

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Rekennota keermuren

Promotor :
dr. ing. Bram VANDOREN

Promotor :
ing. KOEN HEYENS

Dieter Vanderheiden
Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding van de Universiteit Hasselt en de KU Leuven

2013•2014
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Rekennota keermuren

Promotor :
dr. ing. Bram VANDOREN

Promotor :
ing. KOEN HEYENS

Dieter Vanderheiden
Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Woord vooraf

Deze masterproef is de afsluiting van mijn opleiding tot Industrieel ingenieur aan de Universiteit Hasselt. Het tot stand brengen van deze masterproef was nooit hetzelfde gegaan zonder de hulp en steun van de verschillende mensen rondom mij. Daarom zou ik hier dan ook iedereen willen bedanken die betrokken was bij het realiseren van dit eindwerk.

In de eerste plaats zou ik Stradus Aqua willen bedanken voor de mogelijkheid om mijn masterproef bij hun uit te voeren en daarnaast ook mijn externe promotor, ing. K. Heyens, die mij geholpen heeft met mijn vragen en bij de problemen die zich voordeden. Het was niet altijd even gemakkelijk voor ons om tijd vrij te maken voor een afspraak, maar toch deed hij dit altijd bereidwillig.

Ten tweede zou ik mijn interne promotor, dr. ing. B. Vandoren, willen bedanken voor de hulp en sturing die hij mij gegeven heeft. Ook dank ik hem voor zijn raadgeving, ideeën en kritiek die hij mij tijdens het academiejaar heeft gegeven.

Ten slotte wil ik mijn ouders bedanken voor de kans die ik heb gekregen om deze studies te kunnen volgen en voor de steun die zij mij hebben gegeven gedurende mijn hele schoolcarrière. Ook al ging het soms wat moeilijker, toch zijn zij altijd in mij blijven geloven.

Abstract

Door de toenemende bebouwing en wegverharding in België is er steeds minder open ruimte. Hierdoor wordt het moeilijker om werken uit te voeren of om hoogteverschillen in het landschap geleidelijk in elkaar te laten overlopen. Daarom worden op plaatsen waar vroeger eenvoudige taluds werden gebruikt, nu verticale keerstructuren geplaatst. Keerstructuren kunnen een niveauverschil in het grondoppervlak opvangen net zoals een talud, maar met het verschil dat er bij keerstructuren veel minder ruimte nodig is. Een keerstructuur moet voornamelijk de horizontale gronddrukken opvangen.

Bij keerstructuren kunnen we twee grote groepen onderscheiden, de keerwanden en de keermuren. In deze masterproef wordt verder onderzoek gevoerd naar keermuren, meer bepaald de console-muren. Dit type bestaat uit een wand die de horizontale gronddrukken moet opvangen en een voet die door het gewicht van de bovenliggende grond de constructie in evenwicht moet houden.

Om makkelijke en snel een keermuur te dimensioneren in een bepaalde situatie, wordt er een rekentool ontwikkeld in Excel®. Deze rekentool berekent na het ingeven van de geometrie van de keermuur en de omgevingsvariabelen of de keermuur voldoet aan de controleberekeningen. Daarna berekent de rekentool welke wapening er voorzien moet worden.

Aan de hand van de uitkomsten van de rekentool bij variërende geometrie en belastingen kunnen wapeningscategorieën bepaald worden om zo de aankoop van wapening te standaardiseren. Hierdoor kan de prijs bij de aankoop van wapening gedrukt worden en kan het productieproces sneller verlopen waardoor ook de productiekosten verminderen. Het doel van deze masterproef is dus om een optimalisatie in het wapeningsverbruik te bekomen.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Abstract	III
Inhoudsopgave	V
Lijst van afkortingen en symbolen	VII
Lijst van figuren	XI
Lijst van tabellen	XIII
Deel I: Onderzoeksvraag	1
Deel II: Literatuurstudie	3
1 Keerstructuren	3
1.1 Keermuren	3
1.2 Keerwanden	5
1.3 Samengestelde grondkerende constructies	6
2 Stabiliteit	7
2.1 Sterktecontrole	7
2.2 Stabiliteitscontrole	7
3 Belastingen.....	9
3.1 Classificatie van belastingen	9
3.1.1 Blijvende belastingen G.....	9
3.1.2 Veranderlijke belastingen Q.....	9
3.1.3 Accidentele belastingen A.....	10
3.2 Rekenwaarde van belastingen	11
3.2.1 Uiterste grenstoestand UGT.....	11
3.2.2 Gebruiksgrenstoestand GGT.....	12
3.3 Voorstelling belastingen op keermuur	13
3.3.1 Eigengewicht.....	13
3.3.2 Grond	13
3.3.3 Grondwater.....	14
3.3.4 Verkeerslast.....	15
4 Wapening	17
4.1 Soorten wapeningsstaal	17
4.2 Dimensioneren van wapening	18
4.3 Prefab wapeningsnetten	19
Deel III: Rekennota	21
1 Algemene gegevens	21
1.1 Geometrie constructie	21
1.2 Materiaalkenmerken	22
1.3 Grondmechanische kenmerken	22

2	Berekening	25
2.1	Lastendaling	25
2.2	Belastingen	26
2.2.1	Verticale belasting	26
2.2.2	Horizontale belasting	29
2.3	Controleberekeningen	32
2.3.1	Afschuiven	34
2.3.2	Kantelen	34
2.4	Wapening	36
2.4.1	Minimumwapening	36
2.4.2	Hoofdwapening	37
2.4.3	Dwarskrachtwapening	41
2.4.4	Verankeringslengte	42
2.4.5	Wapeningsplan	46
2.5	Controles in GGT-K	46
2.5.1	Betondruksterkte	46
2.5.2	Staaltreksterkte	47
2.6	Controles in GGT-Q	47
2.6.1	Scheurwijdte	47
2.6.2	Doorbuiging	49
2.7	Voorbeeldberekening	50
3	Bezwijkmodes	51
4	Wapeningstabellen en -grafieken	53
4.1	Opstellen van wapeningstabellen en -grafieken	53
5	Conclusie	57
	Appendix A: Partiële- en samenstelfactoren	59
	Appendix B: Tabel voor ontwerpberekening	61
	Appendix C: Waarden van A_{sw} en A_{sw}/s voor beugels met twee verticale benen	63
	Appendix D: Sterkte- en vervormingseigenschappen voor beton	65
	Appendix E: Waarden van de coëfficiënten α_1, α_2, α_3, α_4 en α_5	67
	Appendix F: Bepalen van de maximale scheurwijdte	69
	Appendix G: Rekenvoorbeeld	71
	Appendix H: Excel-werkblad	95
	Appendix I: Wapeningstabellen en grafieken	101
	Bibliografie	113

Lijst van afkortingen en symbolen

A	Accidentele belasting
$A_{c,eff}$	Effectief meewerkende betondoorsnede
A_s	Wapeningsoppervlakte
$A_{s,min}$	Minimum wapeningsoppervlakte
A_{sw}	Dwarskrachtwapening
A_v	Oppervlakte dwarsdoorsnede voet
A_w	Oppervlakte dwarsdoorsnede wand
d	Nuttige hoogte van de betondoorsnede
E	Elasticiteitsmodulus
E_c	Elasticiteitsmodulus beton
E_{cm}	Elasticiteitsmodulus van het beton (secans modulus op 28 dagen)
E_d	Ontwerpwaarde van de krachten op de constructie
$E_{dst,d}$	Ontwerpwaarde van de krachten met ongunstig effect
$E_{stb,d}$	Ontwerpwaarde van de krachten met gunstig effect
f_{bd}	Uiterst opneembare aanhechtspanning
f_{cd}	Ontwerpdruksterkte van beton
f_{ck}	Karakteristieke druksterkte van beton
f_{yd}	Ontwerptreksterkte van het wapeningsstaal
f_{yk}	Karakteristieke treksterkte van wapeningsstaal
G	Blijvende belasting
GGT	Gebruiksgrenstoestand
$g_{k,gr}$	Vaste lijnlast (verticale gronddruk)
$G_{k,gr}$	Vaste puntlast (verticale gronddruk)
$g_{k,gr\ hor}$	Vaste lijnlast (horizontale gronddruk)
$G_{k,gr\ hor}$	Vaste puntlast (horizontale gronddruk)
$g_{k,km}$	Vaste lijnlast (gewicht keermuur)
$G_{k,km}$	Vaste puntlast (gewicht keermuur)
$G_{k,v}$	Vaste puntlast (gewicht voet)
$G_{k,w}$	Vaste puntlast (gewicht wand)
H	Hoogte van de keermuur
H_a	Hoogte van de aanvulling
H_w	Hoogte van het grondwater
I	Traagheidsmoment (mm^4)
K_a	Actieve gronddrukcoëfficiënt
K_p	Passieve gronddrukcoëfficiënt

$l_{b,eq}$	Vereenvoudigde verankeringslengte
$l_{b,rqd}$	Basisverankeringslengte
l_{bd}	Rekenwaarde van de verankeringslengte
l_o	Overlappingslengte
L_v	Lengte van de voet
M	Moment
M_{kantel}	Moment verantwoordelijk voor het kantelen
M_{max}	Maximaal moment
M_{stab}	Moment dat weerstand biedt tegen het kantelen
M_v	Veldmoment
P_k	Karakteristieke waarde van de voorspankracht
Q	Veranderlijke belasting
q	Lijnlast die overlast op het maaiveld weergeeft
$q_{k,ov}$	Variabele lijnlast (overlast op maaiveld)
$Q_{k,ov}$	Variabele puntlast (overlast op maaiveld)
$q_{k,ov\ hor}$	Variabele lijnlast (horizontale gronddruk tgv overlast op maaiveld)
$Q_{k,ov\ hor}$	Variabele puntlast (horizontale gronddruk tgv overlast op maaiveld)
$q_{k,vk}$	Variabele lijnlast (verkeerslast)
$Q_{k,vk}$	Variabele puntlast (verkeerslast)
$q_{k,w\ hor}$	Variabele lijnlast (horizontale grondwaterdruk)
R_d	Ontwerpwaarde van de weerstand van de grond
SF	Veiligheidsfactor (Safety Factor)
$S_{r,max}$	Maximale scheurafstand
T_d	Weerstand van de grond rond de structuur
T_{schuif}	Schuifkracht
T_{stab}	Weerstand tegen schuiven
T_v	Dikte van de voet
T_w	Dikte van de wand
UGT	Uiterste grenstoestand
V_{ed}	Dwarskracht
$V_{Rd,c}$	Dwarskrachtweerstand
$V_{Rd,c,min}$	Minimum dwarskrachtweerstand
$V_{Rd,req}$	Vereiste dwarskrachtweerstand
w_k	Scheurwijdte
zwp_{vk}	Zwaartepunt van de verkeerslast (-mv)
α_e	Verhouding van E_c/E_{cm}
γ_c	Partiële veiligheidsfactor op weerstand van het beton
γ_{dr}	Volume gewicht van droge grond

γ_G	Partiële factor voor blijvende belasting
γ_k	Volume gewicht van beton
γ_n	Volume gewicht van natte grond
γ_Q	Partiële factor voor veranderlijke belasting
γ_s	Partiële veiligheidsfactor op weerstand van het wapeningsstaal
γ_w	Volume gewicht grondwater
δ	Wrijvingshoek
Δl	Doorbuiging
ζ	Verdeelcoëfficiënt
κ	Verdeelcoëfficiënt (Cross)
μ	Algemene verdeelcoëfficiënt (Cross)
μ_d	Gereduceerd moment
ν	Poissoncoëfficiënt
ρ	Overdrachtscoëfficiënt (Cross)
$\rho_{p,eff}$	Effectieve wapeningsverhouding
σ_c	Drukspanning in het beton
σ_h	Horizontale gronddruk
σ_s	Trekspanning in de wapening
φ	Kritische wrijvingshoek
φ_k	Kruipfactor
Ψ	Samenstelfactor

Lijst van figuren

Figuur 1: Keermuren: gewichtsmuren (a), console-muren (b) en (c)	4
Figuur 2: Keerwanden: damwand (d), diepwand (e) en beschoeiing (f).....	5
Figuur 3: Keerwanden (bonvenaanzicht): damwand (a), slibwand (b), Berlijnse wand (c), tangenspallen (d), secanspallen (e)	6
Figuur 4: Bezwijken van de constructie.....	7
Figuur 5: Horizontaal glijden (a) en kantelen (b).....	8
Figuur 6: Eigengewicht	13
Figuur 7: Gronddruk op wand	14
Figuur 8: Gronddruk op voet.....	14
Figuur 9: Verkeerslast	15
Figuur 10: Spanning-rek diagram wapeningsstaal	17
Figuur 11: Geometrie constructie.....	21
Figuur 12: Lastendaling	25
Figuur 13: Belastingen.....	26
Figuur 14: Spanningen tgv een puntlast volgens Boussinesq	28
Figuur 15: Verloop horizontale gronddruk tgv verkeerslast; A: werkelijk ; B: vereenvoudigd.....	32
Figuur 16: Kantelen (A); horizontaal glijden (B).....	33
Figuur 17: Vereenvoudigde keermuur.....	37
Figuur 18: Wapeningsplan	46
Figuur 19: Bezwijkmodes	52
Figuur 20: Wapeningscategorieën	56

Lijst van tabellen

Tabel 1: Verkeersklassen	16
Tabel 2: Materiaalkenmerken	22
Tabel 3: Grondmechanische kenmerken	23
Tabel 4: Kantelen.....	35
Tabel 5: Belastinggevallen	38
Tabel 6: Kritische momenten	39
Tabel 7: Cross-iteratie	40
Tabel 8: Waarden van de coefficient α_6	45
Tabel 9: Doorbuiging	50
Tabel 10: Inklemmingswapening	54
Tabel 11: Wapening in de voet.....	54
Tabel 12: Samengevoegde tabel.....	55
Tabel 13: Wapeningscategorieën	56
Tabel 14: Conclusie	57

Deel I: Onderzoeksvraag

Wanneer een betonnen product wordt ontwikkeld is niet alleen het productieproces van belang, maar ook een volledig uitgewerkt technisch dossier. Een onderdeel van dat dossier is een rekennota volgens de correcte normen, die ervoor zorgt dat dit product de nodige keurmerken krijgt. Dit gedeelte wordt binnen Stradus Aqua bekeken voor de keermuren.

Er wordt onderzocht welke (veiligheids)factoren en welke materiaal- en grondmechanische kenmerken van toepassing zijn voor de keermuren. Deze eisen mogen niet te zwaar doorwegen voor de productiekosten van het product. Er moet dus een ideale balans worden gevormd tussen de eisen uit de normen en de productiekosten.

De rekennota moet worden gemaakt en berekend via een handige rekentool. Deze rekentool berekend na het ingeven van de geometrie van de keermuur en de omgevingsvariabelen of de keermuur voldoet aan de controleberekeningen. Daarna berekend de rekentool welke wapening er voorzien moet worden. Deze moet worden geoptimaliseerd door ze uit te rekenen volgens de klassieke sterkteleer en met opgedane kennis uit de opleiding bouwkunde.

Aan de hand van de uitkomsten van de rekentool bij variërende geometrie en belastingen moeten wapeningscategorieën bepaald worden om zo de aankoop van wapening te standaardiseren. Hierdoor moet de prijs bij de aankoop van wapening gedrukt kunnen worden en het productieproces sneller laten verlopen waardoor ook de productiekosten zullen verminderen. Het doel van deze masterproef is om een zekere optimalisatie te bekomen.

Deel II: Literatuurstudie

1 Keerstructuren

Keerstructuren zijn constructies die nodig zijn om de bodem te ondersteunen. De bodem kan grond, aanvullingen, gesteente en water zijn. Ondersteuning van het materiaal wordt bekomen wanneer de ondersteuningshelling steiler is dan de helling die uiteindelijk zou ontstaan indien geen constructie aanwezig zou zijn of beter gezegd een talud. Alle soorten wanden en ondersteuningën waarin krachten worden opgewekt, worden beschouwt als grondkerende constructies.

Als de grondkerende constructies worden onderverdeeld volgens hun ontwerp, kunnen er drie types onderscheiden worden, namelijk de keermuren, keerwanden en samengestelde grondkerende constructies.

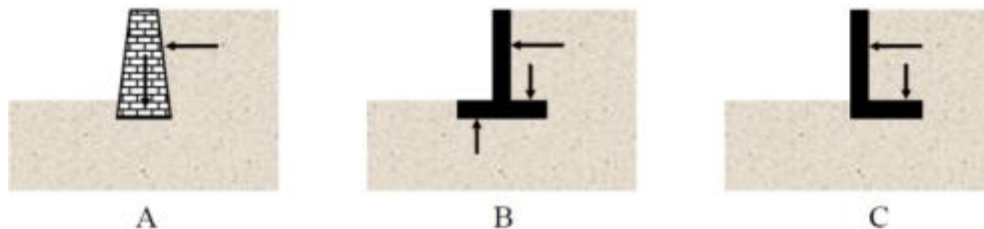
1.1 Keermuren

Keermuren kunnen bestaan uit steen, stampbeton of gewapend beton, die een funderingsgrondvlak of voet hebben met of zonder teen, uitstekende rand of steunbeer. Deze elementen zorgen voor een extra weerstand van de grond.

