanismen wordt beoordeeld. De hiervoor genoemde vervormingen betreffen vervormingen als gevolg van hoogwater en worden berekend op basis van de lage karakteristieke waarden van sterkte en stijfheid en vermenigvuldigd met een 'modelfactor' van 1,3.

Merk op dat bovenstaande vervormingseisen enkel een relatie hebben met de functie van de dijk om water te keren tijdens de hoogwater situatie. De Waterwet kent geen vervormingseisen voor de omgevingsbeïnvloeding wel wordt conform de Grondslagen Waterkeren de bruikbaarheidsgrenstoestand onderkent (ENW, 2017):

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Deze grens is bereikt als sprake is van grote vervormingen of schade waardoor nog niet direct een overstroming optreedt, maar ingrijpen wel geboden is. Voorbeelden zijn de vervorming van een damwand waardoor bebouwing beschadigd raakt of het ontstaan van schade aan de bekleding van een dijk zonder dat hierdoor de kans op overstroming te groot wordt.

Eisen aan overige functies en bruikbaarheidsgrenstoelstanden zijn niet terug te voeren op de normen uit de Waterwet. Deze eisen mogen dan ook afwijken van de eisen uit de Waterwet. De Waterwet stelt immers alleen eisen aan *'de kans op het verlies van waterkerend vermogen van de waterkering, met substantiële economische schade of slachtoffers als gevolg'*. Veelal volgen uit andere wet- en regelgeving eisen aan overige functies en bruikbaarheidsgrenstoelstanden, zoals uit het Bouwbesluit en de Machinerichtlijn.

Eurocode

De Eurocode schrijft voor dat de bruikbaarheidsgrenstoelstanden moeten worden getoetst. Echter wordt er niet een expliciete toets voorgeschreven. Een grenswaarde voor een vervorming is een waarde waarbij een bruikbaarheidsgrenstoelstand in de bovenbouw kan optreden. In CUR166 wordt voor grondkerende wanden een explicietere invulling gegeven waarbij de maximale vervorming gerelateerd wordt aan de kerende hoogte. Voor grondkerende wanden geldt vaak $1/100^e$ van de kerende hoogte met een maximum van 10 cm.

Voor een dijk ligt het voor de hand om als bruikbaarheidsgrenstoelstand in de bovenbouw de kruinhoogte te veronderstellen. Wanneer bij hoog water de kruinhoogte lager is dan de minimaal benodigde kruinhoogte zijn de vervormingen te groot. De toegestane vervormingen zijn dus situatie afhankelijk maar in het algemeen is de verwachting dat de toegestane vervormingen meer of gelijk zullen zijn aan de toegestane vervormingen conform de Waterwet.

De toets van de bruikbaarheidsgrenstoelstand conform de Eurocode geldt niet alleen voor het dijklichaam zelf maar kan ook toegepast worden voor constructies of belendingen die beïnvloed worden door het dijklichaam.

3.9 Overzicht vergelijking Waterwet en Eurocode

In tabel 3.4 is een overzicht van de vergelijking tussen de waterwet en eurocode weergegeven.

Tabel 3.4 Vergelijking Eurocode en Waterwet

Onderdeel	Eurocode	Waterwet
Betrouwbaarheid (H2)	Betrouwbaarheid wordt uitgedrukt voor een referentieperiode van 50 jaar en is afhankelijk van de consequentie klasse. CC1->RC1-> $\beta_{50jr} = 3,3$ CC2->RC2-> $\beta_{50jr} = 3,8$ CC3->RC3-> $\beta_{50jr} = 4,3$	De minimale betrouwbaarheid wordt uitgedrukt per jaar en is afhankelijk van traject lengte, norm, faalkans begroting op traject niveau, faalkans begroting op doorsnede niveau. Bij faalkansruimte STBI 4% dan: $4,0 < \beta_{1jr} < 5,7$ Bij faalkansruimte STBI 24% dan: $3,6 < \beta_{1jr} < 5,4$
Ontwerpfilosofie (§3.1)	Beschouwing uiterste en bruikbaarheidsgrenstoestand voor verschillende ontwerpsituaties (dus meer dan enkel en alleen hoogwater).	Overstromingskans benadering. Bezwijken van een constructie onderdeel is toegestaan mits dit niet tot bezwijken van de waterkering leidt.
Partiële factoren (§3.2)	De sterktereductie ¹ is afhankelijk van de consequentieklaas en referentieperiode. Op de cohesie 1,15 tot 1,40 en op de φ' 1,15 tot 1,20. Voor de ongedraineerde schuifsterkte geldt een veel hogere factor van 1,5 tot 1,65.	De sterktereductie is afhankelijk van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. Uitgaande van gangbare factoren ² is de sterktereductie in de range van 1,11 tot 1,46.
Bovenbelasting (§3.3)	Bovenbelasting inclusief partiële factor en combinatiefactor op veranderlijke belasting. Deze heffen elkaar grotendeels op.	Bovenbelasting zonder partiële factor op veranderlijke belasting.
Grondparameters (§3.4)	Geen specifiek model voorgeschreven. Het model moet geschikt zijn voor de beschouwde grenstoestand.	CSSM-materiaal model. Ongedraineerde schuifsterkte, inclusief effect overconsolidatie en bezwijksterkte van de grond.
Waterstanden (§3.5)	Conform de Eurocode wordt de waterstand bepaald op basis van de referentieperiode (bijvoorbeeld 100 jaar). De rekenwaarde van de waterstand komt in dat geval overeen met de waterstand voor een dijk met overstromingskans van 1/100.	De maatgevende waterstand wordt bepaald bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de maximaal toelaatbare overstromingskans per dijktraject. De Waterwet geeft ook aanwijzingen hoe de waterspanningen (freatische lijn, stijghoogte, opbarsten) gemodelleerd moeten worden.
Corrosie (§3.6)	Wanneer geen corrosiesnelheden bepaald zijn geeft NEN-EN 1993-5 standaardwaarden. Voor damwanden in waterkeringen kunnen de waarden op basis van hetzelfde praktijkonderzoek als voor de Waterwet gehanteerd worden.	Op basis van praktijkonderzoek zijn specifieke corrosiesnelheden voor damwanden in waterkeringen afgeleid: - ongeroerd/onder GWS: 1,2 mm/zijde; - geroerd/boven GWS: 2,2 mm/zijde.
Bodemdaling en toets draagvermogen (§3.7)	Conform Eurocode dient voor in de grond ingebedde wanden het verticaal evenwicht getoetst te worden. Voor UGT-toets hoeft geen negatieve kleef meegenomen te worden.	Conform POVM-EEM wordt bodemdaling integraal meegenomen in de berekeningsmethodiek. Draagvermogen wordt op basis daarvan ook getoetst.
Vervormings-eisen (§3.8)	Vervormingseisen afhankelijk van bruikbaarheidsgrenstoestand in de bovenbouw. Voor bepaling van de vervormingen wordt uitgegaan van karakteristieke waarde. Voor een waterkering betreft dit de kruinhoogte. Toelaatbare vervormingen dus afhankelijk van de minimale kruinhoogte, in het algemeen zullen de toegestane vervormingen minder dan 0,1 m zijn. Op basis van de Eurocode kan ook de omgeving beïnvloeding getoetst worden.	Conform het POVM-EEM worden relatief strenge vervormingseisen aan de waterkering gesteld maximaal 0,1 m (rekenwaarde, inclusief modelfactor van 1,3) kruindaling, horizontale wand verplaatsing en verschilverplaatsing tussen binnen en buitenteen. Met een toets op maat zijn mogelijk hogere verplaatsingen toelaatbaar. De Waterwet stelt geen eisen aan omgevingsbeïnvloeding. Hiervoor wordt verwezen naar het Bouwbesluit.

¹ Bij een langere referentieperiode en/of wanden waarbij falen van de beschouwde doorsnede leidt tot falen van de constructie als geheel (wand met een grote strekking) moeten de partiële factoren worden aangepast.

² Gangbare factoren: Schadefactor 1,0~1,2, modelfactor 1,06, schematiseringsfactor 1,05-1,15.

3.10 Vergelijking semi-probabilistische rekenregels Eurocode en Waterwet

Op basis van de vergelijking van de semi-probabilistische rekenregels zijn de volgende situaties vastgesteld waarbij er een duidelijk verschil te verwachten is tussen het toepassen van de Eurocode en Waterwet:

- toets sterkte en stabiliteit binnenwaarts in de uiterste grenstoestand;
- toets sterkte en stabiliteit buitenwaarts in de uiterste grenstoestand;
- toets omgevingsbeïnvloeding.

De hier gepresenteerde bevindingen zijn gebaseerd op enkel het vergelijk van de semi probabilistische rekenregels conform beide normen. Ter validatie zijn een tweetal cases uitgewerkt, zie H4.

Verder wordt verondersteld dat een regulier damwandontwerp conform de Eurocode wordt uitgevoerd op basis van gedraineerde sterkte-eigenschappen. De hoge partiële factor op de ongedraineerde schuifsterkte wordt wel meegenomen in de uitwerking van de cases maar hier worden verder geen conclusies aan verbonden wat betreft de vergelijking met de Waterwet.

Toets sterkte en stabiliteit binnenwaarts -> Waterwet

Op basis van de vergelijking van semi-probabilistische rekenregels kan worden gesteld dat voor de toets van de uiterste grenstoestand bij hoogwater (STBI) alleen conform de Waterwet getoetst zou moeten worden. De belangrijkste redenen zijn:

- de Waterwet is in beginsel expliciet bedoelt voor het beoordelen van de sterkte en stabiliteit bij hoogwater met overstromen tot gevolg en geeft duidelijke aanwijzingen hoe waterspanningen in het hele dijklichaam conservatief gemodelleerd moeten worden (freatische lijn, stijghoogte, opbarsten);
- de partiële factoren op de grondsterkte zijn hoger, zie §3.2;
- de aan te houden buitenwaterstand conform de Waterwet (WBN) is op basis van de semi-probabilistische rekenregels hoger dan de Eurocode, zie §3.5.

Uitzondering

In het geval een binnenwaarts stabiliteitsscherm tevens een permanent grondkerende constructie is, of een andere functie heeft, kan niet uitgesloten worden dat een belastingsituatie anders dan de hoogwater situatie maatgevend is voor het ontwerp conform de Eurocode. In dat geval dient het ontwerp dus ook getoetst te worden conform de Eurocode.

Toets sterkte en stabiliteit buitenwaarts -> Eurocode

Op basis van de vergelijking van de semi-probabilistische rekenregels kan worden gesteld dat voor de toets van de uiterste grenstoestand van een buitenwaartse grondkerende constructie (bijvoorbeeld een kademuur) de Eurocode gehanteerd zou moeten worden. De belangrijkste redenen zijn:

- de semi-probabilistische rekenregels conform de Waterwet zijn hoofdzakelijk bepaald voor een constructie die in combinatie met een dijklichaam bij hoogwater de waterkerende functie moet vervullen. Dit in tegenstelling tot de semi-probabilistische rekenregels conform de Eurocode die juist primair bedoeld zijn voor constructies met een permanent grondkerende functie. Zo bevat dit ook bijvoorbeeld scenario's zoals extreem laag water en wordt er een minimaal verval over de damwand voorgeschreven;
- conform Waterwet is alleen het waterkerend vermogen van belang. Daarom wordt in de Waterwet voor de buitenwaartse stabiliteit een verlaagde toelaatbare faalkans van de constructie toegestaan (in de praktijk veelal een factor 10). Conform de Eurocode wordt bezwijken van het element beschouwd als uiterste grenstoestand en is er dus geen reductie van de geëiste betrouwbaarheid, zie H2;
- in het geval van laagwater is er in veel gevallen mogelijk ook sprake van een externe (boven)belasting achter de damwand. De Eurocode kent daarbij ook partiële factoren toe op de externe belastingen in tegenstelling tot de Waterwet. Als de waterstand dominant is dan wordt de partiële factor op de bovenbelasting opgeheven door een combinatie factor ψ . Echter in het geval de bovenbelasting dominant is, is dit niet geval en is er dus sprake van een hogere partiële factor op de bovenbelasting.

Uitzondering

In het geval van een volledig ingebedde buitenwaartse damwand is mogelijk een ontwerp conform de Waterwet maatgevend. In dat geval moet ook een ontwerp conform de Waterwet gemaakt worden.

Omgevingsbeïnvloeding -> Eurocode

Zoals geconstateerd in § 3.8 wordt de bruikbaarheidsgrenstoestand conform de Waterwet niet verder gedefinieerd en wordt verwezen naar het Bouwbesluit. Ook voor eisen aan overige functies zijn niet terug te voeren op de Waterwet en daarvoor wordt ook verwezen naar het Bouwbesluit.

De Eurocode kent namelijk de toets op de bruikbaarheidsgrenstoestand uitdrukkelijk wel. Daarom wordt aanbevolen om voor de toets van de bruikbaarheidsgrenstoestand de Eurocode toe te passen. Ook voor betrouwbaarheidseisen aan andere functies zou de Eurocode toegepast moeten worden (denk hierbij aan bijvoorbeeld wegen of gebouwen op of naast de dijk).

Conform de Eurocode dient voor de bruikbaarheidsgrenstoestand, bijvoorbeeld de toets op vervormingen van de constructie met betrekking tot belendingen, de maatgevende situatie beschouwd te worden die binnen de referentieperiode van de belending verwacht kan worden. Dit betekent dat, als een hoogwater maatgevend is, de waterstand beschouwd dient te worden die eens in de referentieperiode van de betreffende constructie (bijvoorbeeld 1/50 jaar) voorkomt. Een toets van de vervormingen bij WBN is dan niet relevant.

Een ander voorbeeld is het optreden van een restprofiel. Als bij het ontwerp van de stabiliteitsverhogende constructie rekening wordt gehouden met dit restprofiel dan wordt aan de betrouwbaarheidseis van de Waterwet voldaan. Als echter langs dit talud ook een weg loopt dan dient conform de Eurocode getoetst te worden of het betreffende talud voldoende veilig is. De vereiste betrouwbaarheid volgt dan uit de consequenties die bezwijken van het talud (restprofiel) heeft op de weg.

4

UITWERKING CASES

In dit hoofdstuk is een ontwerp uitgewerkt voor een tweetal cases conform zowel de Eurocode als de Waterwet. Deze cases en de bijbehorende parameters zijn overgenomen van bestaande situaties.

In beginsel wordt conform de Waterwet gerekend met ongedraineerde parameters en conform de Eurocode met gedraineerde parameters. Idealiter zou voor de vergelijkende ontwerpen dus conform de Waterwet een ongedraineerd model (CSSM) toegepast worden en voor het ontwerp conform de Eurocode een gedraineerd model (zie ook stippellijn afbeelding 4.1). Echter is geconstateerd dat de keuze voor de parameters van de verschillende modellen sterk bepalend is voor de resultaten.

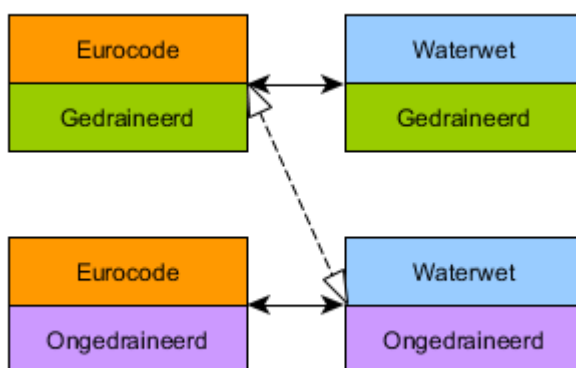
Uitgangspunt voor dit onderzoek zijn parameters die beschikbaar waren voor de betreffende cases. Bij de uitwerking van de cases is geconstateerd dat de keuze voor gedraineerde of ongedraineerde sterkte parameters in grote mate bepalend kan zijn voor de berekende verschillen.

Om te voorkomen dat de verschillen worden bepaald door een verschillende parameterkeuze en niet door de te hanteren norm wordt voor beide normen een ontwerp gemaakt met zowel een gedraineerde als ongedraineerde parameters en deze worden met elkaar vergeleken.

Hierbij wordt wel de kanttekening gemaakt dat in het geval van de ongedraineerde Eurocode berekeningen een erg hoge partiële materiaalfactor op de schuifsterkte moet worden toegepast. De partiële materiaalfactor is zo hoog omdat de Eurocode de ongedraineerde schuifsterkte als een constante beschouwd met een hoge onzekerheid. In deze voorbeelden wordt het Shansep NGI-ADP model toegepast waarbij de schuifsterkte spanningsafhankelijk is. Deze hoge partiële materiaalfactor lijkt daarmee onterecht hoog. Voor de volledigheid zijn de resultaten op basis van deze factor wel weergegeven maar wordt dit niet meegenomen in de vergelijking tussen de Waterwet en Eurocode. Daarbij ook rekening houdend met het feit dat een damwandontwerp conform de Eurocode altijd met gedraineerde parameters uitgevoerd zal worden.

De sterkte toets van de damwand conform de Waterwet is nagenoeg gelijk aan de Eurocode. Het verschil volgt met name uit de berekende belasting. Daarom wordt in de uitwerking van de cases gefocust op de berekende belasting.

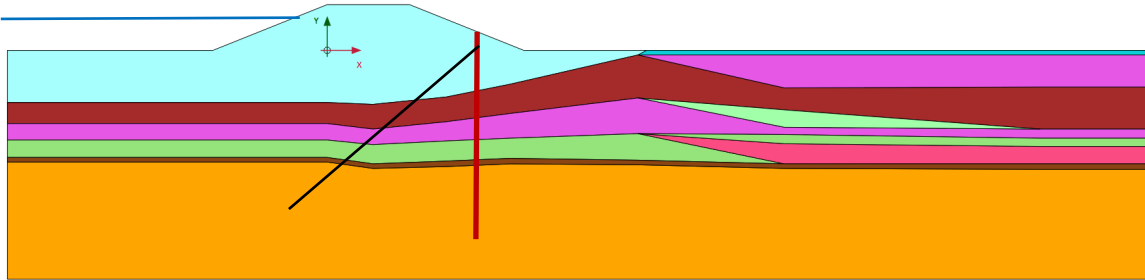
Afbeelding 4.1 Vergelijkingen Eurocode en Waterwet



4.1 Case A: Toets sterkte en stabiliteit binnenwaarts

Deze case betreft een stabiliteit verhogende langsconstructie die in het binnentalud van de dijk wordt geplaatst, zie Afbeelding 4.2. Op basis van de vergelijking van de semi-probabilistische rekenregels is de verwachting dat het ontwerp conform de Waterwet hier maatgevend zal zijn in vergelijking met een ontwerp conform de Eurocode. Het ontwerp in deze case dient om te valideren of het ontwerp conform de Waterwet inderdaad maatgevend is boven het ontwerp conform de Eurocode op voorwaarde dat het een volledig ingebedde damwand betreft.

Afbeelding 4.2 Versterkingsoplossing Case A



4.1.1 Uitgangspunten Case A

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten opgenomen die van belang zijn bij de vergelijking tussen de Eurocode en de Waterwet. Generieke uitgangspunten zoals de geometrie en de geotechnische parameters zijn opgenomen in bijlage II.

Normering

In tabel 4.1 is een overzicht van de normering voor zowel de Waterwet als de Eurocode weergegeven. De consequentieklaas is bepaald op basis van de aangenomen relatie met de maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject, zie tabel 2.3.

Om een zo eerlijk mogelijke vergelijking te maken is er in dit voorbeeld voor gekozen om de betrouwbaarheidsindex conform de Eurocode en de Waterwet enigszins vergelijkbaar te kiezen. Echter is de omrekening voor de β van een 50-jaars referentieperiode naar een 1-jaars referentieperiode voor de Eurocode niet eenduidig. Daarom wordt aansluiting gezocht in de methodiek conform de Leidraad kunstwerken (TAW, Leidraad Kunstwerken, mei 2003) en de TR kistdammen en diepwanden (TAW, Technisch rapport Kistdammen en diepwanden in Waterkeringen, November 2004) waarbij de 1-jaars faalkans conform de Waterwet omgerekend wordt naar een faalkans voor de referentieperiode. Hierin wordt de faalkans voor de gehele referentieperiode bepaald door de faalkans per jaar te vermenigvuldigen met een levensduurfactor. Deze levensduurfactor is maximaal 10 jaar. Voor langsconstructies kan de faalkans dan uitgedrukt worden door de volgende formule:

$$\beta_{eis;N} = -\Phi^{-1}(P_{eis,dsn} * N)$$

Met hierin:

- $\beta_{eis;N}$ Betrouwbaarheidsindex conform Waterwet betrokken op de referentieperiode;
- $P_{eis,dsn}$ maximaal toelaatbare overstromingskans per jaar op doorsnede niveau;
- N Levensduurfactor = 10 (maximaal 10 jaar).