Het gewicht van de muur zelf, waarbij ook het ondersteunde volume grond, gesteente of aanvulling wordt meegerekend, speelt een grote rol in het ondersteunen van het materiaal. Door middel van de zwaartekracht worden de horizontale gronddrukken opgevangen. Eenvoudig bekeken wil dit zeggen dat het eigengewicht van de grond zijn eigen horizontale gronddruk opvangt.

Keermuren worden vooral gebruikt bij ophogingen. Hierbij wordt eerst de muur gebouwd en daarna de grond aangebracht. In geval van uitgravingen, moet er

eerst een tijdelijke bouwput worden gemaakt voor de constructie van de muur, waarna de grond aan een zijde terug wordt aangevuld. In het geval van uitgravingen kunnen beter keermuren worden gebruikt. Er kunnen twee types van keermuren worden onderscheiden (De Smedt, 2010).



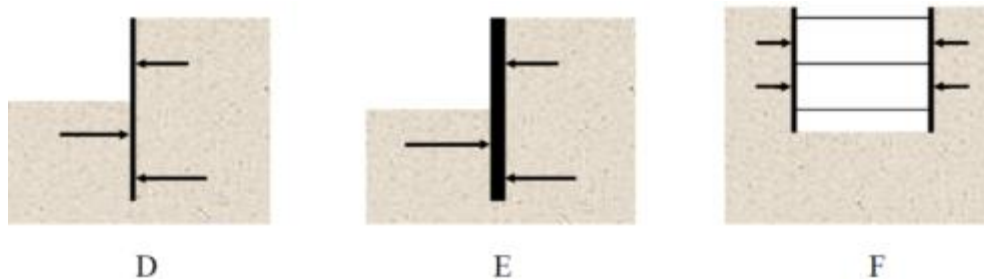
Figuur 1: Keermuren: gewichtsmuren (a), console-muren (b) en (c) (De Smedt, 2010)

De eerste categorie zijn de gewichtsmuren (Figuur 1a). De stabiliteit wordt bekomen door hun eigengewicht. De horizontale gronddrukken worden via de muur overgebracht naar de fundering. Wanneer een keermuur ontworpen wordt moet het verticaal en horizontaal evenwicht worden gecontroleerd. Met als verticaal evenwicht het draagvermogen van de grond onder de muur dat een belangrijke rol speelt en bij het rotatie- en horizontaal evenwicht de gronddrukken die een grote rol spelen. Gewichtsmuren worden meestal uitgevoerd in metselwerk, ongewapend beton of blokstenen.

Het tweede type zijn de console-muren (Figuur 2b & c). Hier wordt het evenwicht gevonden door het gewicht van de grond op de voet en het draagvermogen van de grond dat de horizontale gronddrukken opvangen. Het werkingsprincipe is bijna gelijk aan dat van gewichtsmuren, maar bij dit type van keermuur moet ook de sterkte van de constructie worden nagegaan om de muur en de wapening te kunnen dimensioneren. Het meest gebruikt om console-muren te maken is gewapend beton. De console-muren worden nader bekeken in deze thesis.

1.2 Keerwanden

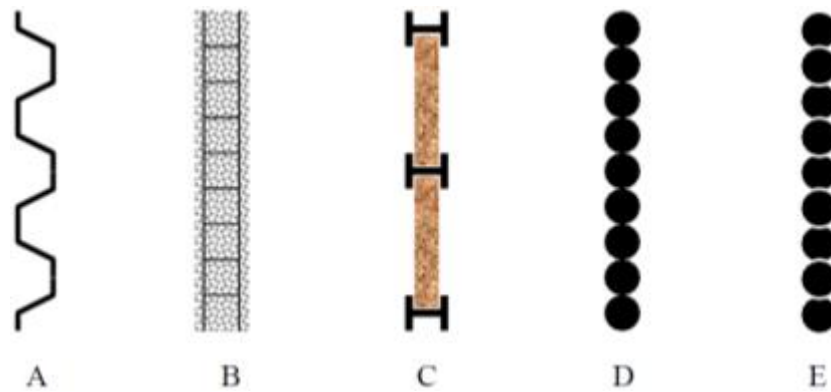
Keerwanden kunnen bestaan uit gewapend beton, staal of hout en zijn relatief dun. Ze worden in sommige gevallen ondersteund door ankers, stempels en/of passieve gronddruk. Bij keerwanden is het gewicht niet van belang, maar wel de buigweerstand, voor de ondersteuning van de grond. Enkele voorbeelden van keerwanden zijn vrijstaande stalen damwanden, verankerde en gestempelde stalen of betonnen damwanden en diepwanden.



Figuur 2: Keerwanden: damwand (d), diepwand (e) en beschoeiing (f) (De Smedt, 2010)

Wanden moeten voldoende diep in de grond worden gestoken zodat de bovenste gronddrukken geneutraliseerd worden door de gronddrukken op het onderste deel van de wand. Zoals al eerder aangehaald worden wanden vooral gebruikt bij uitgravingen. Eerst wordt de wand aangebracht en daarna kan de grond aan de gewenste zijde worden verwijderd.

De opbouw van keerwanden kan op verschillende manieren gebeuren. Er zijn verschillende vormen en materialen ter beschikking. Zoals bijvoorbeeld een stalen damwand (Figuur 3a), gewapende betonnen wand (Figuur 3b), stalen profielen met horizontale schotten uit hout of beton (Figuur 3c) en tangens- of secanspalen uit beton (Figuur 3d & e).



Figuur 3: Keerwanden (bonvenaanzicht): damwand (a), slibwand (b), Berlijnse wand (c), tangenspallen (d), secanspallen (e) (De Smedt, 2010)

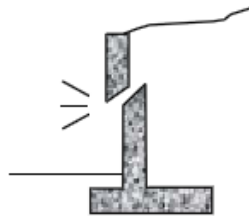
1.3 Samengestelde grondkerende constructies

Wanden kunnen ook zijn samengesteld uit de elementen van de twee hierboven besproken wandtypen, dus een samenstelling van keermuren en keerwanden. Dit wil dus zeggen dat er een grote verscheidenheid is aan deze wanden. Een aantal voorbeelden hiervan zijn kistdammen, grondconstructies gewapend met trekelementen, geotextielen of door grouting en constructies met verschillende rijen grondankers of grondnagels.

2 Stabiliteit

2.1 Sterktecontrole

Het bezwijken van een constructie is het intern bezwijken of fel vervormen van de constructie of een constructieonderdeel. De sterkte van de constructie wordt dus gecontroleerd. Deze voorwaarde is vooral van toepassing op plaatsen waar het belangrijk is dat het materiaal weerstand biedt. Bij een keermuur is dit de wand, als de wand bezwijkt dan is de werking van de keermuur teniet gedaan.



Figuur 4: Bezwijken van de constructie

Het materiaal biedt voldoende weerstand als de ontwerpwaarde van de krachten (E_d) kleiner of gelijk is aan de ontwerpwaarde van de weerstand (R_d).

$$E_d \leq R_d$$

2.2 Stabiliteitscontrole

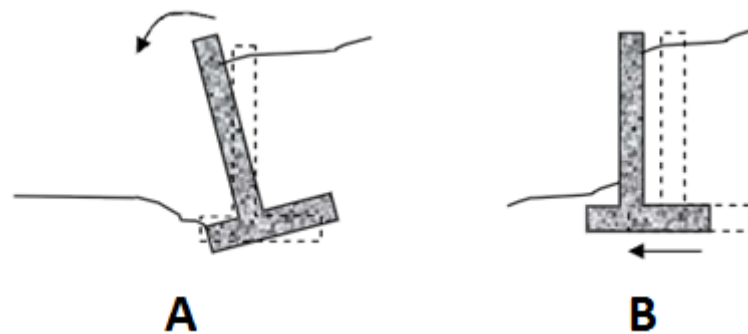
Een constructie is stabiel wanneer er geen verlies van evenwicht is.

Evenwichtsverlies van de constructie of de ondersteunende grond vindt plaats als de interne sterkte van de keermuur en de grond niet genoeg weerstand kunnen bieden. Als de som van de krachten van de ongunstige effecten ($E_{dst,d}$) kleiner of gelijk is aan de som van de krachten van de gunstige effecten ($E_{stb,d}$)

samen met een eventuele weerstand die de grond heeft rond de structuur (R_d) dan is de keermuur in evenwicht.

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + R_d$$

Waarbij de ongunstige effecten worden veroorzaakt door de horizontale krachten ten gevolge van gronddruk, toeslagmaterialen en verkeerslast en de gunstige effecten worden veroorzaakt door het eigenwicht van de constructie en het aanvulmateriaal boven de voet van de keermuur. Voorbeelden van evenwichtsverlies zijn horizontaal glijden en kantelen van de constructie (Figuur 5).



Figuur 5: Horizontaal glijden (a) en kantelen (b)

3 Belastingen

3.1 Classificatie van belastingen

De aangrijpende krachten worden onderverdeeld in vaste en variabele lasten. Als derde zijn er ook nog de accidentele belastingen, maar zoals de naam al doet vermoeden komen deze lasten zelden of nooit voor.

3.1.1 Blijvende belastingen G

Blijvende belastingen blijven gedurende de hele levensduur van de constructie min of meer constant. De verandering in grootte is zo klein dat deze verwaarloosbaar is. Volgende belastingen worden als blijvende belasting gerekend (Vantomme, 1999):

- eigengewicht van de constructie
- belasting door gronddruk
- belasting door eventuele voorspanning
- vervormingen door krimp, kruip en uitzettingen
- belastingen door zettingen van de grond

3.1.2 Veranderlijke belastingen Q

Veranderlijke belastingen veranderen voortdurend in grootte tijdens de levensduur van de constructie. Ze kunnen zelfs helemaal afnemen tot nul en daarna weer toenemen. Volgende belastingen worden als veranderlijke belasting gerekend (Vantomme, 1999):

- gebruiksbelastingen
- de belasting tijdens de opbouw, bv. door heftuigen of door opslag van bouwstoffen en de veranderingen van het eigen gewicht van sommige delen gedurende zekere bouwfases
- de gronddruk die voortkomt van beweeglijke bovenbelasting op de grond
- de windbelasting
- belasting afkomstig van neerslag en de effecten van de vochtigheid (vormverandering, zwellings, krimp, enz.)
- het veranderlijk deel van de verhinderde vervormingen door temperatuur of vochtigheid

3.1.3 Accidentele belastingen A

Accidentele belastingen zijn belastingen die nauwelijks voorkomen tijdens de levensduur van de constructie. Deze belastingen zijn meestal het gevolg van ongevallen en natuurfenomenen die zelden voorkomen. Volgende belastingen worden als accidentele belasting gerekend (Vantomme, 1999):

- botsingen en ontploffingen
- brand
- onvoorziene bodemverzakkingen en mijnverzakkingen
- aardverschuivingen of lawines
- aardbevingen
- orkanen of windhozen
- overstromingen en onvoorziene erosie

Toch zijn deze accidentele belasting in sommige delen van de wereld zeer belangrijk. Zo komen aardbevingen op sommige plaats regelmatig voor en op andere plaatsen dan weer niet.

3.2 Rekenwaarde van belastingen

De rekenwaarde van een belasting is de karakteristieke waarde van de belasting vermenigvuldigd met de partiële factor of veiligheidsfactor. Als een constructie wordt ontworpen worden er veiligheidsfactoren gebruikt. Deze factor wordt gebruikt om lokale spanningsconcentraties of onzekerheden in de belasting of het materiaal te compenseren. In deze factor zijn ook de onzekerheden in verband met de modellering gestopt. Veiligheidsfactoren volgen onder andere uit statistisch onderzoek.

3.2.1 Uiterste grenstoestand UGT

De rekenwaarde van de belastingen per ontwerpsituatie wordt berekend met volgende formules (Vantomme, 1999):

Blijvende ontwerpsituatie (UGT-B):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Tijdelijke ontwerpsituatie (UGT-T):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Accidentele ontwerpsituatie (UGT-A):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} \cdot G_{kj} + \gamma_{PA} \cdot P_k + A_d + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

De waarden van de partiële factoren (NBN EN 1990, 2002) en de samenstelfactoren (NBN EN 1990, 2002) is te vinden in appendix A. De partiële factoren zijn nodig om een veiligheid in te brengen in de berekening. De samenstelfactoren (Ψ_0, Ψ_1, Ψ_2) worden enkel gebruikt bij veranderlijke belastingen. Deze worden gebruikt om de kans dat twee veranderlijke

belastingen op hetzelfde moment plaatsvinden weer te geven. Op de karakteristieke waarden van de veranderlijke belastingen moeten de juiste partiële samenstelfactoren worden toegepast, de samenstelfactoren leiden tot verminderde waarden.

- samenstelwaarden Ψ_0
- veel voorkomende waarden Ψ_1
- bijna blijvende waarden Ψ_2

3.2.2 Gebruiksgrenstoestand GGT

Voor de gebruiksgrenstoestand gelden dezelfde regels als bij de uiterste grenstoestand met het verschil dat bij de gebruiksgrenstoestand de partiële factoren allemaal gelijk zijn aan 1. De partiële factoren mogen in de formules van de rekenwaarde dan ook worden weggelaten (Vantomme, 1999).

Karakteristieke combinatie (GGT-K):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

Zeldzame combinatie (GGT-Z):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \Psi_1 \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{1i} \cdot Q_{ki}$$

Frequente combinatie (GGT-F):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Quasi-blijvende combinatie (GGT-Q):

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i > 1} \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

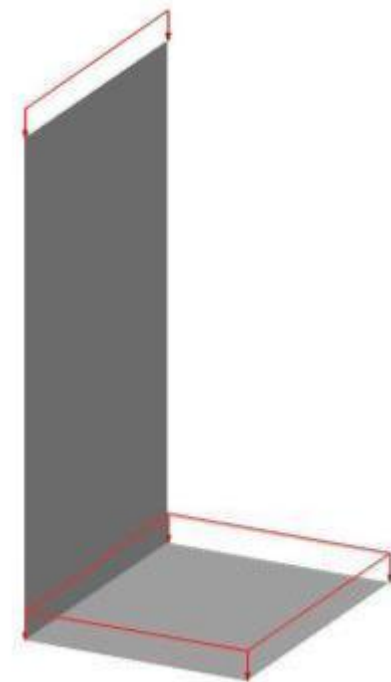
3.3 Voorstelling belastingen op keermuur

De lasten die hieronder worden besproken zijn de lasten die traditioneel aangrijpen op een keermuur. Dit zijn het eigengewicht, de gronddruk, de grondwaterdruk en de verkeerslast.

3.3.1 Eigengewicht

Zoals bij elke constructie heeft ook een keermuur een eigengewicht. Deze wordt bepaald met het volumegewicht en het volume van de constructie.

Een keermuur bestaat uit gewapend beton dat een volumegewicht heeft van 25 kN/m^3 (NBN EN 1991-1-1, 2002). Het volume kan het makkelijkst bepaald worden door het volume van de wand en de voet apart te berekenen en daarna op te tellen.

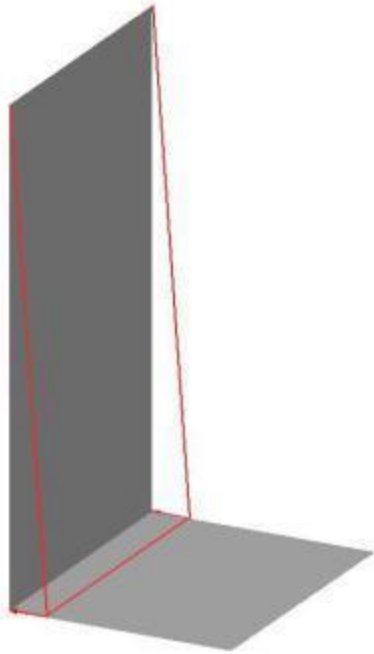


Figuur 6: Eigengewicht

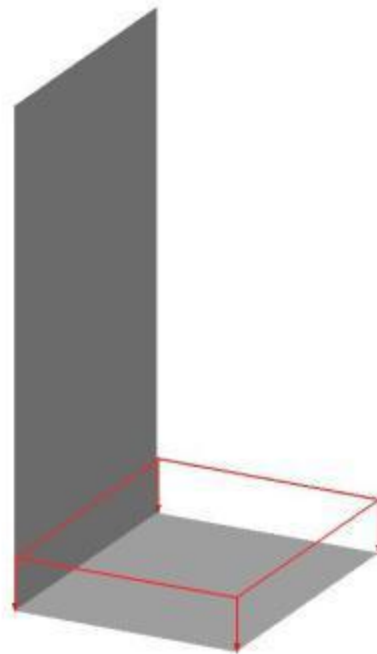
3.3.2 Grond

De belasting door grond is afhankelijk van het type aanvulmateriaal dat wordt gebruikt. Het volumegewicht van het aanvulmateriaal moet worden bepaald aan de hand van de kenmerken van het beschikbare materiaal. Als er een grondonderzoek of sondering gebeurd is kunnen best deze waarden voor het volumegewicht worden gebruikt. Dit is omdat de theoretische waarden beter kunnen zijn dan de waarden die het grondonderzoek heeft opgeleverd.