Strikt genomen is bovenstaande vergelijking achterhaald en komt deze in de nieuw verschenen Leidraad Kunstwerken (Rijkwaterstaat, November 2018) te vervallen.

De betrouwbaarheidseis conform de Waterwet is zo gekozen dat de geëiste betrouwbaarheid conform de Waterwet ($\beta_{eis;N}$) en Eurocode (β_{100jr}) vergelijkbaar zijn. Daarom is een relatief grote faalkansruimtefactor voor STBI toegekend met een relatief korte traject lengte. Merk dus op dat gegeven de toelaatbare overstromingskans in veel gevallen de vereiste betrouwbaarheid conform de Waterwet dus hoger zal zijn. De 'default' waarde voor de faalkansruimte factor voor STBI is namelijk 0,04 en de trajectlengte is in veel gevallen lager dan 6.000 m.

Uitgangspunt is dat de schematisering voor beide ontwerpen voldoende conservatief is en daarom is de schematiseringsfactor relatief laag gekozen (1,05).

Tabel 4.1 Uitgangspunten normering Waterwet en Eurocode

Waterwet		Eurocode	
maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject:	1:10.000	consequentie klasse	CC3
faalkansruimtefactor STBI	$\omega = 0,24$	betrouwbaarheidsklasse	RC3
traject lengte	$L_{traject} = 6.000 \text{ m}$		
faalkanseis per doorsnede	$P_{eis;dsn} = 8,06 \cdot 10^{-7}$		
betrouwbaarheidsindex	$\beta_{1jr} = 4,80$		
betrouwbaarheidsindex referentieperiode	$\beta_{eis;N} = 4,31$	betrouwbaarheidsindex referentieperiode	$\beta_{100jr} = 4,3^*$
schadefactor doorsnede	$\gamma_n = 1,13$		
schadefactor na decompositie	$\gamma_{n,str} = \gamma_{n,geo} = \gamma_{n,ank} = 1,16$	materiaalfactor cohesie	$\gamma_{m,c} = 1,43^*$
schematiseringsfactor	$\gamma_s = 1,05$	materiaalfactor hoek van inwendige wrijving	$\gamma_{m,\phi} = 1,22^*$
modelfactor	$\gamma_b = 1,06$	materiaalfactor ongedraineerde schuifsterkte	$\gamma_{m,su} = 1,68^*$

* De betrouwbaarheidsindex op basis van een referentieperiode van 50 jaar, de partiële materiaalfactoren zijn verhoogd met een correctiefactor van 1,02 om te corrigeren voor de verhoging van de referentieperiode van 50 naar 100 jaar.

Waterstanden

In tabel 4.2 zijn de waterstanden ten behoeve van het ontwerp weergegeven. De gemiddelde en dagelijkse waterstanden zijn voor de Waterwet en Eurocode gelijk. Alleen de waterstand bij norm (WBN) en de bijbehorende stijghoogte zijn verschillend. Bij voorkeur zou de aan te houden waterstand conform de Eurocode afgeleid worden op basis van dezelfde statistische gegevens als gehanteerd conform de Waterwet, echter ligt het niet binnen de scope van deze opdracht om dit af te leiden. Daarom is als grofstoffelijke aanname de waterstand conform de Eurocode afgeleid met een terugkeertijd gelijk aan de referentie periode en de rekenwaarde is bepaald door dit te verhogen door de onzekerheidstoets, zie ook §3.5.

Aangezien de Eurocode weinig tot geen richtlijnen geeft voor het schematiseren van de waterspanningen worden hiervoor de aanwijzingen conform de Waterwet overgenomen.

Tabel 4.2 Waterstanden ten behoeve van ontwerp

Situatie	Waterstand [m NAP]
GWS	+0,44
GHW	+1,08
WBN	+4,16 (Waterwet, 1:10.000 jaar) +3,51 (Eurocode, rekenwaarde, 1:100 jaar) +3,21 (Eurocode, karakteristieke waarde, 1:100 jaar)
polderpeil	-0,50
stijghoogte dagelijks	+0,00
stijghoogte WBN	+3,80 (Waterwet, grenspotentiaal). +3,51 (Eurocode, rekenwaarde) +3,21 (Eurocode, karakteristieke waarde)

Bovenbelasting

Voor de bovenbelasting wordt een belasting van $13,3 \text{ kN/m}^2$ over 2,5 m breedte aangehouden als karakteristieke waarde. Voor de Waterwet is dit ook direct de rekenwaarde. Conform de Eurocode wordt de representatieve belasting bepaald door de karakteristieke waarde te vermenigvuldigen met een combinatie factor. De waterstand is de dominante belasting, op de bovenbelasting wordt daarom een combinatie factor van 0,7 toegepast. De rekenwaarde volgt door de representatieve te verhogen met een factor 1,21.

Tabel 4.3 Bovenbelasting

Bovenbelasting	Waterwet	Eurocode
karakteristiek [kN/m^2]	13,3	13,3
representatief [kN/m^2]	13,3	9,3
rekenwaarde [kN/m^2]	13,3	11,3

4.1.2 Resultaten

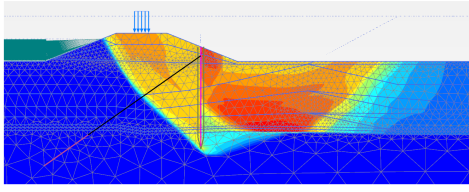
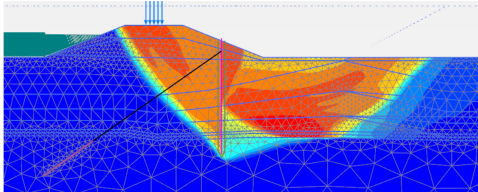
Geotechnische stabiliteit

In tabel 4.4 en tabel 4.5 zijn de resultaten van de Safety analyses weergegeven. Voor zowel de Eurocode analyse als de Waterwet analyse zijn de partiële materiaalfactoren al reeds op de grondsterkte toegepast. Op basis van gedraineerd grondgedrag is het ontwerp conform de Waterwet duidelijk maatgevend. In deze situatie zijn de partiële materiaalfactoren op de grondsterkte redelijk vergelijkbaar (EC $\gamma_\phi=1,22$ Waterwet $\gamma=1,23$) maar de aan te houden waterstand conform de Waterwet is hoger.

In het geval van de ongedraineerde berekening is de aan te houden partiële materiaalfactor op de schuifsterkte veel hoger ($\gamma_{m,su}=1,68$), zie ook § 3.2. Als gevolg daarvan is het ontwerp conform de Eurocode ongunstiger.

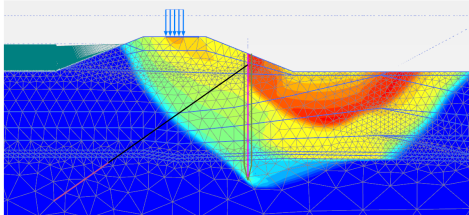
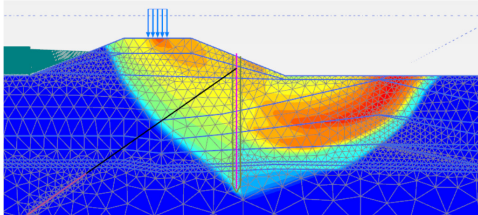
Tabel 4.4 Vergelijking geotechnische stabiliteit gedraineerde berekening

	Waterwet	Eurocode
Sf vereist	1,05	1,0
Sf behaald	1,19	1,21
U.C.	1,13	1,21

Tabel 4.5 Vergelijking geotechnische stabiliteit ongedraineerde berekening

	Waterwet	Eurocode
Sf vereist	1,05	1,0
Sf behaald	1,12	0,88*
U.C.	1,07	0,88

* Bij het toepassen van de partiële materiaalfactor ($\gamma_m; s_u = 1,65$) treedt instabiliteit op. De stabiliteitsfactor is bepaald door zonder partiële factoren een safety analyse uit te voeren. Hieruit volgt een $Sf = 1,48 / \gamma_m = 1,48 / 1,68 = 0,88$.

Constructieve belasting

In tabel 4.6 is een overzicht weergegeven van de berekende resulterende belastingen (buigend moment en ankerkracht). Hierbij zijn zowel de karakteristieke waarden (zonder partiële materiaalfactor) en de rekenwaarden weergegeven. Conform de Waterwet moet het berekende buigend moment en ankerkracht nog worden vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor.

Op basis van de berekende buigende momenten is vastgesteld dat de Waterwet maatgevend is boven de Eurocode, dit is met name een gevolg van de hogere buitenwaterstand en stijghoogte. Hierbij moet de kanttekening geplaatst worden dat de rekenwaarde conform de ongedraineerde Eurocode berekening niet bepaald kan worden omdat de berekening instabiel is.

Wat betreft de bepaling van de maximale ankerkracht zijn de ontwerpmethodieken wat verschillend. Conform de Waterwet wordt bodemdaling interactief in de berekening meegenomen terwijl conform de Eurocode dit achter als toeslag op de berekende ankerkracht wordt toegepast. De uiteindelijke rekenwaarde van de ankerkracht is vergelijkbaar.