Bij een keermuur spelen deze waarden allemaal niet zo een grote rol omdat de grond na het plaatsen van de keermuur wordt aangevuld. Deze grond kan dus eigenlijk als nieuwe grond worden beschouwd. Daarom mogen de theoretische waarden voor het volumegewicht van natte en/of droge grond worden gebruikt.



Figuur 7: Gronddruk op wand



Figuur 8: Gronddruk op voet

3.3.3 Grondwater

Als het grondwater tot boven de constructie staat moet hiermee rekening gehouden worden. Voor de verticale druk van het grondwater wordt bij de gronddruk op de voet, afhankelijk van de hoogte van het grondwater, met het volumegewicht van natte en/of droge grond gewerkt.

Bij de horizontale belasting van water moet het volumegewicht van water gekend zijn. Het volumegewicht van water is afhankelijk van verschillende factoren. Zo moet gekeken worden of het water zoet of zout is en of er een grote hoeveelheid chemicaliën of vervuilende stoffen in het water zitten.

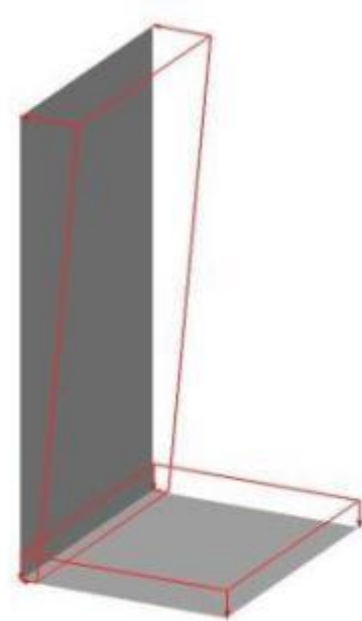
Bij een kopmuur staat het grondwater altijd onder de constructie omdat door de kopmuur een doorstroom is van water. Bij kopmuren moet er dus geen rekening worden gehouden met grondwater.

3.3.4 Verkeerslast

In geval van een wisselende terreinbelasting, zoals door verkeer op een kademuur, moet er voorzichtig worden gewerkt. De drukken, die door wisselende belastingen worden opgewekt, kunnen een stuk groter zijn dan de drukken bij de eerste belasting of door een vaste belasting van dezelfde grootte.

Een verkeerslast moet gekozen worden aan de hand van het type verkeer dat in de buurt of over de constructie rijdt. De verkeersklassen kunnen gekozen worden uit de tabel op de volgende pagina.

Keermuren bevinden zich meestal naast of in de buurt van een openbare weg. Daarom wordt in deze scriptie gebruikt gemaakt van de verkeersklassen B125 en D400 (NBN EN 124, 1994).



Figuur 9: Verkeerslast

Verkeersklasse	Testbelasting	Geschikt voor	Toepassing
A15	15 kN	Licht verkeer	Gebieden die alleen door voetgangers en fietsers gebruikt kunnen worden.
B125	125 kN	Licht verkeer	<ul style="list-style-type: none"> - Voetpaden, fietspaden, voetgangersgebieden en vergelijkbare gebieden - Plantsoenen, groenstroken, parken en fietsenstalling
D400	400 kN	Zwaar, doorgaand verkeer	<ul style="list-style-type: none"> - Straten, wegen en pleinen - Parkeerterreinen voor alle voertuigen - Busstations, stationspleinen
E600	600 kN	Hoge wieldrukbelasting	Loodsen en vliegvelden
F900	900 kN	Extreem hoge wieldrukbelasting	Vliegvelden

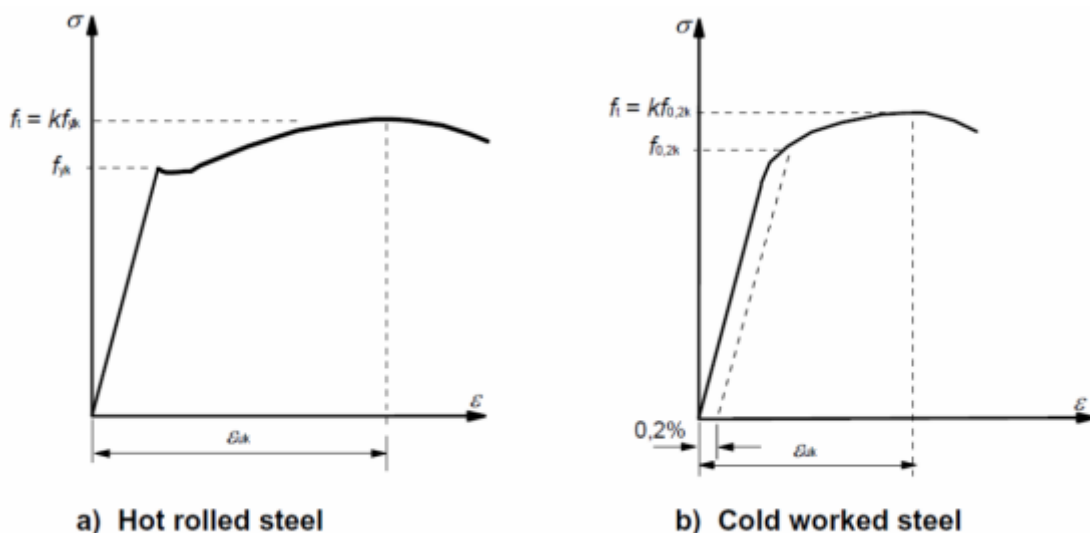
Tabel 1: Verkeersklassen (NBN EN 124, 1994)

4 Wapening

4.1 Soorten wapeningsstaal

Er zijn twee soorten wapeningsstaal. Er is het natuurhard staal of warmgewalst staal en in het Engels wordt dit 'hot rolled steel' (Figuur 10a). Bij natuurhard staal wordt de elasticiteitsgrens bepaald door de vloedrempel. In deze masterproef wordt er gebruikt gemaakt van wapeningsstaal S500. Dit wil zeggen dat het staal een karakteristieke waarde van de vloedgrens (f_{yk}) van 500 N/mm² (NBN A 24-302, 1986) heeft.

De tweede soort is het koudvervormd staal of in het Engels 'cold worked steel' (Figuur 10b). Omdat bij koudvervormd staal de vloedrempel niet duidelijk zichtbaar is, wordt de elasticiteitsgrens door de 0,2% rek offset methode bepaald. Dit wil zeggen dat vanaf het punt van 0,2% rek op de x-as een evenwijdige lijn aan de elastische lijn wordt getrokken. Het punt waar deze evenwijdige lijn de curve snijdt wordt de elasticiteitsgrens.



Figuur 10: Spanning-rek diagram wapeningsstaal (NBN EN 1991-1-1, 2002)

4.2 Dimensioneren van wapening

Het dimensioneren van wapening moet zo gebeuren dat de productie en de montage van de wapening zo weinig mogelijk bijdrage aan de uiteindelijke kostprijs van het product. Het wapenen heeft een kostprijs waar bij volgende factoren van belang zijn (Walraven, 1995):

- wapeningsstaal
- loonkosten voor het ontwerpen van de wapening en het produceren van de wapeningstekeningen
- kosten voor de verwerking en behandeling van het staal: knippen, buigen, binden, transporteren en monteren

De kostprijs van het wapenen van een constructie kan ook uitgedrukt worden in volgende cijfers. Deze worden al lange tijd als richtwaarden gebruikt in de bouwsector (Vantomme, 1999).

- materiaalkosten : 52%
- tekenkosten : 8%
- verwerkingskosten : 40%

De verwerkingskosten van wapeningsstaal zijn voor een groot deel afhankelijk van de staafdiameter van de wapening. Dit komt omdat grotere staafdiameters minder gebruikt worden en dus ook minder staven verwerkt moeten worden. De kleinere staafdiameters worden vaak gebruikt en worden dus ook vaker geknipt, gebogen en in de bekisting geplaatst.

Als het aantal wapeningsstaven beperkt kan blijven heeft dit als voordeel dat het makkelijker is om het beton te storten en te verdichten. Nadelen beginnen vooral te spelen bij de grote staafdiameters. Vanaf een staafdiameter van ongeveer 25 mm wordt het transport moeilijker. Het is ook moeilijker om de staven te bewerken, zo wordt het buigen van de staven zwaarder. Hierdoor worden de ombuigstralen ook groter. De vrijheid bij het detailleren wordt voor

een stuk beperkt omdat de betondekking groter moet zijn en de scheurwijdte een belangrijke rol gaat spelen.

Door goed te wapenen kan dus heel wat bespaard worden (Walraven, 1995). In het algemeen wordt er vanuit gegaan dat er het meest bespaart kan worden wanneer er grotere staafdiameters worden gebruikt, maar ook niet te groot en wanneer er zo weinig mogelijk verschillende diameters worden gebruikt.

Slecht dimensioneren van wapening kan ook invloed hebben op de kwaliteit van het beton. Wanneer de staven te dicht bij elkaar liggen gaat de wapening als een zeef werken. Hierdoor ontstaan er grindnesten die zorgen voor een verlies aan sterkte en kan er water indringen waardoor de wapening gaat roesten. Als de staven te dicht bij elkaar liggen is er ook niet voldoende beton rond de wapeningsstaaf aanwezig om een goede aanhechting en bijgevolg ook geen goede krachtsoverdracht.

4.3 Prefab wapeningsnetten

Onder een wapeningsnet (PTV 304, 2009) verstaan we een geplooid raster met rechthoekige of vierkante mazen, dit raster kan nadien ook nog geplooid worden. De netuitsteeksels zijn meestal een halve maaslengte lang. De staven bestaan per richting uit dezelfde staalsoort en diameter.

De afmetingen van een wapeningsnet zijn afhankelijk van de breedte van de productiemachines en van de beschikbare ruimte van de transportmiddelen.

Prefab wapeningsnetten zijn netten die gemaakt zijn in een tegen weersomstandigheden beschutte ruimte door hiervoor opgeleid personeel. Om deze netten te produceren moet ook het juiste productie- en controlematerieel ter plaatse zijn om de netten volgens de gewenste kwaliteit te kunnen maken en de afgewerkte producten te controleren.

Deel III: Rekennota

1 Algemene gegevens

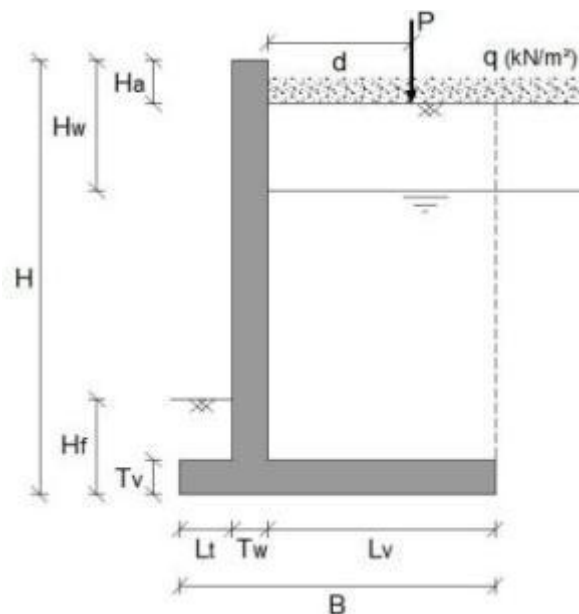
1.1 Geometrie constructie

De geometrie van de constructie kan in de rekentool zelf worden bepaald. Er zijn dus eindeloze combinaties mogelijk. Om de wapening te kunnen bepalen kan best de meest nefaste geometrie gebruikt worden. Dit wil zeggen dat de grond is aangevuld tot de hoogte van de wand ($H_a = 0$) en dat er geen tegendruk is aan de voorkant van de wand ($H_f = 0$).

Als verkeerslast kan gekozen worden voor een gelijkmatige verdeelde belasting (q) van 5 of 10 kN/m² of een puntlast (P) van 125 of 400 kN, die bepaald zijn door respectievelijk verkeersklasse

B125 en verkeersklasse D400. De verkeersklasse zijn besproken in 3.3.4 van 'Deel II'.

De hoogte (H) en breedte (B) van de keermuur kunnen variëren van 1 tot 3 meter met stappen van 20 centimeter. Voor de dikte van de voet (T_v) en de wand (T_w) kan gekozen worden uit drie diktes, namelijk 200, 250 of 300 millimeter.



Figuur 11: Geometrie constructie

1.2 Materiaal kenmerken

De materiaal kenmerken die weergegeven zijn in volgende tabel zijn uit bijlage A van NBN EN 1991-1-1 gehaald. Deze kenmerken zijn nodig om het eigengewicht van de constructie en het gewicht van het aanvulmateriaal (droge en/of natte grond) op de voet te bepalen.

	Symbol	Waarde
Grond kenmerken		
Droge grond	γ_{dr}	18 kN/m ³
Natte grond	γ_n	20 kN/m ³
Grondwater	γ_w	10 kN/m ³
Effectief volumegewicht	γ'	10 kN/m ³
Beton		
Gewapend beton	γ_k	25 kN/m ³
Betonklasse		C45/55
Karakteristieke druksterkte	f_{ck}	45 N/mm ²
Partiële factor beton	γ_c	1,5
Ontwerpdruksterkte	$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$	25,5 N/mm ²
Wapeningsstaal		
Staalklasse		S500
Karakteristieke treksterkte	f_{yk}	500 N/mm ²
Partiële factor staal	γ_s	1,15
Ontwerptreksterkte	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$	435 N/mm ²

Tabel 2: Materiaal kenmerken (NBN EN 1991-1-1, 2002)

1.3 Grondmechanische kenmerken

Uitgaande van het type aanvulmateriaal, in dit geval zand, vinden we in bijlage A van NBN EN 1991-1-1 dat de kritische wrijvingshoek 30° bedraagt. Via deze kritische wrijvingshoek kan met formules die gevonden worden in de cursus

grondmechanica van De Smedt (2010) de actieve en passieve gronddrukcoëfficiënt gevonden worden. In NBN EN 1997-1 staat vermeld dat de wrijvingshoek δ voor prefab funderingen gelijk mag genomen worden aan $2\varphi/3$. Voor de waarde van de poissoncoëfficiënt en de kruipfactor moeten er gekeken worden in NBN EN 1992-1-1.

	Symbol	Waarde	Formule
Kritische wrijvingshoek	φ	30°	
Wrijvingshoek	δ	20°	$2\varphi/3$
Actieve gronddrukcoëff.	K_a	0,33	$\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$
Passieve gronddrukcoëff.	K_p	3,00	$\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$
Poissoncoëfficiënt	ν	0,2	
Kruipfactor	φ_k	1,4	

Tabel 3: Grondmechanische kenmerken

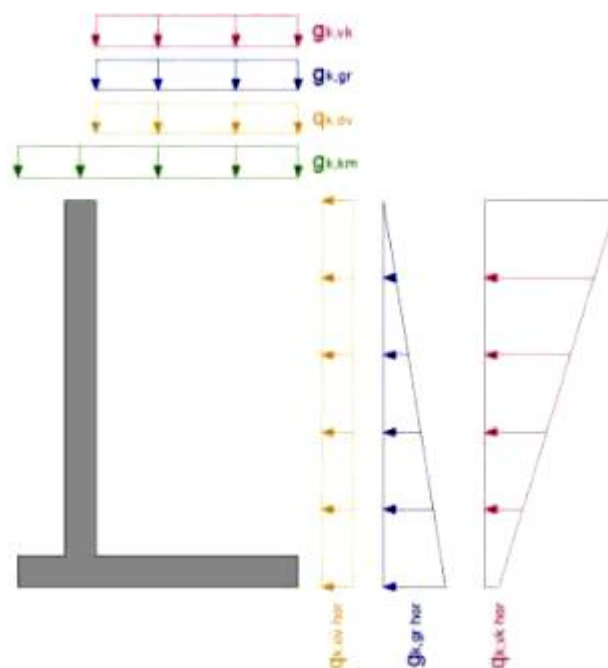
2 Berekening

2.1 Lastendaling

In onderstaande figuur staan de krachten die op de keermuur werken. Dat zijn het eigengewicht van de muur ($g_{k,km}$) en de lasten door verkeer en grondrukken, die zowel horizontaal als verticaal werken.

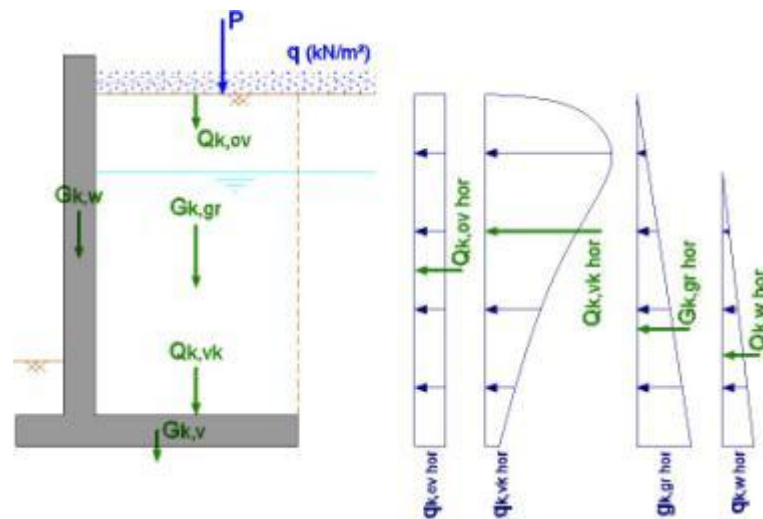
De grond boven de voet of het aanvulmateriaal ($g_{k,gr}$) mag als een deel van de constructie worden beschouwd, omdat deze een belangrijke rol speelt in de werking van de keermuur.

De overlast op het maaiveld ($q_{k,ov}$) en de verkeerslast ($q_{k,vk}$) kunnen niet gelijktijdig plaatsvinden. De overlast op het maaiveld is een verkeerslast die is uitgedrukt als een gelijkmatig verdeelde belasting en de verkeerslast is een puntkracht die door verdeling in de grond een gelijkmatig verdeelde belasting veroorzaakt op de voet. Er moet dus gekozen worden om ofwel de overlast op het maaiveld of de verkeerslast te gebruiken in de berekening.



Figuur 12: Lastendaling

2.2 Belastingen



Figuur 13: Belastingen

2.2.1 Verticale belasting

Keermuur

De verticale belasting veroorzaakt door de keermuur is de som van het eigengewicht van de wand en de voet. Het eigengewicht wordt berekend door het volumegewicht van gewapend beton (1.1 Geometrie constructie) te vermenigvuldigen met het volume van de constructie of de oppervlakte van de dwarsdoorsnede indien er per lopende meter gerekend wordt. In dit geval rekenen we per lopende meter.

$$\begin{aligned} G_{k,w} &= \gamma_k \cdot A_w \\ &= \gamma_k \cdot [(H - T_v) \cdot T_w] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{k,v} &= \gamma_k \cdot A_v \\ &= \gamma_k \cdot (B \cdot T_v) \end{aligned}$$

$$G_{k,km} = G_{k,w} + G_{k,v}$$

Grond

Het gewicht van de grond boven de voet oefent een grote kracht uit op de voet. Als de ruimte achter de wand van de keermuur helemaal opgevuld wordt of als er een zwaarder aanvulmateriaal wordt gebruikt dan zal de kracht op de voet toenemen. De hoogte van het grondwater speelt ook een belangrijke rol. Dit omdat natte grond zwaarder is dan droge grond.

De belasting veroorzaakt door de grond of het aanvulmateriaal wordt berekend door het volumegewicht van de droge en/of natte grond (1.1 Geometrie constructie) te vermenigvuldigen met het volume van het aanvulmateriaal of de oppervlakte van de dwarsdoorsnede indien er per lopende meter gerekend wordt. In dit geval rekenen we per lopende meter.

Als het grondwater tot boven de constructie staat is $H_w < H$ en moet volgende formule worden gebruikt:

$$g_{k,gr} = (H_w - H_a) \cdot \gamma_{dr} + (H - H_w - T_v) \cdot \gamma_n$$

Als het grondwater onder de constructie staat is $H_w > H$ en moet volgende formule worden toegepast:

$$g_{k,gr} = (H - H_a - T_v) \cdot \gamma_{dr}$$

In het geval van kopmuren staat het grondwater altijd onder de constructie en mag dus de tweede formule worden toegepast.

Als de kracht van de grond op de voet als puntkracht moet uitgedrukt worden in plaats van als verdeelde belasting kan dat door de verdeelde belasting te vermenigvuldigen met de breedte van de voet.

$$G_{k,gr} = g_{k,gr} \cdot L_v$$

Overlast op maaiveld

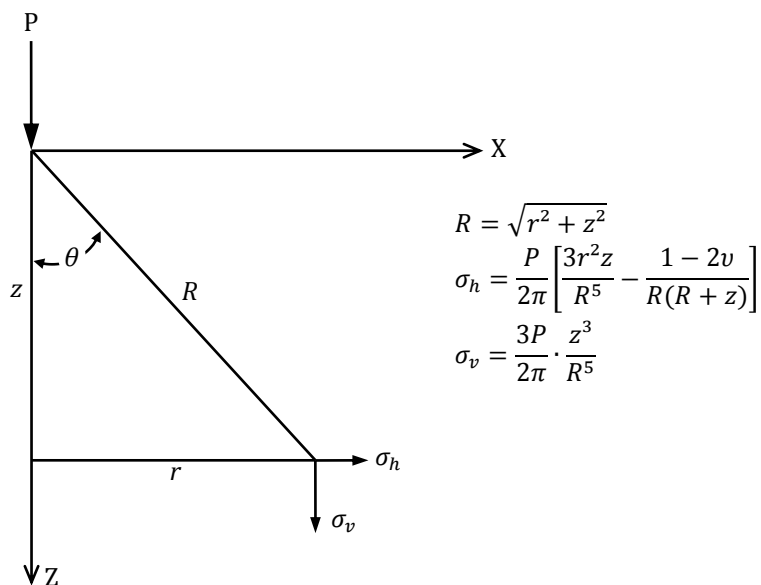
De overlast op het maaiveld is een verkeerslast die als gelijkmatig verdeelde belasting wordt weergegeven.

$$Q_{k,ov} = q \cdot L_v$$

Verkeerslast

Een verkeerslast moet gekozen worden aan de hand van het type verkeer dat in de buurt of over de constructie rijdt. De verschillende soorten van verkeersklassen zijn besproken in 3.3.4 van 'Deel II'.

De invloed van de verkeerslast op een bepaalde diepte en dus op de voet van de keermuur wordt bepaald met de formules van Boussinesq (De Smedt, 2010).



Figuur 14: Spanningen tgv een puntlast volgens Boussinesq

In Figuur 14 zien we dat de formule voor de belasting in verticale richting op een diepte z veroorzaakt door de verkeerslast P de volgende is:

$$q_{k,vk}(= \sigma_v) = \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5}$$

Waarbij diepte z overeenkomt met de hoogte van de aanvulling ($= H - H_a - T_v$).

2.2.2 Horizontale belasting

Grond

Naarmate men dieper gaat in de grond wordt het volume van de bovenliggende grond steeds groter, waardoor de kracht op de onderliggende grond dus ook steeds toeneemt. De onderliggende grond wil dus zijdelings ontsnappen aan deze kracht waardoor ook een zijdelingse of horizontale gronddruk ontstaat. Deze kracht drukt tegen de wand van de keermuur.

De grootte van de horizontale actieve gronddruk op de virtuele achterzijde van de muur bedraagt:

$$g_{k,gr\ hor} = K_a \cdot \sigma_v = K_a \cdot \int \gamma \cdot dz = K_a \cdot \gamma \cdot H$$

Met:

- K_a de coëfficiënt van horizontale actieve gronddruk en die kan bepaald worden met volgende formule:

$$K_a = \frac{1 - \sin(\varphi')}{1 + \sin(\varphi')}$$

- σ_v de korrelspanning [kPa] in verticale richting

Als deze kracht wordt weergeven als een puntkracht, kan onderstaande formule gebruikt worden. Deze kracht grijpt aan op 2/3 van de hoogte onder het maaiveld.

$$G_{k,gr\ hor} = \frac{g_{k,gr\ hor} \cdot H}{2} = K_a \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2$$

Indien er aan de voorzijde van de muur ook grond aanwezig is, tot een bepaalde hoogte H_f , werkt hier ook een horizontale gronddruk tegen de muur aan. De grootte van de horizontale component van de gronddruk wordt op dezelfde manier berekend als de horizontale gronddruk aan de achterzijde van de keermuur, met als verschil dat hier de passieve gronddruk speelt. Hier moet dus K_p in plaats van K_a worden gebruikt. Dit is omdat de keermuur licht naar de voorzijde helt door de druk aan de achterzijde van de keermuur. De passieve gronddrukcoëfficiënt K_p kan bepaald worden met volgende vergelijking:

$$K_p = \frac{1 + \sin(\varphi')}{1 - \sin(\varphi')}$$

Grondwater

De horizontale druk veroorzaakt door het grondwater is enkel afhankelijk van de diepte. Hoe hoger het grondwater boven de voet van de keermuur komt, hoe groter de waterdruk zal zijn.

$$q_{k,w \text{ hor}} = \gamma_w \cdot d = \gamma_w \cdot (H - H_w)$$

Als deze kracht wordt weergegeven als een puntkracht, kan onderstaande formule gebruikt worden. Deze kracht grijpt aan op 2/3 van de hoogte van het grondwater.

$$Q_{k,w \text{ hor}} = \frac{q_{k,gr \text{ hor}} \cdot (H - H_w)}{2} = \frac{\gamma_w \cdot (H - H_w)^2}{2}$$

In het geval van kopmuren is er geen grondwater dat boven de voet zal komen en mag $q_{k,w \text{ hor}}$ worden gelijkgesteld aan nul.

Overlast op maaiveld

De horizontale gronddruk door de overlast op het maaiveld wordt als volgt bepaald:

$$q_{k,ov\ hor} = K_a \cdot q$$

Als deze kracht wordt weergegeven als een puntkracht, kan onderstaande formule gebruikt worden. Deze kracht grijpt aan op 1/2 van de hoogte onder het maaiveld.

$$Q_{k,ov\ hor} = K_a \cdot \int q \cdot dz = K_a \cdot q \cdot H$$

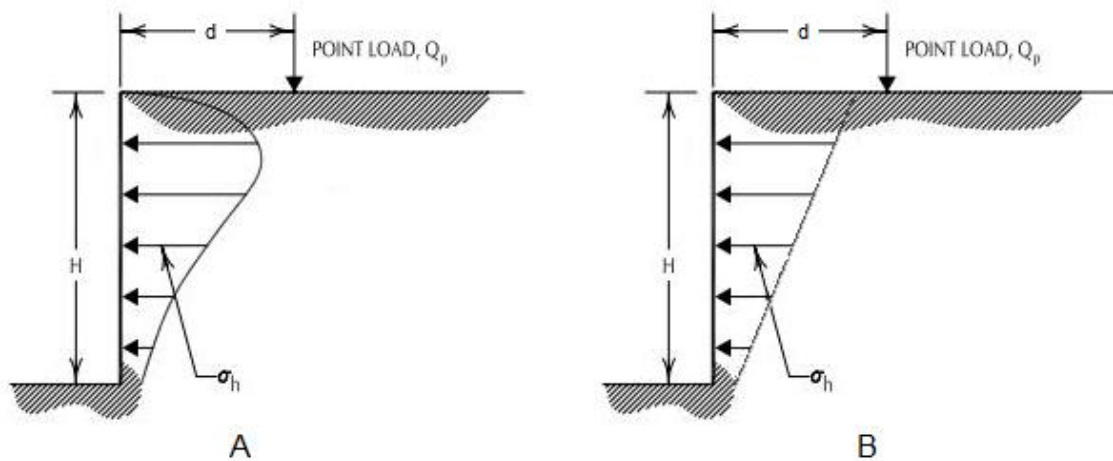
Verkeerslast

Voor de horizontale gronddruk ten gevolge van de verkeerslast te berekenen passen we een vereenvoudiging toe. De horizontale gronddruk verloopt in werkelijkheid volgens onderstaande functie. Het werkelijke verloop is weergegeven in Figuur 15A.

$$\sigma_h = \frac{P}{2\pi} \left[\frac{3r^2z}{R^5} - \frac{1-2\nu}{R(R+z)} \right]$$

We vereenvoedigen deze curve om de verdere berekening makkelijker te maken. Dit doen we door de horizontale spanning twee maal te berekenen. De eerste is de maximale spanning en de tweede is op de diepte van de voet. Er vormt zich zo een trapeziumvormige last op de wand van de keermuur zoals te zien in Figuur 15B.

Beide spanningen worden met bovenstaande formule berekend, enkel diepte z verschilt in de formule.



Figuur 15: Verloop horizontale gronddruk tgv verkeerslast; A: werkelijk ; B: vereenvoudigd (Freund, 2014)

2.3 Controleberekeningen

De controleberekeningen moeten worden uitgevoerd om te voorkomen dat de constructie gaat bezwijken onder invloed van de krachten die op de constructie aangrijpen. De constructie kan bezwijken door de draagkracht van de grond, bezwijken van de constructie, opdrijven en evenwichtsverlies.

Wanneer een constructie gaat bezwijken door de draagkracht van de grond wil dit zeggen dat de ondergrond sterk gaat vervormen. Dit komt omdat de grond niet genoeg weerstand kan bieden tegen de belasting. Dit kan je voorkomen door de grond te vervangen door een meer draagkrachtige grond, de grond samen te drukken of te consolideren of te injecteren.

Een tweede mogelijkheid is het bezwijken van de constructie. Onder bezwijken van een constructie verstaat men het intern bezwijken of fel vervormen van de constructie of een deel van de constructie. Dit is dus belangrijk op plaatsen waar het voornamelijk is dat het materiaal weerstand biedt. Het voorkomen van deze bezwijkmethode kan door het wapenen van de constructie of een deel van de constructie.

De bezwijkmethode opdrijven spreekt voor zichzelf. Als de kracht van het grondwater dat een opwaartse beweging maakt zo groot is dat de constructie of de ondergrond hun statisch evenwicht verliezen.

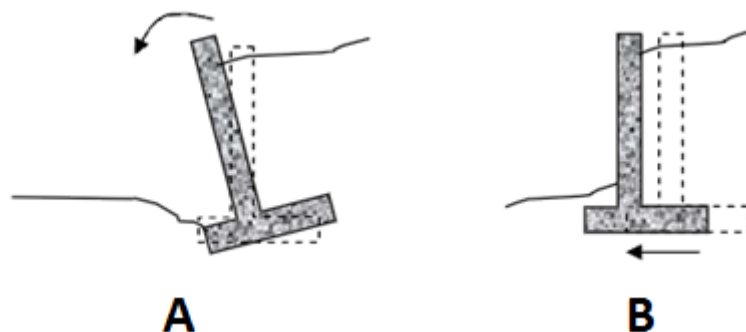
De vorige bezwijkmethodes worden niet verder behandeld omdat deze bij kopmuren niet van belang zijn.

De laatste mogelijkheid is evenwichtsverlies van de constructie of de ondersteunende grond. Dit vindt plaats waar de interne sterkte van de keermuur en de grond niet genoeg weerstand bieden.

De grenstoestand voldoet als de som van de krachten van de ongunstige effecten ($E_{dst,d}$) kleiner of gelijk is aan de som van de krachten van de gunstige effecten ($E_{stb,d}$) samen met eventuele weerstand van de grond rond de structuur (T_d).

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + T_d$$

Waarbij de ongunstige effecten worden veroorzaakt door de horizontale krachten ten gevolge van gronddruk, overlast op het maaiveld of verkeerslast en de gunstige effecten worden veroorzaakt door het eigenwicht van de constructie en het aanvulmateriaal boven de voet van de keermuur. Voorbeelden van evenwichtsverlies zijn horizontaal glijden of afschuiven en kantelen van de constructie (Figuur 16).



Figuur 16: Kantelen (A); horizontaal glijden (B)

2.3.1 Afschuiven

De krachten die ervoor gaan zorgen dat de keermuur zal gaan schuiven zijn de horizontale gronddruk en de horizontale kracht veroorzaakt door de overlast op het maaiveld of de verkeerslast.

$$T_{schuif} = G_{k,gr\ hor} + Q_{k,gw\ hor} + Q_{k,ov\ hor} + Q_{k,vk\ hor}$$

De krachten die een weerstand gaan bieden tegen het schuiven van de keermuur zijn het eigengewicht van de keermuur en grond, de overlast op het maaiveld, de verkeerslast en de wrijving die ontstaat tussen de keermuur en de grond.

$$T_{stab} = \tan \delta \cdot (G_{k,km} + G_{k,gr} + Q_{k,ov} + Q_{k,vk})$$

Om voldoende veilig te zijn moet de stabiliserende kracht 1,1 maal groter zijn dan de kracht die het schuiven veroorzaakt.

$$SF = \frac{T_{stab}}{T_{schuif}} > 1,1$$

2.3.2 Kantelen

De krachten die weerstand gaan bieden tegen het kantelen van de keermuur zijn alle krachten die verticaal werken. Dit zijn dus het eigengewicht van de keermuur en de grond en de overlast op het maaiveld of de verkeerslast. Deze krachten moeten vermenigvuldigd met de arm waarover de kracht werkt. De weerstand tegen het kantelmoment wordt berekend ten opzichte van de inklemming.