Tabel 4.6 Berekende krachten

	Gedraineerd		Ongedraineerd	
	Waterwet WBN	Eurocode WBN	Waterwet WBN	Eurocode WBN
$M_{eem, kar}$ [kNm/m]	446	200	457	193
$M_{eem, d}$ [kNm/m]	$535 \cdot 1,05 = 562$	419	$767 \cdot 1,05 = 805$	-*
$F_{eem, kar}$ [kN/anker]	1.057**	535	1.059**	518
ΔZ zakkende grond op ankers	0**	$1,25 \cdot 279 = 349$	0**	
$F_{eem, d}$ [kN/anker]	$1.074 \cdot 1,05 = 1.128$	$743 + 349 = 1.092$	$1.074 \cdot 1,05 = 1.128$	-*

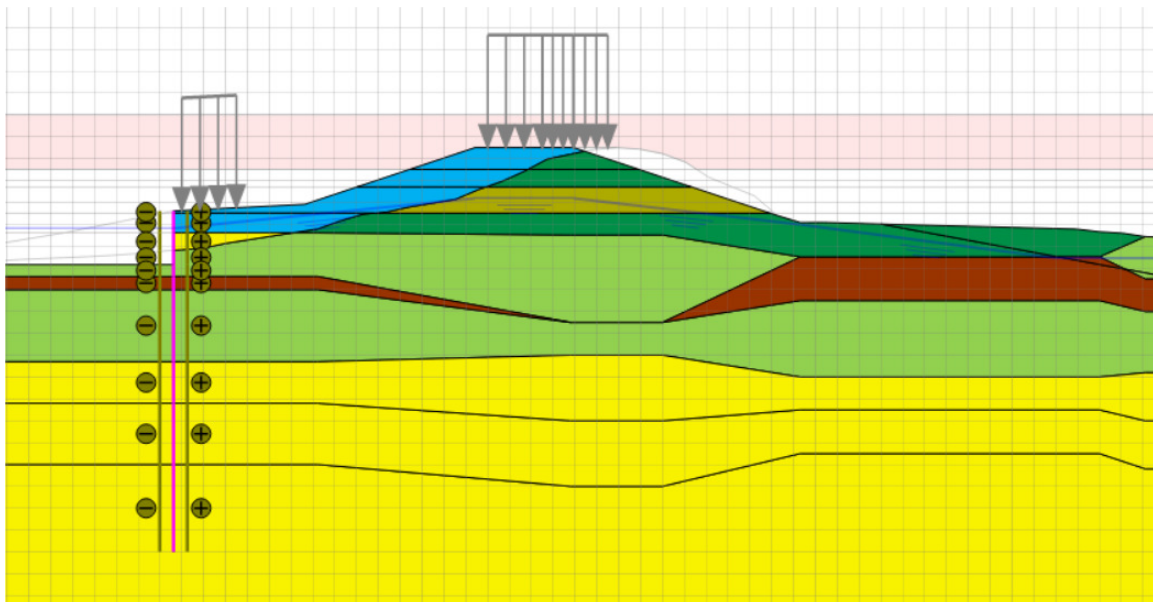
* Bezijden treedt op bij toepassen partiële factoren, zie ook tabel 4.5.

** Zakkende grond op ankers wordt al meegenomen in de berekening. Er wordt dus geen extra toeslag voor zakkende grond in rekening gebracht.

4.2 Case B: Toets sterkte en stabiliteit buitenwaarts

Deze case betreft een buitenwaartse dijkversterking waarbij er een kadeconstructie voor de dijk wordt geplaatst, zie Afbeelding 4.3. Op basis van de vergelijking van de semi-probabilistische rekenregels is de verwachting dat het ontwerp conform de Waterwet hier maatgevend zal zijn in vergelijking met een ontwerp conform de Eurocode. Het ontwerp in deze case dient om te valideren of het ontwerp conform de Eurocode inderdaad maatgevend is boven het ontwerp conform de Waterwet op voorwaarde dat het een permanent grondkerende constructie betreft en een voldoende hoge consequentie klasse wordt aangehouden conform § 0.

Afbeelding 4.3 Versterkingsoplossing Case B



4.2.1 Uitgangspunten Case B

In deze paragraaf zijn de uitgangspunten opgenomen die van belang zijn bij de vergelijking tussen de Eurocode en de Waterwet. Generieke uitgangspunten zoals de geometrie en de geotechnische parameters zijn opgenomen in bijlage III.

Normering

In tabel 4.7 is een overzicht van de normering voor zowel de Waterwet als Eurocode weergegeven. In dit voorbeeld is de betrouwbaarheids index (per jaar) conform de waterwet zo gekozen dat deze vergelijkbaar is aan de betrouwbaarheids index (per jaar) conform de Eurocode uitgaande van volledige afhankelijkheid.

Uitgangspunt is dat de schematisering voor beide ontwerpen voldoende conservatief is en daarom is de schematiseringsfactor relatief laag gekozen (1,05).

Tabel 4.7 Uitgangspunten Normering Waterwet en Eurocode

Waterwet		Eurocode	
maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject:	1:1.000	consequentie klasse	CC2
faalkansruimtefactor STBI	$\omega = 0,24$	betrouwbaarheidsklasse	RC2
traject lengte	$L_{\text{traject}} = 28.800\text{m}$		
faalkanseis per doorsnede STBI	$P_{\text{eis;dsn;stbi}} = 1,19 \cdot 10^{-5}$		
faalkanseis per doorsnede STBU (= $P_{\text{eis;dsn;stbi}} \cdot 10$)	$P_{\text{eis;dsn;stbu}} = 1,19 \cdot 10^{-4}$		
betrouwbaarheidsindex	$\beta_{1\text{jr}} = 3,67$	betrouwbaarheidsindex referentieperiode	$\beta_{1\text{jr;afhankelijk}} = 3,8$
schadefactor doorsnede	$\gamma_n = 0,96$		
schadefactor na decompositie	$\gamma_{n,\text{str}} = \gamma_{n,\text{geo}} = \gamma_{n,\text{ank}} = 1,00$	materiaalfactor cohesie	$\gamma_{m,c'} = 1,275^*$
schematiseringsfactor	$\gamma_s = 1,05$	materiaalfactor hoek van inwendige wrijving	$\gamma_{m,\phi'} = 1,20^*$
modelfactor	$\gamma_b = 1,06$	materiaalfactor ongedraineerde schuifsterkte	$\gamma_{m,su} = 1,63^*$

* De betrouwbaarheidsindex op basis van een referentieperiode van 50 jaar, de partiële materiaalfactoren zijn verhoogd met een correctiefactor van 1,02 om te corrigeren voor de verhoging van de referentieperiode van 50 naar 100 jaar.

Waterstanden

In tabel 4.8 zijn de waterstanden ten behoeve van het ontwerp weergegeven. De gemiddelde en dagelijkse waterstanden zijn voor de Waterwet en Eurocode gelijk. Alleen de waterstand bij norm (WBN) en de bijbehorende stijghoogte zijn verschillend.

Conform de Waterwet is de waterstand bepaald voor de norm periode terwijl conform de Eurocode de waterstand wordt bepaald voor de referentie periode, zie ook paragraaf 3.5.

Tabel 4.8 Waterstanden ten behoeve van ontwerp

Situatie	Waterstand [m NAP]
GLW	-0,4
GW	-0,2
GHW	+0,08
WBN	+1,04 (Waterwet) +0,83 (Eurocode, rekenwaarde) +0,43 (Eurocode, karakteristiek)
polderpeil	-1,56
stijghoogte dagelijks	+0,08
stijghoogte WBN	+1,04 (Waterwet) +0,83 (Eurocode, rekenwaarde) +0,43 (Eurocode, karakteristiek)
minimale waterstanden LW 1/10jr	-0,71* (Waterwet, EC kar.)

* Waarde gebaseerd op historische laagste waterstand ter plaatse van Houtrib zuid.

<http://publicaties.minienm.nl/documenten/tienjarig-overzicht-1981-1990-presentatie-van-afvoeren-waterstan>

Belastingscenario

Aangezien de damwand buitenwaarts geplaatst wordt is in dit geval niet de situatie met hoogwater maatgevend maar de situatie met laag water. Conform de Waterwet dienen in dat geval een aantal belastingscenario's beschouwd te worden; val na WBN, extreme neerslag, Laag water (zie ook § 3.5). In aanvulling daarop kunnen conform de Eurocode ook verschillende belastingcombinaties bepaald worden als een externe (boven)belasting dominant kan zijn.

In deze case is de bovenbelasting beperkt en dus niet dominant. Op basis van verkennende berekeningen is vastgesteld dat de situatie met de laagste buitenwaterstand en het grootste verval maatgevend is voor het ontwerp. Deze belastingsituatie is in dit onderzoek verder uitgewerkt, zie Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Overzicht relevante belastingscenario's

	Waterwet	Eurocode (karakteristiek)	Eurocode (rekenwaarde)
situatie	LW	(laag water)	(laag water)
buitenwaterstand	NAP-0,7 m	NAP-0,7 m	NAP-0,95 m*
grondwaterstand	GW-0,2 m	NAP-0,2 m	NAP-0,15 m*
bovenbelasting	5kN/m ² (achter damwand)	3,5kN/m ²	3,85kN/m ²

* De rekenwaarde van de waterstand is bepaald op basis van de toeslag conform tabel 3.3.

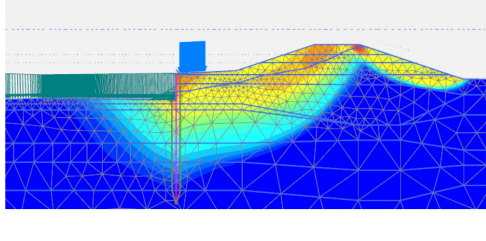
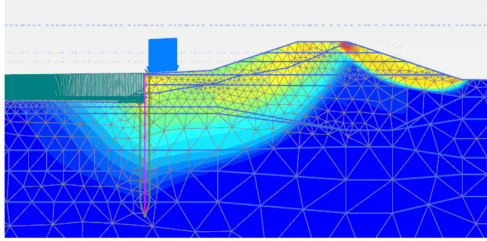
4.2.2 Resultaten

Geotechnische stabiliteit

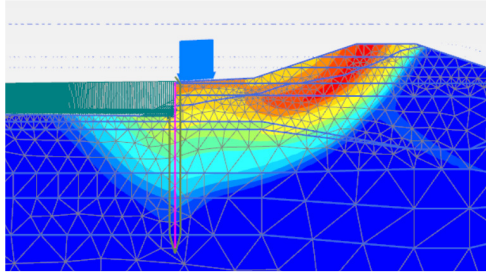
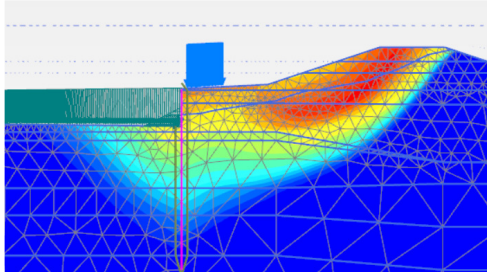
In tabel 4.10 en tabel 4.11 zijn de resultaten van de Safety analyses weergegeven voor Case B. Op basis van gedraineerd grondgedrag is het ontwerp conform de Eurocode maatgevend. In deze situatie zijn de partiële materiaalfactoren op de grondsterkte hoger (EC $\gamma_{\phi}=1,20$ Waterwet $\gamma=1,06$) en is het waterstand verschil in de uiterste grenstoestand ook groter.