De krachten die ervoor gaan zorgen dat de keermuur zal gaan kantelen zijn alle krachten die horizontaal werken. Dit zijn dus de horizontale gronddruk en de

horizontale kracht veroorzaakt door de overlast op het maaiveld of de verkeerslast.

Kantelen komt vooral voor bij keermuren met een hoge wand en een smalle voet. Dit komt omdat de horizontale krachten toenemen en de verticale krachten afnemen. Om voldoende veilig te zijn moet het stabiliserende moment 1,2 maal groter zijn dan het moment dat het kantelen veroorzaakt.

Kracht	Arm	Moment
Gunstig (M_{stab})		
$G_{k,w}$	$T_w/2$	$G_{k,w} \cdot T_w/2$
$G_{k,v}$	$B/2$	$G_{k,v} \cdot B/2$
$G_{k,gr}$	$B - L_h/2$	$G_{k,gr} \cdot (B - L_h/2)$
$Q_{k,ov}$	$B - L_h/2$	$Q_{k,ov} \cdot (B - L_h/2)$
$Q_{k,vk}$	$B - L_h/2$	$Q_{k,vk} \cdot (B - L_h/2)$
Ongunstig (M_{kantel})		
$G_{k,gr\ hor}$	$H/3$	$G_{k,gr\ hor} \cdot H/3$
$Q_{k,gw\ hor}$	$H/3$	$Q_{k,gw\ hor} \cdot H/3$
$Q_{k,ov\ hor}$	$H/2$	$Q_{k,ov\ hor} \cdot H/2$
$Q_{k,vk\ hor}$	$H - zwp_{vk}$	$Q_{k,vk\ hor} \cdot (H - zwp_{vk})$
SF > 1,2		
$M_{stab}/M_{kantel} > 1,2$		

Tabel 4: Kantelen

2.4 Wapening

2.4.1 Minimumwapening

Minimumwapening is belangrijk om brosse breuk en wijde scheuren te voorkomen en ook om krachten die het gevolg zijn van verhinderde vervormingen op te nemen.

Scheurbeheersing

In alle doorsneden waar een trekspanning kan voorkomen moet een minimum hoeveelheid hechtende wapening aanwezig zijn. Deze moet voldoende zijn om te voorkomen dat de wapening kan gaan vloeien voor de scheurlast bereikt is. Dit betekent dat op het moment dat een scheur in het getrokken beton zou optreden, er voldoende staal aanwezig moet zijn om de trekkracht op te kunnen nemen.

$$A_{s,min1} = \frac{3}{25} \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot h$$

Brosse breuk

Verhinderen van brosse breuk kan worden bekeken als de trekspanning die ontstaat net voor het scheuren van het beton op te nemen met wapening.

$$A_{s,min2} = 0,156 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot d > 1,3 \cdot d$$

Dat de minimum wapening voor brosse breuk groter moet zijn dan 1,3 maal de dikte van de plaat kan ook als een derde voorwaarde voor minimumwapening worden gezien.

$$A_{s,min3} = 1,3 \cdot d$$

Minimumwapening

De minimum wapening wordt nu het maximum van de vorige drie wapeningen.

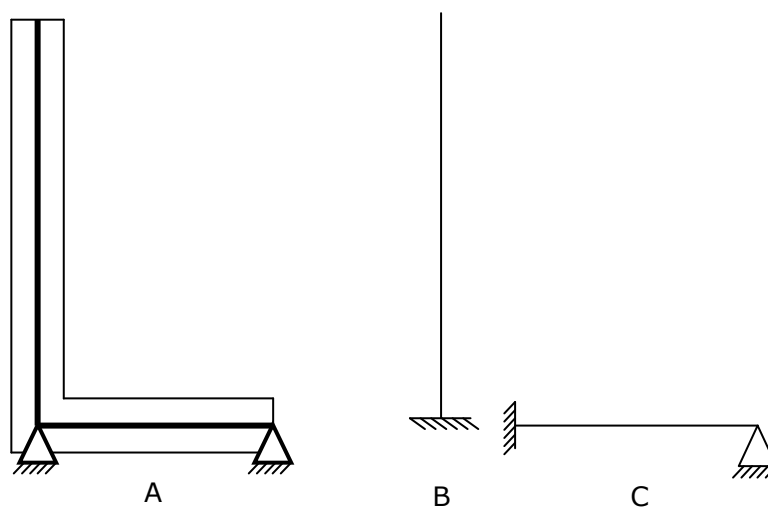
$$A_{s,min} = \max(A_{s,min1}; A_{s,min2}; A_{s,min3})$$

Doorsneden die minder wapening bevatten dan $A_{s,min}$, moeten als ongewapend worden beschouwd (NBN EN 1992-1-1, 2005).

2.4.2 Hoofdwapening

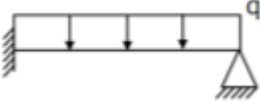
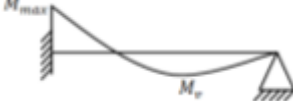
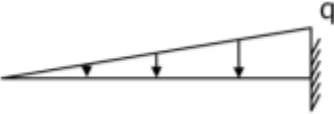

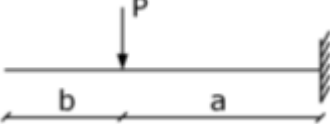
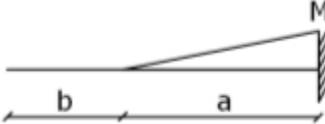
Om de hoofdwapening te kunnen bepalen moeten eerst de kritische momenten bepaald worden of de momenten in de belangrijkste delen van de constructie. Dit zijn het veldmoment in wand en voet en het inklemmingsmoment van de wand en voet.

De keermuur kan vereenvoudigd worden weergegeven als een staafwerkmodel zoals in Figuur 17A. Om makkelijk het veldmoment en inklemmingsmoment van wand en voet te berekenen wordt dat staafwerkmodel nog eens in twee opgedeeld. Een deel voor de wand (Figuur 17B) en een deel voor de voet (Figuur 17C).



Figuur 17: Vereenvoudigde keermuur

Door het staafwerkmodel te onderwerpen aan de verschillende belastingsgevallen (De Proft, Cursus Sterkteleer I; De Proft, Cursus Sterkteleer II) kunnen de kritische momenten eenvoudig worden berekend. Voor de voet zijn dit enkel gelijkmatig verdeelde belastingen, dit vereenvoudigd de berekening nog verder. Voor de wand ligt het wat moeilijker omdat hier een driehoekslast en een puntlast actief zijn.

Voet		
Belastingsgeval	Momentenlijn	Formule
		$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8}$ $M_v = \frac{9 \cdot q \cdot l^2}{128}$
Wand		
Belastingsgeval	Momentenlijn	Formule
		$M = \frac{q \cdot l^2}{6}$
		$M = P \cdot a$

Tabel 5: Belastingsgevallen

Om de kritische momenten exact te kunnen bepalen moeten de verschillende krachten die op de voet of de wand werken gekend zijn. Op de voet van de keermuur werken het eigengewicht van de grond ($g_{k,gr}$) en de druk ten gevolge van de verkeerslast ($q_{k,vk}$). Op de wand van de keermuur werken de horizontale gronddruk ($g_{k,gr,hor}$) en de horizontale druk ten gevolge van de verkeerslast ($Q_{k,vk,hor}$).

De kritische momenten worden voor drie verschillende grenstoestanden berekend. Omdat deze momenten later nog nodig zijn voor het berekenen van de betondruksterkte, staaltreksterkte en de scheurwijdte.

	UGT-B	GGT-K	GGT-Q
$M_{inkl,wand}$	$1,35 \cdot \frac{q_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6}$ $+1,5 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zwp_{vk})$	$1,0 \cdot \frac{q_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6}$ $+1,0 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zwp_{vk})$	$1,0 \cdot \frac{q_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6}$ $+0,3 \cdot 1,0 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zwp_{vk})$
$M_{inkl,voet}$	$1,35 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8}$ $+1,5 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8}$	$1,0 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8}$ $+1,0 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8}$	$1,0 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8}$ $+0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8}$
M_{inkl}	Via Cross (Tabel 7)		
$M_{vett,voet}$	$1,35 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128}$ $+1,5 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128}$	$1,0 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128}$ $+1,0 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128}$	$1,0 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128}$ $+0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128}$

Tabel 6: Kritische momenten

Het uiteindelijke inklemmingsmoment voor elke grenstoestand wordt berekend via cross-iteratie (De Proft, Cursus Sterkteleer II). Het principe van de cross-iteratie staat in volgende tabel.

Knoop	A	B		C
StAAF	AB	BA	BC	CB
E (N/mm ²)	$22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}$	$22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}$	$22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}$	$22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}$
I (mm ⁴)	$\frac{l \cdot H^3}{12}$	$\frac{l \cdot H^3}{12}$	$\frac{l \cdot B^3}{12}$	$\frac{l \cdot B^3}{12}$
EI (Nmm ²)	$E_{AB} \cdot I_{AB}$	$E_{BA} \cdot I_{BA}$	$E_{BC} \cdot I_{BC}$	$E_{CB} \cdot I_{CB}$
L (mm)	H	H	B	B
EI/L (Nmm)	EI_{AB}/H	EI_{BA}/H	EI_{BC}/H	EI_{CB}/H
κ (Nmm)	$4 \cdot (EI_{AB}/H)$	$3 \cdot (EI_{BA}/H)$	$3 \cdot (EI_{BC}/H)$	$4 \cdot (EI_{CB}/H)$
Σκ (Nmm)	κ_{AB}	$\kappa_{BA} + \kappa_{BC}$		κ_{CB}
μ (-)	$\kappa_{AB} / \sum \kappa_{AB}$	$\kappa_{BA} / \sum \kappa_{BA}$	$\kappa_{BC} / \sum \kappa_{BC}$	$\kappa_{CB} / \sum \kappa_{CB}$
ρ (-)	0,5	0	0	0,5
C ₀ (kNm)		$M_{inkl, wand}$	$M_{inkl, voet}$	
$M_C =$ $M_{inkl, wand} +$ $M_{inkl, voet}$	$-1 \cdot \rho_{BA} \cdot \mu_{BA} \cdot M_C$	$-1 \cdot \mu_{BA} \cdot M_C$	$-1 \cdot \mu_{BC} \cdot M_C$	$-1 \cdot \rho_{BC} \cdot \mu_{BC} \cdot M_C$
		$som(\uparrow)$	$som(\uparrow)$	

Tabel 7: Cross-iteratie (De Proft, Cursus Sterkteleer II)

Voor de wapeningsberekening gebruiken we de momenten berekend in UGT-B. De hoofdwapening wordt berekend volgens het volgende principe. Eerst wordt het gereduceerd moment (μ_d) berekend. Dit gebeurt zowel voor het inklemmingsmoment als het veldmoment in de voet.

$$\mu_d = \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{met} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}$$

Als het gereduceerd moment gekend is dan kan via interpolatie uit de tabel voor ontwerpberekening (Appendix B) ζ worden gehaald. Na de interpolatie kan de wapeningsoppervlakte berekend worden. Dit gebeurt zowel voor het inklemmingsmoment als het veldmoment in de voet.

$$A_s = \frac{M}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \quad \text{met} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Als de wapeningsoppervlakte gekend is moet nagegaan worden of deze groter is dan de minimumwapeningsoppervlakte. Indien dit niet het geval is moet de minimumwapening gebruikt worden.

Aan de hand van de wapeningsoppervlakte kan nu bepaald worden welk wapeningsnet of welke wapeningsstaven gebruikt moeten worden.

Voor de wapening in de wand wordt in alle gevallen de minimumwapening gebruikt.

2.4.3 Dwarskrachtwapening

Het plaatsen van dwarskrachtwapening is enkel nodig wanneer de dwarskracht in het constructieonderdeel te groot wordt. Om nu juist te bepalen wanneer de dwarskracht te groot wordt moet een berekening worden uitgevoerd. Eerst wordt de dwarskrachtweerstand van het element zonder dwarskrachtwapening berekend.

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{met } C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$$

A_{sl} = de oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c}$$

b_w = de kleinste breedte van de dwarsdoorsnede in de zone onder trek

Net zoals bij wapening een minimumwapening is, is er ook bij dwarskrachtwapening een minimumweerstand die het constructieonderdeel moet kunnen bieden.

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$\text{met } v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

De dwarskrachtweerstand van het element zonder dwarskrachtwapening wordt dus het maximum van $V_{Rd,c}$ en $V_{Rd,c,min}$.

$$V_{Rd,req} = \max(V_{Rd,c}; V_{Rd,c,min})$$

Indien de vereiste dwarskrachtweerstand $V_{Rd,req}$ kleiner is dan de dwarskracht die op het constructieonderdeel V_{Ed} werkt, moet er dwarskrachtwapening worden voorzien.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

$$\begin{aligned} \text{met } z &= 0,9 \cdot d \\ f_{ywd} &= \frac{f_{yk}}{1,15} \\ \cot \theta &= \cot 45^\circ = 1 \end{aligned}$$

De praktische uitwerking van A_{sw}/s naar een beschikbare diameter en praktische tussenafstand, kan gebeuren door middel van de tabel in appendix C.

2.4.4 Verkankeringslengte

Uiterst opneembare aanhechtspanning

Wapeningstaven, draden en gelaste wapeningsnetten moeten zo zijn verankerd dat de aanhechtkrachten veilig zijn overgedragen op het beton zodat langsscheuren worden vermeden (NBN EN 1992-1-1, 2005).

De uiterste opneembare aanhechtsterkte moet groot genoeg zijn om verankeringsbreuk te voorkomen. De formule voor de uiterst opneembare aanhechtspanning (f_{bd}) is voor geribde staven de volgende:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

In de formule voor de uiterst opneembare aanhechtspanning is f_{ctd} de rekenwaarde van de treksterkte van het beton.

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}$$

In bovenstaande formule is γ_c de partiële veiligheidsfactor voor beton en α_{ct} is een coëfficiënt die rekening houdt met de effecten op lange duur op de treksterkte en met ongunstige effecten die afhankelijk zijn van de manier waarop de belasting aangrijpt. De aanbevolen waarde voor α_{ct} in België is 1,0 (NBN EN 1992-1-1 ANB, 2010). Door de toenemende brosheid van beton bij hogere sterkte moet $f_{ctk;0,05}$ (Appendix D) beperkt zijn tot de waarde voor C60/75 indien het beton een hogere sterkteklasse heeft. Als er aangetoond wordt dat de gemiddelde aanhechtsterkte toeneemt boven die grens moet de waarde niet beperkt blijven tot die van C60/75 (NBN EN 1992-1-1, 2005).

η_1 is een coëfficiënt betrokken op de kwaliteit van de aanhechtingsomstandigheden en de positie van de staaf tijdens het storten. η_1 is gelijk aan 1,0 als goede omstandigheden zijn verkregen en gelijk aan 0,7 in elk ander geval en voor staven in met glijbekisting gefabriceerde constructieve elementen, tenzij kan zijn aangetoond dat de aanhechtingsomstandigheden goed zijn (NBN EN 1992-1-1, 2005).

η_2 is afhankelijk van de staafdiameter van het wapeningsstaal. Als de diameter kleiner of gelijk is aan 32 mm dan is η_2 gelijk aan 1,0. Indien de diameter groter is dan 32 mm, moet onderstaande formule worden gebruikt om η_2 te bepalen (NBN EN 1992-1-1, 2005).

$$\eta_2 = \frac{132 - \phi}{100}$$

Basisverankeringslengte

De basisverankeringslengte ($l_{b,rqd}$) moet voor het verankeren van de kracht $A_s \cdot \sigma_{sd}$ in een rechte staaf als volgt berekend worden.

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

σ_{sd} is de spanning in de staaf in het punt van waaruit de verankering is gemeten. Bij gelaste wapeningsnetten die uit dubbele draden/staven bestaan, moet de diameter ϕ in de formule worden vervangen door de gelijkwaardige diameter ϕ_n .

$$\phi_n = \phi \cdot \sqrt{2}$$

Rekenwaarde van de verankeringslengte

De rekenwaarde van de verankeringslengte is:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \phi ; 100 \text{ mm})$$

Waarin α_1 is voor het effect van de vorm van de staven.
 α_2 voor het effect van de minimumbetondekking.
 α_3 voor het effect van opsluiting door dwarswapening
 α_4 voor de invloed van één of meer gelaste dwarsstaven ($\phi_t > 0,6 \cdot \phi$) langs de rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd} .
 α_5 voor het effect van een drukspanning loodrecht op het slijtvlak langs de rekenwaarde van de verankeringslengte.

Waarden van de coëfficiënten $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ en α_5 is terug te vinden in de tabel in appendix E.

De rekenwaarde van de verankering lengte kan ook op een vereenvoudigde manier bepaald worden, maar deze manier is enkel geldig voor trekverankering.

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \text{ voor staafvormen getoond in figuur C1.b, c en d.}$$

$$l_{b,eq} = \alpha_4 \cdot l_{b,rqd} \text{ voor staafvormen getoond in figuur C1.e.}$$

Overlappingslengte

Overlappingsen van staven moeten zijn gemaakt zodat de krachten goed worden overgebracht van de ene naar de ander staaf en er geen grote scheuren optreden die slecht zijn voor de prestatie van de constructie. De rekenwaarde van de overlappingslengte is:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min} = \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} ; 15 \cdot \phi ; 200 \text{ mm})$$

Waarin Waarden van $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ en α_5 uit appendix E worden gehaald. Voor het berekenen van α_3 moet $\Sigma A_{st,min}$ gelijk zijn genomen aan $1,0 \cdot A_s \cdot (\sigma_{sd}/f_{yd})$ met A_s = de oppervlakte van de doorsnede van één overlappende staaf.

$\alpha_6 = (\rho_1/25)^{0,5}$, maar niet groter dan 1,5 en niet kleiner dan 1,0, waarin ρ_1 het percentage is van de wapening die binnen $0,65 l_0$ vanaf het midden van de beschouwde overlappingslengte. Waarden van α_6 zijn gegeven in onderstaande tabel.

Percentage overlappende staven in verhouding tot de totale oppervlakte van de dwarsdoorsnede	<25%	33%	50%	>50%
α_6	1	1,15	1,4	1,5

Tabel 8: Waarden van de coefficient α_6 (NBN EN 1992-1-1)

2.4.5 Wapeningsplan

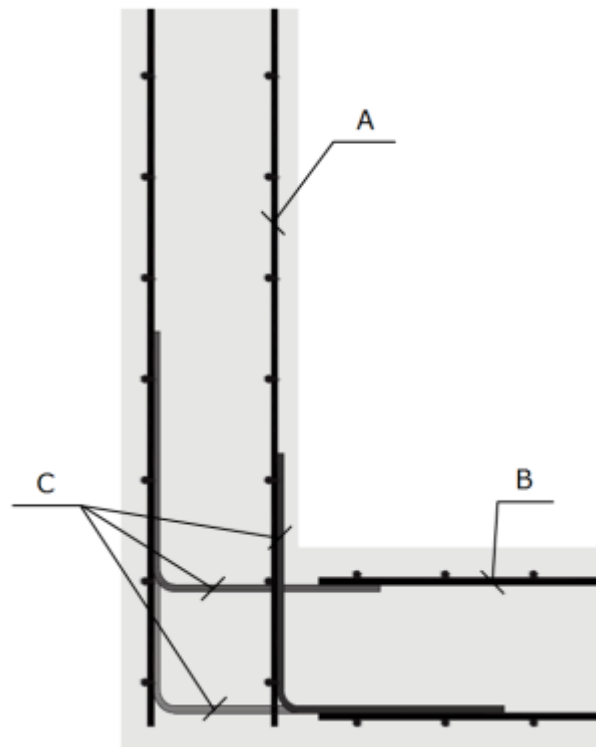
De berekende wapening wordt dan volgens het wapeningsplan (Figuur 18) in de mal geplaatst waarna het beton gestort kan worden.

A = Wandwapening

B = Voetwapening

C = Inklemmingswapening

De wapening in de wand is in alle gevallen gelijk aan de minimumwapening.



Figuur 18: Wapeningsplan

2.5 Controles in GGT-K

2.5.1 Betondruksterkte

Drukspanningen in het beton kunnen leiden tot effecten die het functioneren van de constructie in negatieve zin beïnvloeden. De drukspanning in het beton moet dus beperkt blijven zodat langsscheuren, microscheuren en hoge kruipniveaus niet kunnen voorkomen. De betondruksterkte in een bepaald constructieonderdeel wordt berekend met onderstaande formule en moet kleiner zijn dan $0,6 \cdot f_{ck}$ (Vantomme, 1999) om de negatieve effecten zoals langsscheuren, microscheuren en hoge kruipniveaus te voorkomen.

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot m_{sd} \cdot 10^6}{b \cdot x_v \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \leq 0,6 \cdot f_{ck}$$

2.5.2 Staaltreksterkte

Trekspanningen in de wapening moeten worden voorkomen om niet-elastische rekken, scheurvorming en andere vervorming te vermijden. De onaanvaardbare scheurvorming en andere vervorming worden vermeden wanneer de trekspanning in de wapening, berekend met onderstaand formule, kleiner is dan $0,8 \cdot f_{yk}$ (Vantomme, 1999).

$$\sigma_s = \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

2.6 Controles in GGT-Q

2.6.1 Scheurwijdte

Om de scheurwijdte te bepalen moet er voldaan worden aan één voorwaarde, namelijk dat de scheurwijdte w_k kleiner is dan 0,3 mm (NBN EN 1992-1-1 ANB, 2010). Deze voorwaarde is afhankelijk van de milieuklasse. Een keer- of kopmuur is een deel van de weginfrastructuur en heeft bijgevolg een omgevingsklasse EE4. Dit wil zeggen dat de constructie in contact komt met vorst, regen en dooizouten. Uit de omgevingsklasse volgt dat we een milieuklasse krijgen van XC4, XD3 en XF4. Het bepalen van deze omgevingsklassen en milieuklassen (NBN EN 1992-1-1, 2005) kan met de tabellen in appendix F. De formule voor de scheurwijdte is de volgende:

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

Er zijn twee componenten in deze formule. De eerste component is de maximale scheurafstand $S_{r,max}$. Deze wordt bepaald door de formule hieronder.

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$$

waarin k_1 coëfficiënt voor de invloed van de hechtingseigenschappen

$k_1 = 0,8$ voor staven met verbeterde hechting

k_2 coëfficiënt voor de invloed van de vorm van de rekdistributie

$k_2 = 0,5$ voor buiging

k_3 3,4 (NBN EN 1992-1-1 ANB, 2010)

k_4 0,425 (NBN EN 1992-1-1 ANB, 2010)

c betondekking

ϕ staafdiameter in mm

$$\rho_{P,eff} = A_s/A_{c,eff}$$

met $A_{c,eff}$ de effectief meewerkende betondoorsnede

Om de formule te kunnen invullen moeten de onbekende ϕ en $\rho_{P,eff}$ nog gezocht worden. $\rho_{P,eff}$ wordt bepaald door volgende formule:

$$\rho_{P,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$$

$$\text{met } A_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \cdot (h - d) \\ \frac{h - x_v}{3} \\ h \\ \frac{h}{2} \end{array} \right\} \times b$$

$$\text{met } x_v = \frac{-\alpha_e \cdot A_s}{b} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_e \cdot A_s}{b}\right)^2 + 2 \cdot \alpha_e \cdot \frac{d \cdot A_s}{b}}$$

$$\begin{aligned} \text{met } \alpha_e &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{E_s}{E_{cm}} \cdot (1 + \varphi) \\ &= \frac{E_s}{22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3}} \cdot (1 + \varphi) \end{aligned}$$

Nu alle waarden bekend zijn kan de formule voor de maximum scheurafstand worden ingevuld.

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{P,eff}}$$

De tweede component is het verschil tussen de staalrek ε_{sm} en betonrek ε_{cm} . Die wordt bepaald door de formule hieronder.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

waarin σ_s de trekspanning in de wapening

α_e de verhouding E_s/E_{cm}

k_t afhankelijk van de duur van de belasting

$k_t = 0,6$ voor korte termijn belasting

$k_t = 0,4$ voor lange termijn belasting

Om de formule te kunnen invullen moet de onbekende σ_s nog gezocht worden.

Dit kan met behulp van volgende formule:

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot \left(h - \frac{x_v}{3}\right)}$$

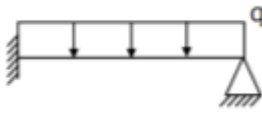

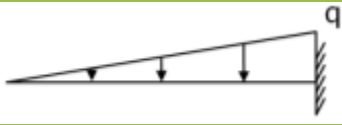

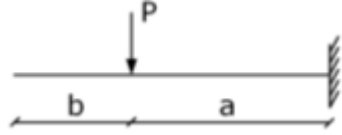
Als de maximale scheurafstand $S_{r,max}$ en het verschil tussen de staalrek ε_{sm} en betonrek ε_{cm} bekend zijn kan de hoofdformule worden ingevuld. Om te voldoen aan de scheurwijdte moet het product van deze twee kleiner zijn dan 0,3 mm.

$$w_k = S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

2.6.2 Doorbuiging

De vervorming van een element of constructie mag de werking waarvoor de constructie of het element is ontworpen niet beïnvloeden. Indien de vervormingen zo groot zijn dat aansluitende elementen de vervorming niet meer kunnen volgen, moeten er beperkingen worden opgelegd zodat het goed functioneren van machines of apparaten die op de constructie staan of de constructie zelf is verzekerd.

Er wordt aangenomen dat als de berekende doorbuiging van een ligger, plaat of uitkraging onder de quasi-blijvende belastingen groter is dan de overspanning/250 (NBN EN 1992-1-1, 2005) de bruikbaarheid en het uiterlijk van de constructie nadelig worden beïnvloed. De doorbuiging is bepaald ten opzichte van de opleggingen.

Voet		
Belastingsgeval	Doorbuiging	Formule
		$\Delta l = \frac{q \cdot l^4}{185 \cdot E \cdot I} < \frac{L}{250}$
Wand		
Belastingsgeval	Doorbuiging	Formule
		$\Delta l = \frac{q \cdot l^4}{30 \cdot E \cdot I} < \frac{L}{250}$
		$\Delta l = \frac{P \cdot a^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot l - a) < \frac{L}{250}$

Tabel 9: Doorbuiging (De Proft, Cursus Sterkteleer I)

Wanneer de optredende momenten dichtbij het scheurmoment liggen kan de berekende doorbuiging verschillen van de werkelijke doorbuiging. Deze variatie kan afhangen van de spreiding van de materiaaleigenschappen, de milieumomstandigheden, de belastingshistorie, de mate van inklemming van de opleggingen, de grondcondities enz.

2.7 Voorbeeldberekening

Een volledige uitgewerkt voorbeeld van deze berekening is terug te vinden in appendix G.

3 Bezwijkmodes

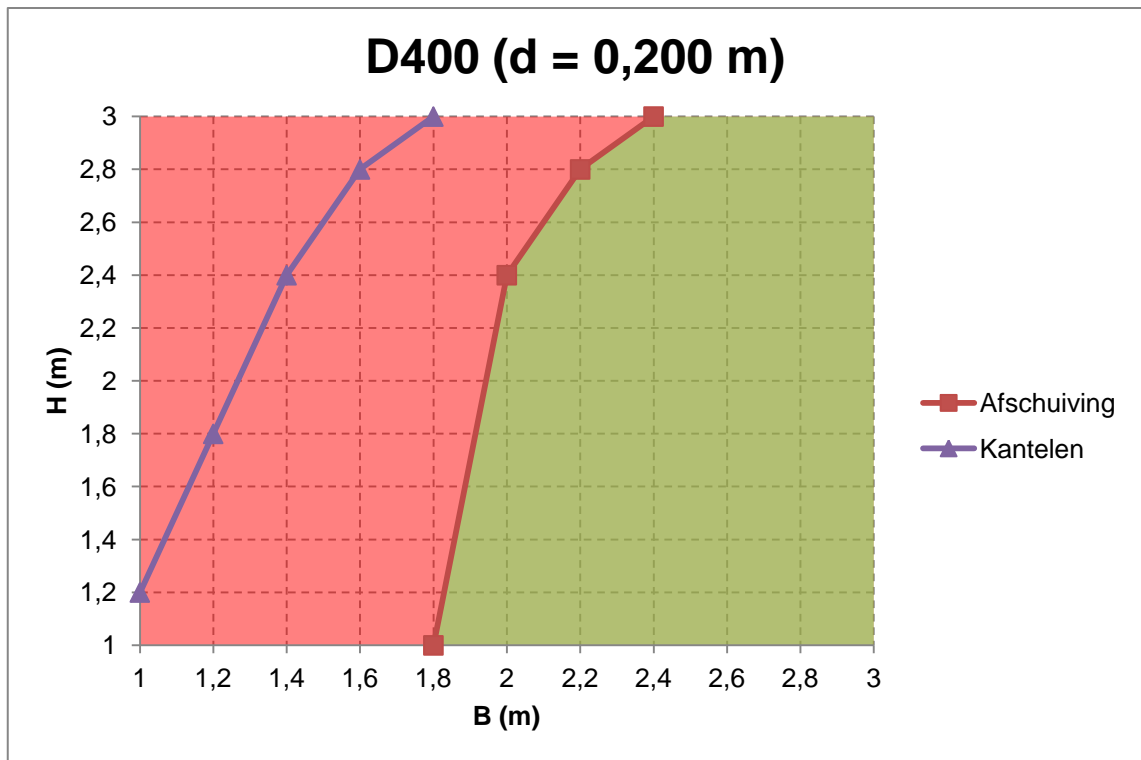
Met de gegevens, formules en berekeningen die in 'Deel III' worden uitgelegd kan een rekentool (appendix H) worden opgesteld. In deze rekentool kan door de geometrie van de constructie en de belasting te laten variëren de controleberekeningen en wapening worden berekend.

Met deze controleberekeningen wordt er nagegaan wanneer de keermuur zal bezwijken. Dit wordt weergegeven in een grafiek en bezwijkmodes genoemd. De keermuur wordt gecontroleerd op verschillende aspecten:

- Afschuiven
- Kantelen
- Betondruksterkte
- Staaltreksterkte
- Doorbuiging
- Scheurwijdte

Bij een verkeerslast D400 en een dikte van 200 mm zien we dat enkel de afschuiving maatgevend is. De keermuur voldoet alleen als de hoogte en breedte zich in het groene gebied bevinden. In alle andere gevallen zal de keermuur bezwijken door afschuiving of kantelen. Dit wordt voor elk van de zes situaties gedaan. Deze en de vijf andere situaties zijn te vinden in appendix I.

- B125
 - d=200 mm
 - d=250 mm
 - d=300 mm
- D400
 - d=200 mm
 - d=250 mm
 - d=300 mm



Figuur 19: Bezwijkmodes

4 Wapeningstabellen en -grafieken

Net zoals bij de bezwijkmodes kan met de gegevens, formules en berekeningen die in 'Deel III' worden uitgelegd een rekentool (appendix H) worden opgesteld. In deze rekentool kan door de geometrie van de constructie en de belasting te laten variëren de controleberekeningen en wapening worden berekend.

Aan de hand van de uitkomsten van de rekentool bij variërende geometrie en belastingen kunnen wapeningscategorieën bepaald worden om zo de aankoop van wapening te standaardiseren. Hierdoor kan de prijs bij de aankoop van wapening gedrukt worden en kan het productieproces sneller verlopen waardoor ook de productiekosten verminderen.

4.1 Opstellen van wapeningstabellen en -grafieken

Als er een keermuur is gekozen die voldoet aan de bezwijkmodes, moet de gepaste wapening worden gekozen. Dit kan met wapeningstabellen en grafieken die zijn opgesteld om eenvoudig de wapening te kunnen aflezen.

Er wordt ook hier gekozen voor een keermuur met dikte 200 mm, belast door een verkeerslast D400. Eerst wordt, door de hoogte en breedte te laten variëren in de rekentool, de inklemmingswapening en de wapening in de voet bepaald. Hierdoor krijgen we twee tabellen met wapening. Deze twee tabellen worden samengevoegd tot één tabel om sneller wapeningscategorieën te kunnen vormen. Voor de wapening in de wand krijgen we geen tabel omdat daar de wapening in alle gevallen gelijk is aan de minimumwapening.

A _{s,inkl.}	staven											
3,0	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100
2,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100
2,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100
2,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100
2,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
2,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
H \ B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	

Tabel 10: Inklemmingswapening

A _{s,voet}	netten											
3,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150	12 à 150
2,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150	12 à 150	12 à 150
2,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150
2,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150
2,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150	12 à 150
2,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	8 à 100	12 à 150
1,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150
1,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100
1,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100
1,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
H \ B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	

Tabel 11: Wapening in de voet

In de volgende samengevoegde tabel kunnen we zien dat de wapening Ø10 à 150 maar drie maal voorkomt. Daarom vervangen we deze door Ø12 à 150. Ook waar inklemmingswapening en wapening in de voet beiden Ø8 à 100 zijn vervangen we de wapening in de voet door Ø12 à 150. Dit is om zo weinig mogelijk verschillende wapening te hebben wat kostenbesparend is. Zo is het ook eenvoudiger om wapeningscategorieën op te stellen.