Net als bij de uitwerking van Case A is geconstateerd dat de aan te houden partiële materiaalfactor op de schuifsterkte conform de Eurocode veel hoger is ($\gamma_{m,su}=1,63$), zie ook §3.2. Als gevolg daarvan is het ontwerp conform de Eurocode ongunstiger.

Tabel 4.10 Vergelijking gedraineerde berekening

	Waterwet LW	Eurocode LW
Sf vereist	1,05	1,0
Sf behaald	1,78	1,49
U.C.	1,62	1,49
		

Tabel 4.11 Vergelijking ongedraineerde berekening

	Waterwet LW	Eurocode LW
Sf vereist	1,05	1,0
Sf behaald	1,13	0,80*
U.C.	1,08	0,80*
		

* Bij het toepassen van de partiële materiaalfactor ($\gamma_{su} = 1,63$) treedt instabiliteit op. De stabiliteitsfactor is bepaald door zonder partiële factoren een safety analyse uit te voeren. Hieruit volgt een $Sf=1,30/\gamma_m = 1,30/1,63=0,80$.

Constructieve belasting

In tabel 4.12 is een overzicht weergegeven van de berekende belastingen (buigend moment). Hierbij zijn zowel de karakteristieke waarden (zonder partiële materiaalfactor) en de rekenwaarden weergegeven. Conform de Waterwet dient voor de rekenwaarde de belasting nog te worden vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor.

Op basis van de berekende buigende momenten is vastgesteld dat de rekenwaarde van het buigend moment conform de Eurocode en Waterwet vergelijkbaar zijn

Tabel 4.12 Berekende krachten case B

	Gedraineerd		Ongedraineerd	
	Waterwet LW	Eurocode LW	Waterwet LW	Eurocode LW
$M_{eem, kar}$ [kNm/m]	178	168	325	287
$M_{eem, d}$ [kNm/m]	$188 \times 1,05 = 197$	200	$407 \times 1,05 = 427$	*

* Bezwijkten tredt op bij toepassen partiële factoren, zie ook tabel 4.11.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen de huidige ontwerppraktijk conform de Eurocode en Waterwet. Op basis van deze vergelijking kunnen vervolgstappen gedefinieerd worden om zo aan te tonen in welke situatie de gelijkwaardigheidsbepaling van het Bouwbesluit toegepast kan worden. Hetgeen betekent dat als een constructie ontworpen is conform de Waterwet niet meer aan de voorwaarden van het Bouwbesluit hoeft te worden voldaan omdat ten minste dezelfde mate van veiligheid wordt gehaald als beoogt met het Bouwbesluit.

In hoofdstuk 2 is een vergelijking op betrouwbaarheidsniveau (β) gepresenteerd. Onder bepaalde aannames is het mogelijk de betrouwbaarheid per jaar conform de Waterwet en de Eurocode te vergelijken, zie Afbeelding 2.2. In tabel 2.3 is een voorstel gedaan hoe gevolgklasse en norm aan elkaar gerelateerd zouden kunnen worden.

In hoofdstuk 3 zijn de semi-probabilistische rekenregels met elkaar vergeleken daarbij zijn de belangrijkste aspecten met elkaar vergeleken:

- ontwerpfilosofie;
- partiële factoren;
- bovenbelasting;
- grondparameters;
- hydraulische randvoorwaarden;
- corrosiesnelheid
- bodemdaling en draagvermogen;
- vervormingseisen.

Op basis van de vergelijking op betrouwbaarheidsniveau en de semi-probabilistische rekenregels is geconcludeerd dat er niet generiek een norm (Waterwet of Eurocode) is die in alle gevallen maatgevend is. Wel zijn er enkele specifiekere ontwerpsituaties vastgesteld waarbij een duidelijk verschil te verwachten is tussen het toepassen van de Eurocode en Waterwet. Door voor deze ontwerpsituaties bij een tweetal cases een ontwerp te maken is dit gevalideerd.

Om een zo eerlijk mogelijke vergelijking te maken is het ontwerp conform de Eurocode en de Waterwet zowel op basis van gedraineerde als ongedraineerde sterkte-eigenschappen gemaakt. Een belangrijke kanttekening die daarbij gemaakt moet worden is dat de Eurocode een relatief hoge partiële materiaalfactor op de ongedraineerde schuifsterkte toepast omdat de Eurocode uitgaat van een niet spannings-afhankelijke schuifsterkte (anders dan het SHANSEP model). Omdat dan de onzekerheid relatief groot is wordt daarom ook een hoge partiële materiaal factor toegepast.

Naast het inzicht in de verschillen is de belangrijkste conclusie dat een vergelijking op semi-probabilistisch niveau niet wordt aanbevolen voor de praktijk gezien de vele uitgangspunten die moeten worden afgestemd. Het heeft daarom de voorkeur om uit te gaan van een vergelijking op betrouwbaarheidsniveau daar waar niet de Waterwet met de PPL/PPE wordt gevolgd maar de Eurocode. In dat geval wordt aanbevolen de belastingsituaties met de hydraulische randvoorwaarden over te nemen uit de Waterwet. Voor STBI is dat de WBN en voor STBU zijn dat de 3 cases die ook gelden voor een groene dijk, zie "Schematiseringshandleiding macrostabiliteit" en "Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied".

Indien de betrouwbaarheidseis vanuit de Waterwet hoger is dan die vanuit de Eurocode moet de berekening dus in een hogere gevolgklasse worden uitgevoerd, of met aangepaste partiële factoren in dezelfde gevolgklasse.

Op basis van de bevindingen in dit rapport worden de volgende aanbevelingen gedaan. Voor langsconstructies in waterkeringen die bijdragen aan de waterkerende functie is primair de Waterwet van toepassing, zowel voor STBI als STBU. De praktische uitwerking en randvoorwaarden staan uitgewerkt in de PPL en PPE. Onderstaand volgt een korte opsomming van voorwaarden:

- Het is een langsconstructie en geen puntconstructie.
- Het faalmechanisme betreft een interactie tussen wand en grondtalud met een gecombineerd glijvlak tot gevolg.
- Het betreft een ingebedde wand en geen gewichtsmuur, keermuur of gefundeerde muur.
- De constructie bevindt zich in de waterkeringszone of invloedszone.

De laatste drie voorwaarden zijn aan elkaar gerelateerd waarbij het primair gaat om het faalmechanisme.

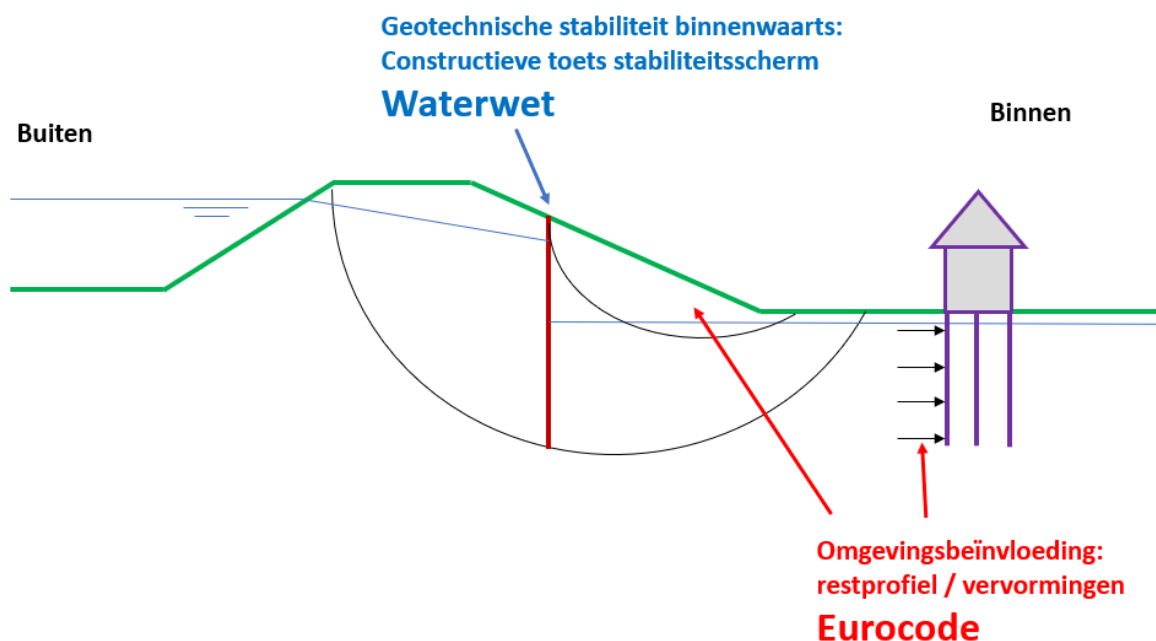
In afbeelding 5.1 en afbeelding 5.2 is een schetsmatig overzicht gegeven van de verschillende situaties die in praktijk voorkomen. In onderstaande alinea's volgt een korte toelichting.

Binnenwaartse stabiliteit (STBI)

De Waterwet is in beginsel expliciet bedoeld voor het beoordelen van de sterkte en stabiliteit van waterkeringen bij hoogwater met overstromen tot gevolg en geeft duidelijke aanwijzingen hoe de hydraulische belastingen en waterspanningen in het hele dijklichaam gemodelleerd moeten worden (freatische lijn, stijghoogte, opbarsten). De praktische uitwerking en randvoorwaarden staan uitgewerkt in de PPL en PPE. Een dubbele controle voor de belastingssituatie van hoogwater met de Eurocode is dus niet noodzakelijk. Aanbevolen wordt om in het Bouwbesluit ook een dergelijke bepaling op te nemen zodat in de praktijk alleen de Waterwet toegepast hoeft te worden, zie ook afbeelding 5.1.

Opgemerkt wordt dat omgevingsbeïnvloeding geen onderdeel is van de toets conform de Waterwet. Dit betekent dat bijvoorbeeld een restprofiel mag optreden zolang het stabiliteitsscherm daarop is berekend. Echter kan vanuit de omgeving hier wel een minimale betrouwbaarheid geëist worden daarvoor dient de Eurocode toegepast te worden, zie kopje omgevingsbeïnvloeding hieronder.

Afbeelding 5.1 Toepassingsgebieden Eurocode en Waterwet: stabiliteit binnenwaarts



Buitenwaartse stabiliteit (STBU)

De Waterwet is ook van toepassing op de buitenwaartse stabiliteit omdat bij falen een situatie kan ontstaan die bij een volgend hoogwater tot overstromen kan leiden. De PPL en PPE zijn dus van toepassing op de stabiliteitsverhogende langconstructies in het buitentalud. De praktijk is dat deze niet veel voorkomen.

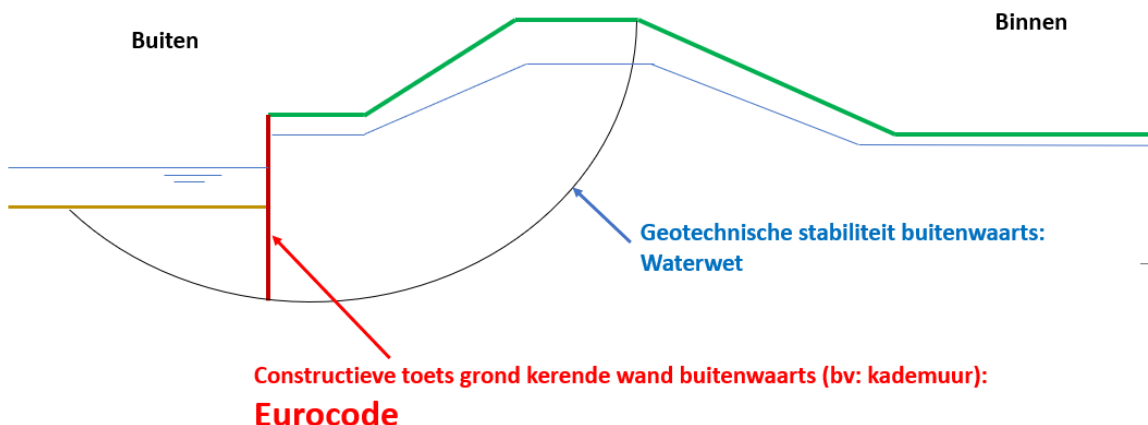
Buitenwaartse kademuren komen wel veel voor in de praktijk. Deze grondkerende wanden hebben primair een functie voor het afmeren en laden en lossen van schepen. De Eurocode, meer specifiek het Handboek Kademuren, is van toepassing op deze constructies. Indien de kademuur tevens in de invloedzone ligt van de waterkering gelden ook de betrouwbaarheidseisen vanuit de Waterwet. In dergelijke situaties wordt aanbevolen het gelijkwaardigheidsprincipe toe te passen. De gevolgklasse conform het bouwbesluit dient te worden gekozen dat ook voldaan wordt aan de Waterwet. De vereiste betrouwbaarheid vanuit de Waterwet voor de levensduur van de constructie kan middels de volgende twee uitgangspunten worden bepaald:

- een voorwaardelijk kans van optreden.
- een levensduur factor.

Opgemerkt wordt dat beide uitgangspunten locatie specifiek moeten worden uitgewerkt. Voor de voorwaardelijke kans. Bij het ontwerp wordt als eerste benadering een kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies van 0,1 aangehouden conform het WBI. Feitelijk wordt hiermee gesteld dat de kans 10% is dat de waterkering niet binnen de beschikbare hersteltijd zodanig gerepareerd kan worden dat bij het volgende hoogwater geen overstromingsgevolgen ontstaan. Deze conditionele kans op een overstroming kan eventueel nader worden bepaald als dit wezenlijke besparingen kan opleveren. Voor de levensduurfactor kan in eerste instantie uit worden gegaan van 1 met een maximum van 10.

Naast de betrouwbaarheidseis moeten de drie belastingsituaties worden overgenomen met hydraulische randvoorwaarden die ook gelden voor de STBU toets van een groene dijk.

Afbeelding 5.2 Toepassingsgebieden Eurocode en Waterwet: buitenwaartse grondkerende constructie



Omgevingsbeïnvloeding -> Eurocode

De bruikbaarheidsgrenstoestand wordt conform de Waterwet niet verder gedefinieerd, hiervoor wordt juist verwezen naar eisen vanuit het Bouwbesluit. De Eurocode kent de toets op de bruikbaarheidsgrenstoestand namelijk uitdrukkelijk wel. Daarom wordt aanbevolen om bij de toets van de beïnvloeding van de omgeving (vervormingen, restprofiel) de Eurocode toe te passen, zie ook afbeelding 5.1. Dit betekent dat voor het toetsen van de omgevingsbeïnvloeding niet uitgegaan hoeft te worden van de extreme waterstand en hoge betrouwbaarheid conform de Waterwet maar van een waterstand met een terugkeertijd gelijk aan de referentieperiode van de betreffende constructie. Een restprofiel hoeft dan niet te voldoen aan de strenge betrouwbaarheidseis conform de Waterwet maar moet wel minimaal voldoen aan de betrouwbaarheid die volgt uit de consequentieklassie behorende bij de betreffende belending conform de Eurocode, zie tabel 2.1.

Hierbij wordt aanbevolen om een juridische boordelling uit te laten voeren wie verantwoordelijk is voor de betrouwbaarheid van het restprofiel, zowel voor bestaande als nieuwe situaties. Met name bij dijken waarbij in het verleden diepwanden in de buitenkruin zijn geplaatst kan dit grote invloed hebben.

Vervolgens dient een voorschrift opgesteld te worden hoe het restprofiel te toetsen (eisen aan het initiële talud). Veelal is het glijvlak niet hoogwater gedreven omdat het ondiepe glijvlakken zijn en zeker als de wand van invloed is op de waterstand in de dijk. Neerslag/overslag kan mogelijk wel grotere invloed hebben. Daarnaast zijn de ondiepe glijvlakken vaak in de (aanvankelijk) onverzadigde zone, wat rekenen met ongedraineerde parameters lastig maakt.

6

REFERENTIES

- (BJZ/WIO), H. B. (2018). *Damwanden in primaire waterkeringen en de toepassing van het Bouwbesluit en NEN-normen*.
- Deltares. (2018). *POV-M Publicatie Stabiliteitsverhogende Langsconstructies*.
- ENW. (2017). *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*.
- Helpdesk Water. (2015). *Nieuwe methode bepaling corrosietoeslag bij stalen damwanden in waterkeringen*.
- NEN 9997-1+C2. (2017). *Geotechnisch ontwerp van constructies Deel 1: algemene regels*.
- NEN-EN 1990. (2011). *NEN-EN 1990+A1+A/C2 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp*.
- OI2014v4. (2017). *Handreiking ontwerpen met overstromingskansen*. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.
- POVM-EEM. (2018). *PPE (POVM-EEM toepassing binnen het ontwerp, Aanwijzingen+Voorbeeldenboek) v1.02*.
- Rijkswaterstaat. (November 2018). *Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken - Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie*.
- TAW. (mei 2003). *Leidraad Kunstwerken*.
- TAW. (November 2004). *Technisch rapport Kistdammen en diepwanden in Waterkeringen*.

Bijlage(n)



BIJLAGE: DAMWANDEN IN PRIMAIRE WATERKERINGEN EN DE TOEPASSING VAN HET BOUWBESLUIT EN NEN-NORMEN

Damwanden in primaire waterkeringen en de toepassing van het Bouwbesluit en NEN-normen

HBJZ/WIO - april 2018

Primaire waterkeringen dienen aan de veiligheidsnormen te voldoen die in de bijlage bij de Waterwet zijn opgenomen op grond van artikel 2.2 van de Waterwet. De beoordeling van de veiligheid vindt plaats aan de hand van het zgn. wettelijk toetsinstrumentarium. Als een primaire waterkering niet aan de in de wet opgenomen signaleringswaarde of ondergrens voldoet, is de beheerder (waterschappen of RWS) aan zet om –op termijn- versterkingsmaatregelen te treffen. Bij het ontwerpen van een versterkingsmaatregel kan de beheerder gebruik maken van de technische leidraden die door de minister van IenW worden uitgegeven (art. 2.6 Waterwet). Deze leidraden fungeren als van overheidswege erkende (technische) toetsings- en berekeningsmethoden.

Een beheerder kan ervoor kiezen een damwand te plaatsen ten behoeve van de versterking van een primaire waterkering. Op grond van de Waterwet gelden er eisen waar de versterkingsmaatregel, waar in dat geval een damwand onderdeel van is, aan moet voldoen. Nadat de versterkingsmaatregel is getroffen, moet de primaire waterkering immers aan de veiligheidsnorm voldoen.

Thans doet de vraag zich voor of een damwand die in een primaire waterkering is of wordt geplaatst, een bouwwerk is. Als een damwand een bouwwerk is, dan is daarop het Bouwbesluit van toepassing. Als dat het geval is, dan doet de vraag zich voor of de technische bouwvoorschriften die worden gesteld o.g.v. het Bouwbesluit met het oog op de algemene sterkte van bouwconstructies van toepassing zijn. Meer specifiek gaat het om de vraag of het Bouwbesluit voorschrijft dat een damwand die onderdeel is van een waterkering moet voldoen aan de NEN-EN 1990 (nieuwbouw) of NEN 8700 (bestaande bouw). Als dat het geval is, dan is tevens de vraag of het Bouwbesluit zwaardere eisen stelt aan een damwand in een primaire waterkering dan de eisen die op grond van de Waterwet gelden.

In deze notitie wordt getracht bovenstaande vragen te beantwoorden.