3,0	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150	12 à 150
2,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100	8 à 100
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150	12 à 150	12 à 150
2,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	8 à 100
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150
2,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	12 à 150	12 à 150
2,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150	12 à 150
2,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	8 à 100	12 à 150
1,8	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100	10 à 150
1,6	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100
1,4	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 100	8 à 100
1,2	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
1,0	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150	8 à 150
H \ B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	

Tabel 12: Samengevoegde tabel

Uit die tabel kunnen we dan drie wapeningscategorieën bepalen.

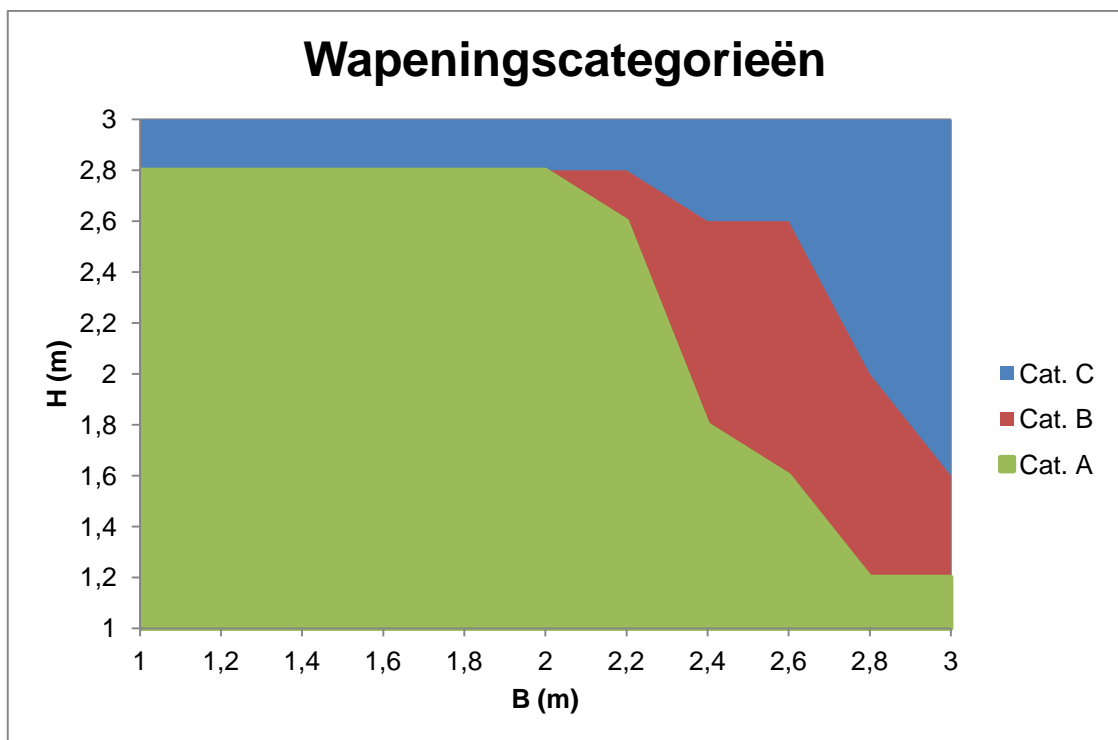
- Categorie A
- $A_{s,inkl}$ Ø8 à 150
 - $A_{s,voet}$ Ø8 à 150
- Categorie B
- $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100
 - $A_{s,voet}$ Ø8 à 150
- Categorie C
- $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100
 - $A_{s,voet}$ Ø12 à 150
- Wandwapening Ø8 à 150

De tabel met de wapeningscategorieën wordt weergegeven op de volgende bladzijde.

3,0	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C
2,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C
2,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. B	Cat. C
1,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C
1,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B
1,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B
1,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
1,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
H/B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0

Tabel 13: Wapeningscategorieën

Deze tabel kan ook in grafiekvorm worden weergegeven, maar dit is niet aangeraden aangezien de tabel een duidelijker beeld geeft.



Figuur 20: Wapeningscategorieën

5 Conclusie

Als het opstellen van de wapeningstabellen wordt gedaan voor elke situatie dan vormt onderstaande tabel de conclusie. Alle wapeningstabellen en –grafieken zijn terug te vinden in appendix I. In deze tabel staan de uitkomsten van de studie naar het wapenen van een keermuur. Er kan een standaardisatie gevormd worden met deze resultaten.

B125	D400
d=0,200 m	d=0,200 m
$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$	$A_{s,inkl} = \text{varieert}$
$A_{s,voet} = \text{varieert}$	$A_{s,voet} = \text{varieert}$
$A_{s,wand} = \text{Ø}8/8/150/150$	$A_{s,wand} = \text{Ø}8/8/150/150$
d=0,250 m	d=0,250 m
$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$	$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$
$A_{s,voet} = \text{Ø}8/8/100/100$	$A_{s,voet} = \text{Ø}8/8/100/100$
$A_{s,wand} = \text{Ø}8/8/100/100$	$A_{s,wand} = \text{Ø}8/8/100/100$
d=0,300 m	d=0,300 m
$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$	$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$
$A_{s,voet} = \text{Ø}10/10/150/150$	$A_{s,voet} = \text{Ø}10/10/150/150$
$A_{s,wand} = \text{Ø}10/10/150/150$	$A_{s,wand} = \text{Ø}10/10/150/150$

Tabel 14: Conclusie

De wapening in de wand is voor elke situatie de minimumwapening en ook de wapening in de voet en de inklemmingswapening is hetzelfde bij een dikte van 250 mm en 300 mm, onafhankelijk van de belasting. Er moet dus enkel naar de dikte van 200 mm worden gekeken. Voor deze wapening zijn tabellen en grafieken gemaakt waaruit eenvoudig de wapening kan worden afgelezen. Die grafieken zijn terug te vinden in appendix I.

Bij een dikte van 200 mm varieert de inklemmingswapening en de wapening in de voet. Bij deze dikte zijn wapeningscategorieën samengesteld zodat er enkel een keuze tussen de categorieën moet gemaakt worden en niet apart voor beide wapeningen. Deze categorieën kunnen ook eenvoudig worden afgelezen uit een tabel of grafiek. Deze tabellen en grafieken zijn terug te vinden in appendix I.

Appendix A: Partiële- en samenstelfactoren

Belasting	Symbool	Situatie	
		B/T	A
Blijvend			
- Ongunstig	$\gamma_{G,dst}$	1,35	1,00
- Gunstig	$\gamma_{G,stab}$	1,00	1,00
Veranderlijk			
- Ongunstig	γ_Q	1,50	1,00
Accidenteel	γ_A	-	1,00

Tabel A1: Partiële veiligheidsfactoren op belastingen (NBN EN 1990, 2002)

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Gebruiksbelasting in het gebouw			
Categorie A: woongebouw	0,7	0,5	0,3
Categorie B: kantoren	0,7	0,5	0,3
Categorie C: samenkomstplaatsen (schouwburgen e.d.)	0,7	0,7	0,6
Categorie D: winkelruimtes	0,7	0,7	0,6
Categorie E: opslagruimtes	1,0	0,9	0,8
Categorie F: verkeersruimte voertuiggewicht < 30 kN (dit is nieuw sinds 1994; daarvoor was ψ afhankelijk van de overspanning)	0,7	0,7	0,6
Categorie G: verkeersruimte 30 kN < voertuiggewicht < 160 kN	0,7	0,5	0,3
Categorie H: daken	0	0	0
Sneeuwlasten			
Finland, IJsland, Noorwegen, Zweden	0,7	0,5	0,2
Overige leden CEN, H > 1000 m	0,7	0,5	0,2
Overige leden CEN, H < 1000m	0,5	0,2	0
ANB (België) bij EN 1990 (2002)	0,5	0	0

Tabel A2: Samenstelfactoren voor belastingen in gebouwen (NBN EN 1990, 2002)

Appendix B: Tabel voor ontwerpberekening

μ_d	ω	$\xi=x/d$	$\zeta=z/d$	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	ψ	δ_G	σ_s (Mpa)			
								S220	S400	S500	S600
0,010	0,0102	0,046	0,984	0,48	10,00	0,2213	0,3407	191	348	435	522
0,020	0,0205	0,066	0,977	0,70	10,00	0,3109	0,3445	191	348	435	522
0,030	0,0309	0,082	0,972	0,89	10,00	0,3784	0,3478	191	348	435	522
0,040	0,0414	0,095	0,967	1,05	10,00	0,4342	0,3511	191	348	435	522
0,050	0,0520	0,108	0,962	1,21	10,00	0,4824	0,3543	191	348	435	522
0,060	0,0627	0,119	0,957	1,36	10,00	0,5248	0,3577	191	348	435	522
0,070	0,0735	0,131	0,953	1,50	10,00	0,5628	0,3611	191	348	435	522
0,080	0,0843	0,141	0,948	1,65	10,00	0,5970	0,3648	191	348	435	522
0,090	0,0953	0,152	0,944	1,79	10,00	0,6280	0,3688	191	348	435	522
0,100	0,1064	0,162	0,939	1,94	10,00	0,6559	0,3731	191	348	435	522
0,104	0,1111	0,167	0,937	2,00	10,00	0,6667	0,3750	191	348	435	522
0,110	0,1177	0,173	0,935	2,09	10,00	0,6809	0,3778	191	348	435	522
0,120	0,1291	0,184	0,930	2,25	10,00	0,7034	0,3830	191	348	435	522
0,130	0,1406	0,194	0,925	2,41	10,00	0,7236	0,3882	191	348	435	522
0,140	0,1523	0,205	0,919	2,58	10,00	0,7419	0,3934	191	348	435	522
0,150	0,1642	0,216	0,914	2,76	10,00	0,7586	0,3985	191	348	435	522
0,160	0,1762	0,228	0,908	2,95	10,00	0,7738	0,4034	191	348	435	522
0,170	0,1884	0,239	0,902	3,14	10,00	0,7879	0,4082	191	348	435	522
0,180	0,2008	0,251	0,897	3,35	10,00	0,8008	0,4128	191	348	435	522
0,187	0,2099	0,259	0,892	3,50	10,00	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,190	0,2134	0,264	0,890	3,50	9,78	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,200	0,2263	0,280	0,884	3,50	9,02	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,210	0,2395	0,296	0,877	3,50	8,33	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,220	0,2529	0,312	0,870	3,50	7,71	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,230	0,2665	0,329	0,863	3,50	7,13	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,240	0,2804	0,346	0,856	3,50	6,60	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,250	0,2946	0,364	0,849	3,50	6,12	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,260	0,3091	0,382	0,841	3,50	5,67	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,270	0,3239	0,400	0,834	3,50	5,25	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,280	0,3391	0,419	0,826	3,50	4,86	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,290	0,3546	0,438	0,818	3,50	4,49	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,300	0,3706	0,458	0,810	3,50	4,15	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,310	0,3869	0,478	0,801	3,50	3,82	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,320	0,4038	0,499	0,793	3,50	3,52	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,330	0,4211	0,520	0,784	3,50	3,23	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,340	0,4391	0,542	0,774	3,50	2,95	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,350	0,4576	0,565	0,765	3,50	2,69	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,353	0,4638	0,573	0,762	3,50	2,61	0,8095	0,4160	191	348	435	522
0,360	0,4768	0,589	0,755	3,50	2,44	0,8095	0,4160	191	348	435	488
0,370	0,4968	0,614	0,745	3,50	2,20	0,8095	0,4160	191	348	435	441
0,371	0,4994	0,617	0,743	3,50	2,17	0,8095	0,4160	191	348	435	435
0,380	0,5177	0,640	0,734	3,50	1,97	0,8095	0,4160	191	348	395	395
0,391	0,5408	0,668	0,722	3,50	1,74	0,8095	0,4160	191	348	348	348
0,400	0,5627	0,695	0,711	3,50	1,54	0,8095	0,4160	191	307	307	307
0,410	0,5871	0,725	0,698	3,50	1,33	0,8095	0,4160	191	265	265	265
0,420	0,6132	0,758	0,685	3,50	1,12	0,8095	0,4160	191	224	224	224
0,428	0,6358	0,785	0,673	3,50	0,96	0,8095	0,4160	191	191	191	191
0,430	0,6414	0,792	0,670	3,50	0,92	0,8095	0,4160	184	184	184	184
0,440	0,6721	0,830	0,655	3,50	0,72	0,8095	0,4160	143	143	143	143
0,450	0,7064	0,873	0,637	3,50	0,51	0,8095	0,4160	102	102	102	102
0,460	0,7458	0,921	0,617	3,50	0,30	0,8095	0,4160	60	60	60	60
0,470	0,7937	0,980	0,592	3,50	0,07	0,8095	0,4160	14	14	14	14
0,473	0,8095	1,000	0,584	3,50	-	0,8095	0,4160	0	0	0	0

(Vantomme, 1999)

Appendix C: Waarden van A_{sw} en A_{sw}/s voor beugels met twee verticale benen

ϕ (mm)	6	8	10	12	14	16
A_{sw} (mm ²)	56,5	100	157	226	308	402
s (mm)	A_{sw}/s (mm ² /mm)					
50	1,131	2,011	3,141	4,524	6,158	8,042
60	0,942	1,676	2,618	3,770	5,131	6,702
70	0,808	1,436	2,244	3,231	4,398	5,745
80	0,707	1,257	1,963	2,827	3,848	5,027
90	0,628	1,117	1,745	2,513	3,421	4,468
100	0,565	1,005	1,571	2,262	3,079	4,021
120	0,471	0,838	1,309	1,885	2,566	3,351
140	0,404	0,718	1,122	1,616	2,199	2,872
150	0,377	0,670	1,047	1,508	2,053	2,681
160	0,353	0,628	0,982	1,414	1,924	2,513
180	0,314	0,559	0,873	1,257	1,710	2,234
200	0,283	0,503	0,785	1,131	1,539	2,011
250	0,226	0,402	0,628	0,905	1,232	1,608
300	0,188	0,335	0,524	0,754	1,026	1,340

(Vantomme, 1999)

Appendix D: Sterkte- en vervormingseigenschappen voor beton

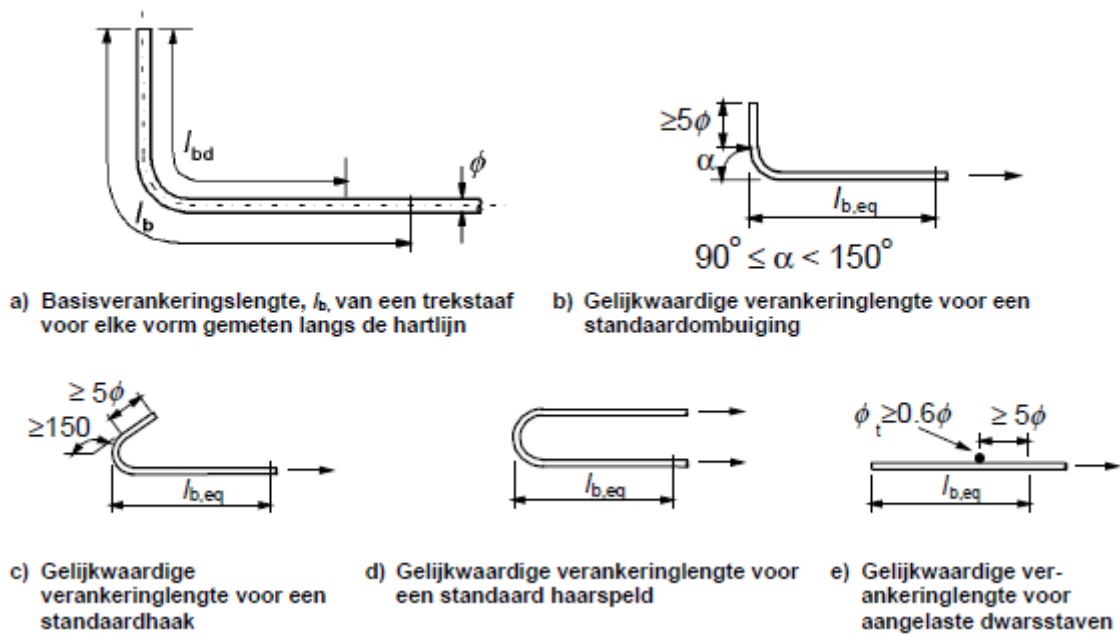
	Sterkteklassen voor beton												Vergelijking/Verklaring	
	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70		80
f_{tk} (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
$f_{tk, cube}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{tk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{tk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ϵ_{t1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ϵ_{t2} (‰)				3,5						3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
ϵ_{t3} (‰)				2,0						2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
ϵ_{t4} (‰)				3,5						3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
η				2,0						1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
ϵ_{t5} (‰)				1,75						1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
ϵ_{t6} (‰)				3,5						3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

(NBN EN 1992-1-1, 2005)