1. Is een damwand in een dijk een bouwwerk?

Een 'bouwwerk' is (op dit moment) niet gedefinieerd in de Woningwet, het Bouwbesluit of de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). In de jurisprudentie wordt voor de definitie aansluiting gezocht bij de definitie die de VNG heeft opgenomen in artikel 1.1 van de Modelbouwverordening: *"elke constructie van hout, steen, metaal of ander materiaal, die op de plaats van bestemming hetzij direct of indirect steun vindt in of op de grond"*. Uit de jurisprudentie is af te leiden dat aan vier eisen moet worden voldaan, wil er sprake zijn van een bouwwerk:

- een bouwconstructie
- een zekere omvang
- met de grond verbonden
- plaatsgebondenheid

Een damwand voldoet aan deze criteria en is derhalve een bouwwerk. Dat blijkt ook uit de jurisprudentie (zie bijv. de uitspraak van de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State van 4 september 2002; ECLI:NL:RVS:2002:AE7218). Ook in de bestaande praktijk lijkt er geen discussie over de vraag of het slaan van een damwand het oprichten van een bouwwerk is. Het maakt daarbij niet uit of de damwand wel of niet zichtbaar (onder de grond geplaatst) is.

2. Is het Bouwbesluit van toepassing?

Het Bouwbesluit is gericht op bouwwerken. En de artikelen in het Bouwbesluit spreken over het bouwen, gebruik, slopen of in stand houden van 'bouwwerken'. Daarbij kan het dus ook om een damwand gaan. Het Bouwbesluit is derhalve van toepassing op een damwand.

3. Zo ja, welke eisen uit het Bouwbesluit gelden voor het toepassen van damwanden?

Het Bouwbesluit stelt eisen aan nieuwe en bestaande bouwwerken. Bij het ontwerpen van een versterkingsmaatregel, waar een damwand onderdeel van is, zal per geval beoordeeld moeten worden of aan de eisen van het Bouwbesluit wordt voldaan.

In de emailwisselingen die HBJZ van DGWB heeft ontvangen blijkt het vraagstuk zich met name te richten op de vraag of de NEN-EN 1990 (nieuwbouw) van toepassing is op het slaan van damwanden in een waterkering. Het slaan van een damwand in een waterkering kan worden beschouwd als een te bouwen bouwwerk. In afdeling 2.1 van het Bouwbesluit zijn technische bouwvoorschriften opgenomen met betrekking tot de algemene sterkte van bouwconstructies. In deze afdeling wordt voor nieuwbouw verwezen naar NEN-EN 1990 en voor bestaande bouw naar NEN 8700.

In art. 2.1, eerste lid, van het Bouwbesluit is bepaald dat een te bouwen bouwwerk voldoende bestand dient te zijn tegen de daarop werkende krachten. Dit betekent dat de constructie van een bouwwerk zo moet zijn dat het bij het beoogde gebruik niet kan bezwijken. In artikel 2.6, eerste lid, van het Bouwbesluit is bepaald dat een bestaand bouwwerk gedurende de restlevensduur voldoende bestand is tegen de daarop werkende krachten. Omdat een damwand een bouwwerk is, gelden deze (algemene) eisen voor damwanden in waterkeringen.

Aan het eerste lid van art. 2.1 Bouwbesluit wordt voldaan als het bouwwerk voor de betreffende gebruiksfunctie aan de voorschriften voldoet waarnaar de tabel van artikel 2.1, tweede lid, Bouwbesluit verwijst. In de tabel wordt onderscheid gemaakt tussen de gebruiksfuncties 'woonfunctie', 'logiesfunctie' en 'andere (dan de hierboven genoemde) gebruiksfuncties'. Voor bestaande bouwwerken is in art. 2.6 van het Bouwbesluit eenzelfde systematiek opgenomen en worden dezelfde gebruiksfuncties onderscheiden.

Om vast te stellen welke voorschriften uit afdeling 2.1 Bouwbesluit van toepassing zijn om te voldoen aan artikel 2.1, eerste lid, of artikel 2.6, eerste lid, van het Bouwbesluit, dient vastgesteld te worden of bij een damwand sprake is van een *gebruiksfunctie*. Een gebruiksfunctie is in artikel 1.1 van het Bouwbesluit gedefinieerd als: "*gedeelten van een of meer bouwwerken die dezelfde gebruiksbestemming hebben en die tezamen een gebruikseenheid vormen*". Het Bouwbesluit onderscheidt in artikel 1.1, tweede lid, twaalf (hoofd)gebruiksfuncties. Eén van de gebruiksfuncties is een 'bouwwerk, geen gebouw zijnde'. Een 'bouwwerk, geen gebouw zijnde' is in artikel 1.1, tweede lid, van het Bouwbesluit gedefinieerd als: "*bouwwerk of gedeelte daarvan, voor zover dat geen gebouw of onderdeel daarvan is*". Voorbeelden van een bouwwerk geen gebouw zijnde, zijn onder meer een brug, een viaduct, een hondenhok, een steiger en een tunnel. Ook een damwand die onderdeel is van een primaire waterkering is, gelet op de definitie, een bouwwerk geen gebouw zijnde.

Dit betekent dat o.g.v. de tabel in artikel 2.1, tweede lid, van het Bouwbesluit kan worden bepaald welke voorschriften van toepassing zijn op het plaatsen van een damwand in een waterkering om te voldoen aan artikel 2.1, eerste lid, van het Bouwbesluit. Op basis van de tabel blijkt dat voor nieuwbouw onder andere artikel 2.2 en artikel 2.3, eerste lid, van het Bouwbesluit van toepassing zijn. Deze artikelen hebben tot doel te waarborgen dat een bouwconstructie gedurende de ontwerplevensduur niet bezwijkt bij de fundamentele en buitengewone belastingscombinaties als bedoeld in NEN-EN 1990. De NEN-EN 1990 is derhalve van toepassing op het slaan van een damwand in een (bestaande) waterkering.

Voor bestaande waterkeringen die reeds voorzien zijn van een damwand dient o.g.v. de tabel van artikel 2.6, tweede lid, van het Bouwbesluit te worden bepaald welke voorschriften van toepassing zijn om te voldoen aan artikel 2.6, eerste lid, van het Bouwbesluit. Uit de tabel blijkt dat dit o.a. artikel 2.7 betreft. In artikel 2.7 is bepaald dat een bouwconstructie gedurende de in NEN 8700 bedoelde restlevensduur niet bezwijkt bij de fundamentele belastingscombinaties als bedoeld in NEN 8700.

De NEN-EN 1900 (nieuwbouw) en de NEN 8700 (bestaande bouw) zijn derhalve van toepassing op damwanden in waterkeringen.

De vraag of het van toepassing zijn van deze NEN-normen o.g.v. het Bouwbesluit ook betekent dat zwaardere eisen gelden voor de toepassing van een damwand dan de eisen die voor waterveiligheid gelden op grond van de Waterwet, kunnen wij niet beantwoorden. Dat vraagt om een technisch-inhoudelijke beoordeling en –naar verwachting– ook een beoordeling per situatie. Het is ons inziens niet uitgesloten dat dit het geval kan zijn, omdat de invalshoek van waterveiligheid o.g.v. de Waterwet een andere is dan die van constructieve veiligheid als bedoeld in het Bouwbesluit.

4. *Wat betekent de gelijkwaardigheidsbepaling van het Bouwbesluit? En specifiek voor het van toepassing zijn van de NEN-normen?*

In artikel 1.3 van het Bouwbesluit is de gelijkwaardigheidsbepaling opgenomen. Voor deze notitie is relevant dat deze gelijkwaardigheidsbepaling inhoudt dat aan een in het Bouwbesluit gesteld voorschrift niet hoeft te worden voldaan, indien het bouwwerk anders dan door toepassing van het desbetreffende voorschrift ten minste dezelfde mate van veiligheid biedt als beoogt met het voorschrift. Deze gelijkwaardigheidsbepaling geldt derhalve ook voor de in het antwoord op vraag 3 genoemde NEN-normen.

Als men gebruik wil maken van de gelijkwaardigheidsbepaling, dan dient te worden aangetoond dat het bouwwerk ten minste eenzelfde mate van veiligheid biedt als is beoogd met het betrokken voorschrift. In dit geval gaat het dan om eenzelfde mate van veiligheid als op grond van NEN-EN 1990 of NEN 8700 geldt voor een damwand.

Resumé

- Een damwand in een primaire waterkering is een bouwwerk, waar het Bouwbesluit op van toepassing is.
- Op grond van het Bouwbesluit gelden voor damwanden technische bouwvoorschriften met betrekking tot de algemene sterkte van de bouwconstructie. Voor nieuwbouw geldt de NEN-EN 1990; voor bestaande bouw naar NEN 8700.
- Of het Bouwbesluit (NEN-EN 1990 en de NEN 8700) strengere eisen stelt aan damwanden in primaire waterkeringen dan de eisen die op grond van de Waterwet gelden, vraagt om een technisch-inhoudelijke beoordeling.



BIJLAGE: GENERIEKE UITGANGSPUNTEN CASE A

Geometrie

In Tabel II.1 zijn de geometrische uitgangspunten weergegeven.

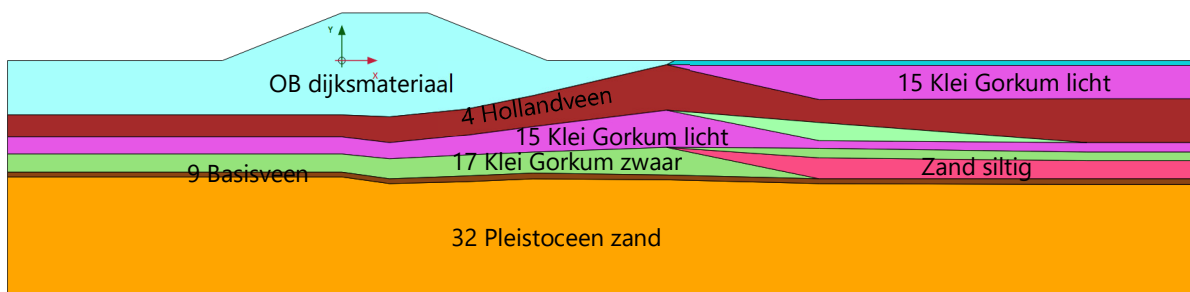
Tabel II.1 Geometrische uitgangspunten

Eigenschap	Ontwerpprofiel
maaiveld buitenzijde	0,0 m+NAP
helling buitentalud	1:2,5
kruinhoogte	5,0 m+NAP
kruinbreedte	9,0m
helling binnentalud	1:2,5
maaiveld binnenzijde	0,0 m+NAP
bodemdaling (kruin/achterland)	0,5 m/0,35 m

Geotechnische parameters

In Afbeelding II.1 is de bodemopbouw weergegeven. In deze case is er in het achterland een bijna 13 m dik slappe lagen pakket aanwezig. De dijk is opgebouwd uit kleiig materiaal. In Tabel II.2 tot en met Tabel II.5 zijn de geotechnische parameters van alle grondlagen weergegeven. De grondeigenschappen zijn overgenomen uit de interpretatie zoals is opgenomen in Bijlage A van POVM-EEM. De sterkte-eigenschappen betreffen Critical state sterkte parameters en wordt gebruikt voor het Eurocode ontwerp en de fasering conform POVM-EEM. Voor de toetsfase wordt conform POVM-EEM overgestapt naar het Shansep NGI-ADP model.

Afbeelding II.1 Bodemopbouw Case A



Tabel II.2 Volumiek gewicht

Grondsoort	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]
Dijksmateriaal	18,45	18,45
Klei Tiel	14,23	14,23
Hollandveen	10,35	10,35
Klei Gorkum licht (humeus)	11,86	11,86
Klei Gorkum	13,88	13,88
Klei Gorkum zwaar	15,44	15,44
Basisveen	10,86	10,86
Zand siltig	19,00	19,00
Pleistoceen zand	18,00	20,00

Tabel II.3 Sterkte en stijfheidsparameters SSC model, lage karakteristieke waarden (t.b.v. fasering en Eurocode ontwerp)

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

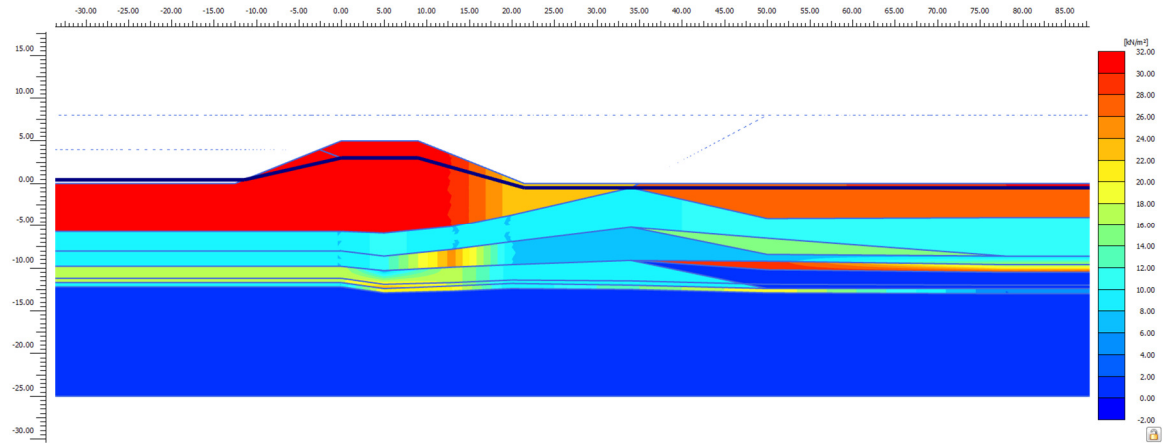
Tabel II.4 Sterkte en stijfheidsparameters Shansep NGI-ADP model, lage karakteristieke waarde (ontwerp conform Waterwet)

Grondsoort	α [-]	m [-]	G/s_u^A [-]	γ^C [%]	γ^{DSS} [%]	γ^{F} [%]
Dijksmateriaal	0,25	0,76	193	10,08	12,60	15,12
Klei Tiel	0,18	0,76	26	9,74	12,17	14,60
Hollandveen	0,29	0,76	24	12,07	14,49	16,90
Klei Gorkum licht (humeus)	0,25	0,76	26	9,66	12,07	14,49
Klei Gorkum	0,20	0,76	51	6,16	11,09	16,02
Klei Gorkum zwaar	0,23	0,76	108	4,93	9,86	14,78
Basisveen	0,29	0,76	24	12,07	14,49	16,90

Tabel II.5 Sterkte en stijfheidsparameters Hardening Soil, lage karakteristieke waarden

Grondsoort	E_{50}^{ref} [MN/m ²]	E_{oed}^{ref} [MN/m ²]	E_{ur}^{ref} [MN/m ²]	m [%]	c'_{kar} [kN/m ²]	φ'_{kar} [kN/m ²]	K_0^{nc} [-]
Zand siltig	10	10	30	0,5	0,1	30,0	0,500
Pleistoceen zand	35	35	100	0,5	0,1	32,5	0,463

Afbeelding II.2 Grensspanningsveld Case A





BIJLAGE: GENERIEKE UITGANGSPUNTEN CASE B

Geometrie

In Tabel III.1 zijn de geometrische uitgangspunten weergegeven.

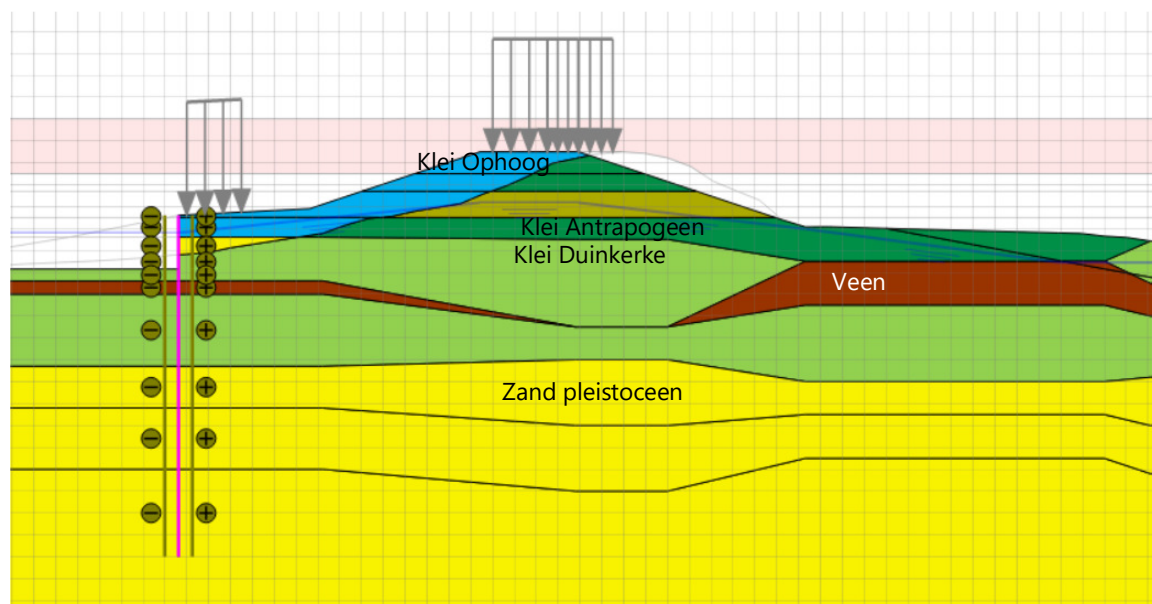
Tabel III.1 Geometrische uitgangspunten

Eigenschap	Ontwerpprofiel
Maaiveld buitenzijde	-1,87 m+NAP
Helling buitentalud (hoog/laag)	1:3,0 / 1:5,6
Kruinhoogte	3,5 m+NAP
Kruinbreedte	4,5 m
Buitenberm breedte	6m
Kerende hoogte kade	2,5m
Helling binnentalud (laag)	1:2,5
Maaiveld binnenzijde	-0,58 m+NAP
Bodemdaling	0,10 m
Bovenbelasting	13,3 kN/m ²

Geotechnische parameters

In Afbeelding III.1 is de bodemopbouw weergegeven, in deze case is er in het voorland een circa 4m dik slappe lagen pakket aanwezig. De dijk is opgebouwd uit kleilig materiaal. In Tabel III.2 t/m Tabel III.5 zijn de geotechnische parameters van alle grondlagen weergegeven.

Afbeelding III.1 Grondopbouw Case B



Tabel III.2 Volumiek gewicht

Grondsoort	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]
Klei, Ophoog	16,5	16,5
Klei, Antropogeen	14,1	14,1
Klei, Duinkerke	13,5	13,5
Klei, Calais	14,3	14,3
Veen	10,4	10,4
Zand, Antropogeen	18,0	20,0
Zand, Ophoog	18,0	20,0
Zand, Pleistoceen	18,0	20,0

Tabel III.3 Sterkte en stijfheidsparameters SSC model, lage karakteristieke waardes (t.b.v. fasering en Eurocode ontwerp)

Grondsoort	λ_{kar}^* [-]	κ_{kar}^* [-]	μ_{kar}^* [-]	c'_{kar} [kN/m ²]	φ'_{kar} [°]	K_0^{nc} [-]
Klei, Ophoog	0,065	0,0208	0,0039	5,0	22,5	0,617
Klei, Antr	0,117	0,0375	0,0070	2,0	29,0	0,515
Klei, Duinkerke	0,130	0,0417	0,0078	1,0	34,0	0,441
Klei, Calais	0,113	0,0361	0,0068	1,0	29,0	0,515
Veen	0,198	0,0632	0,0119	1,0	42,0	0,331

Tabel III.4 Sterkte en stijfheidsparameters Shansep NGI-ADP model, lage karakteristieke waarde (ontwerp conform Waterwet)

Grondsoort	α [-]	m [-]	G/s_u^A [-]	γ_f^C [%]	γ_f^{DSS} [%]	γ_f^E [%]
Klei, Antr	0,22	0,80	68	5	7,5	10
Klei, Duinkerke	0,25	0,80	63	5	7,5	10
Klei, Calais	0,22	0,80	70	5	7,5	10
Veen	0,45	0,85	46	20	30	40

Tabel III.5 Sterkte en stijfheidsparameters Hardening Soil, lage karakteristieke waarden

Grondsoort	E_{s0}^{ref} [MN/m ²]	$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [MN/m ²]	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [MN/m ²]	m [%]	c'_{kar} [kN/m ²]	φ'_{kar} [kN/m ²]	K_0^{nc} [-]
Zand, Antr	10	10	30	0,5	0,1	30,05	0,499
Zand, Ophoog	10	10	30	0,5	0,1	30,05	0,499
Zand, Pleistoceen	35	35	100	0,5	0,1	30,05	0,499

Afbeelding III.2 POP veld Case B