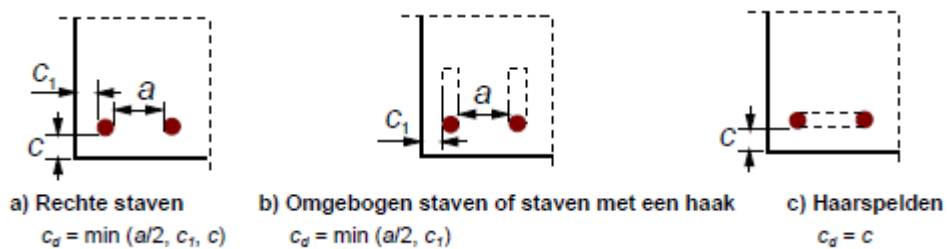
Appendix E: Waarden van de coëfficiënten α_1 , α_2 , α_3 , α_4 en α_5

Invloedsfactor	Type Verankering	Wapeningsstaaf	
		Trekstaaf	Drukstaaf
Vorm van de staaf	recht	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	anders dan recht (zie figuur E1.b, c en d)	$\alpha_1 = 0,7$ als $c_d > 3\emptyset$ anders $\alpha_1 = 1,0$ (zie figuur E2 voor waarden van c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Betondekking	recht	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \emptyset)/\emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	anders dan recht (zie figuur E1.b, c en d)	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3\emptyset)/\emptyset$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (zie figuur E2 voor waarden van c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Opsluiting door dwarswapening, niet gelast aan de hoofdwapening	alle types	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Opsluiting door gelaste dwarswapening*	alle types, positie en afmeting als gespecificeerd in figuur E1.e	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 1,0$
Opsluiting door dwarsdruk	alle types	$\alpha_5 = 1 - 0,04 p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-
<p>waarin:</p> <p>$\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min})/A_s$</p> <p>$\Sigma A_{st}$ oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de dwarswapening langs de rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd}</p> <p>$\Sigma A_{st,min}$ oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de minimale dwarswapening = 0,25 A_s voor balken en 0 voor platen</p> <p>A_s oppervlakte van de doorsnede van een enkelvoudig verankerde staaf met maximale staafdiameter</p> <p>K waarden getoond in figuur E3</p> <p>p druk in dwarsrichting (Mpa) in de uiterste grenstoestand langs l_{bd}</p> <p>* Voor directe oplettingen mag l_{bd} kleiner zijn genomen dan $l_{b,min}$, op voorwaarde dat er ten minste één dwarsdraad is gelast binnen de opletting. Dit behoort ten minste op 15 mm vanaf de dagkant van de opletting te zijn.</p>			

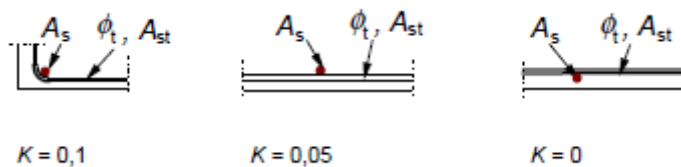
(NBN EN 1992-1-1, 2005)



Figuur E1: Verankeringsmethoden anders dan met een rechte staaf (NBN EN 1992-1-1, 2005)



Figuur E2: Waarden van c_d voor balken en platen (NBN EN 1992-1-1, 2005)



Figuur E3: Waarden van K voor balken en platen (NBN EN 1992-1-1, 2005)

Appendix F: Bepalen van de maximale scheurwijdte

Omgevingsklassen			Milieuklassen	
Klasse	Omschrijving	Voorbeelden	OB ⁽¹⁾	GB ⁽²⁾ of VB ⁽³⁾
E0	Niet schadelijk		X0	Niet van toepassing
E1	Binnenomgeving	Binnenkant van woningen en kantoren	X0	XC1
EE	Buitenomgeving			
EE1	Geen vorst	Fundering onder vorstgrens	X0	XC2
EE2	Vorst, geen contact met regen	Overdekte open parkeergarage, kruipkelder, open doorgang in gebouw	XF1	XC3, XF1
EE3	Vorst, contact met regen	Buitenmuur, in contact met regen	XF1	XC4, XF1
EE4	Vorst en dooizouten (aanwezigheid van ter plaatse ontdooid of opspattend of aflopend dooizouthoudend water)	Delen van weginfrastructuur	XF4	XC4, XD3, XF4
ES	Zeeomgeving			
	Geen contact met zeewater; wel contact met zeelucht (tot 3 km van de kust) en/of brak water ⁽⁴⁾			
ES1	Geen vorst	Fundering onder vorstgrens in contact met brak water	XA1	XC2, XS2, XA1
ES2	Vorst	Buitenmuur van gebouw aan kust in contact met regen	XF1	XC4, XS1, XF1
	Contact met zeewater			
ES3	Ondergedompeld		XA1	XC1, XS2, XA1
ES4	Getijden- en spatzone	Kaaimuren	XF4, XA1	XC4, XS3, XF4, XA1
EA	Agressieve omgeving			
EA1	Zwak agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001		XA1	XA1
EA2	Middelmatig agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001		XA2	XA2
EA3	Sterk agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001		XA3	XA3
	(1) OB = ongewapend beton (2) GB = gewapend beton (3) VB = voorgespannen beton (4) Ondiep brak water komt voornamelijk voor in de kustvlakte, het poldergebied in de omgeving van Diksmuide, sommige Oost-Vlaamse polders en rond de haven van Antwerpen. De hoogtelijn van 6 m wordt vastgesteld als de grens tot waar deze gebieden zich uitstrekken.			

Tabel F1: Omgevingsklassen met bijhorende milieuklassen (NBN EN 1992-1-1, 2005)

Milieuklasse	Gewapende en voorgespannen elementen met voorspanning zonder aanhechting	Voorgespannen elementen met voorspanning met aanhechting
	quasi-blijvende belastingscombinatie	vaak voorkomende belastingscombinatie
X0, XC1	0,4 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		decompressie
<p>OPMERKING 1 Voor de milieuklassen X0 en XC1 heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid; deze grens is gesteld om een acceptabel uiterlijk te verzekeren. Bij afwezigheid van voorwaarden ten aanzien van het uiterlijk mag deze beperking zijn afgezwakt.</p> <p>OPMERKING 2 Voor deze milieuklassen behoort, aanvullend, decompressie onder de quasi-blijvende belastingscombinatie te zijn gecontroleerd.</p>		

Tabel F2: Aanbevolen waarden van w_{max} (mm) (NBN EN 1992-1-1 ANB, 2010)

Appendix G: Rekenvoorbeeld

1 Gegevens

Om de rekennota te verduidelijken wordt er een voorbeeldberekening gemaakt.

Dit gebeurt met onderstaande gegevens.

1.1 Geometrie constructie

$$H = 2,6 \text{ m}$$

$$B = 2,0 \text{ m}$$

$$T_v = T_w = 300 \text{ mm}$$

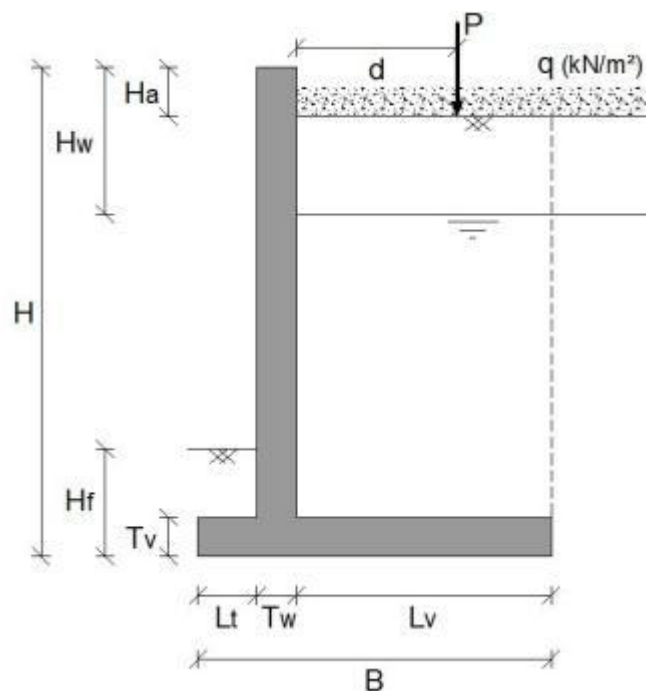
$$L_t = 0 \text{ m}$$

$$d = 1,50 \text{ m}$$

$$H_a = 0 \text{ m}$$

$$H_f = 0 \text{ m}$$

$$H_w = 3,00 \text{ m}$$



Figuur G1: Geometrie constructie

1.2 Grondmechanische kenmerken

	Symbol	Waarde
Kritische wrijvingshoek	φ	30°
Wrijvingshoek	δ	20°
Actieve gronddrukcoëff.	K_a	0,33
Passieve gronddrukcoëff.	K_p	3,00
Poissoncoëfficiënt	ν	0,2
Kruipfactor	φ_k	1,4

Tabel G1: Grondmechanische kenmerken

1.3 Materiaalkenmerken

	Symbol	Waarde
Grondkenmerken		
Droge grond	γ_{dr}	18 kN/m ³
Natte grond	γ_n	20 kN/m ³
Grondwater	γ_w	10 kN/m ³
Effectief volumegewicht	γ'	10 kN/m ³
Beton		
Gewapend beton	γ_k	25 kN/m ³
Betonklasse		C45/55
Karakteristieke druksterkte	f_{ck}	45 N/mm ²
Ontwerpdruksterkte	f_{cd}	30 N/mm ²
Wapeningsstaal		
Staalklasse		S500
Karakteristieke treksterkte	f_{yk}	500 N/mm ²
Ontwerptreksterkte	f_{yd}	435 N/mm ²

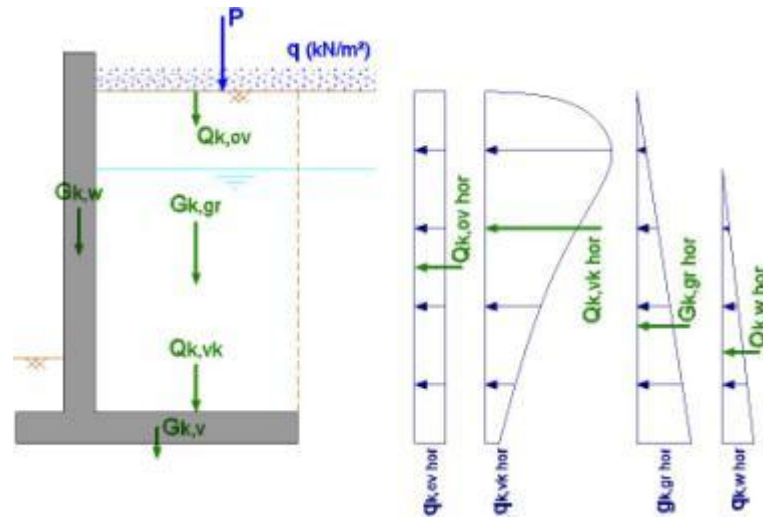
Tabel G2: Materiaalkenmerken

1.4 Lasten

In deze voorbeeldberekening gebruiken we een verkeerslast D400. Dit wil zeggen dat er een testbelasting van 400 kN wordt gebruikt. Op figuur G1 wil dit zeggen dat $P = 400$ kN.

2 Belastingen

Op figuur G2 staan alle belastingen die aangrijpen op de keermuur. Deze belastingen zijn nodig om verdere berekeningen zoals de wapening uit te voeren. Deze belastingen worden onderverdeeld in belastingen die werken in verticale en horizontale richting.



Figuur G2: Belastingen

2.1 Verticale belasting

Keermuur

$$\begin{aligned} G_{k,w} &= \gamma_k \cdot A_w \\ &= \gamma_k \cdot [(H - T_v) \cdot T_w] \\ &= 25 \cdot [(2,6 - 0,300) \cdot 0,300] \\ &= 17,25 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{k,v} &= \gamma_k \cdot A_v \\ &= \gamma_k \cdot (B \cdot T_v) \\ &= 25 \cdot (2 \cdot 0,300) \\ &= 15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
G_{k,km} &= G_{k,w} + G_{k,v} \\
&= 17,25 + 15 \\
&= 32,25 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Grond

$$\begin{aligned}
g_{k,gr} &= (H - H_a - T_v) \cdot \gamma_{dr} \\
&= (2,6 - 0 - 0,300) \cdot 18 \\
&= 41,4 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
G_{k,gr} &= g_{k,gr} \cdot L_v \\
&= 41,4 \cdot 1,7 \\
&= 70,38 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Verkeerslast

$$\begin{aligned}
q_{k,vk}(= \sigma_v) &= \frac{3P}{2\pi} \cdot \frac{z^3}{R^5} \\
&= \frac{3 \cdot 400}{2\pi} \cdot \frac{(2,6 - 0 - 0,300)^3}{[1,5^2 + (2,6 - 0 - 0,300)^2]^{\frac{5}{2}}} \\
&= 14,89 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{k,vk} &= q_{k,vk} \cdot L_v \\
&= 14,89 \cdot 1,7 \\
&= 25,30 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

2.2 Horizontale belasting

Grond

$$\begin{aligned}g_{k,gr\ hor} &= K_a \cdot \gamma_{dr} \cdot H \\ &= 0,33 \cdot 18 \cdot 2,6 \\ &= 15,60 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{met } K_a = \frac{1 - \sin(\varphi')}{1 + \sin(\varphi')} = \frac{1 - \sin(30^\circ)}{1 + \sin(30^\circ)} = 0,33$$

$$\begin{aligned}G_{k,gr\ hor} &= K_a \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 = \frac{g_{k,gr\ hor} \cdot H}{2} \\ &= 15,60 \cdot \frac{2,6}{2} \\ &= 20,28 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Grondwater

$$q_{k,w\ hor} = 0$$

In het geval van kopmuren is er geen grondwater dat boven de voet zal komen en mag $q_{k,w\ hor}$ worden gelijkgesteld aan nul.

Verkeerslast

Op een diepte van 2,3m (= diepte van de voet onder het maaiveld) is de verkeerslast de volgende:

$$\begin{aligned}\sigma_h &= \frac{P}{2\pi} \cdot \left[\frac{3r^2z}{R^5} - \frac{1-2\nu}{R(R+z)} \right] \\ &= \frac{400}{2\pi} \cdot \left[\frac{3 \cdot 1,5^2 \cdot 2,3}{(1,5^2 + 2,3^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1 - 2 \cdot 0,2}{\sqrt{1,5^2 + 2,3^2} \cdot (\sqrt{1,5^2 + 2,3^2} + 2,3)} \right] \\ &= 3,57 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

De maximale verkeerslast moet ook gekend zijn. Deze wordt berekend door de diepte z te laten variëren van 0 tot $H - T_v$. Als we dat doen dan komen we tot

een maximale horizontale gronddruk, veroorzaakt door de verkeerslast, van $15,37 \text{ kN/m}^2$.

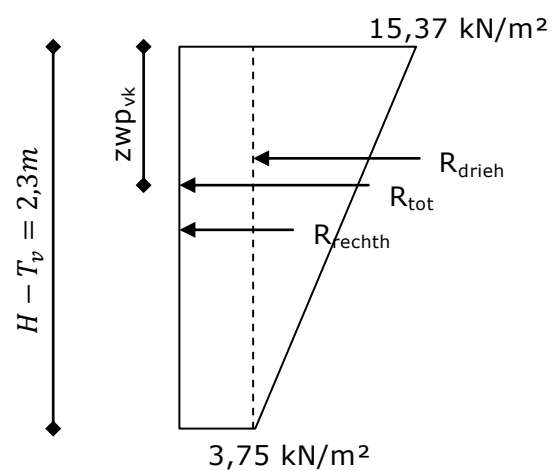
Het is nu gemakkelijker als de verkeerslast kan uitgedrukt worden als een puntkracht. Eerst worden de resultanten van de driehoek en de rechthoek berekend en daarna kan de resultante van het geheel bepaald worden. Ook het zwaartepunt van deze resultante is belangrijk, deze is nodig bij de berekening van het kantelevenwicht.

$$\begin{aligned}
 R_{drieh} &= \frac{b \cdot h}{2} \\
 &= \frac{(15,37 - 3,75) \cdot 2,3}{2} \\
 &= 13,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{rechth} &= b \cdot h \\
 &= 3,75 \cdot 2,3 \\
 &= 8,22 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{tot} &= R_{drieh} + R_{rechth} \\
 &= 13,75 + 8,22 \\
 &= 21,79 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 zw_{p_{vk}} &= \frac{R_{drieh} \cdot \frac{h}{3} + R_{rechth} \cdot \frac{h}{2}}{R} \\
 &= \frac{13,75 \cdot \frac{2,3}{3} + 8,22 \cdot \frac{2,3}{2}}{21,79} \\
 &= 0,91 \text{ m } (-mv)
 \end{aligned}$$



Figuur G3: Horizontale belasting tgw verkeerslast

3 Controleberekeningen

3.1 Afschuiven

$$\begin{aligned}
 T_{\text{schuif}} &= G_{k,gr \text{ hor}} + Q_{k,gw \text{ hor}} + Q_{k,ov \text{ hor}} + Q_{k,vk \text{ hor}} \\
 &= 20,28 + 0 + 0 + 21,97 \\
 &= 42,07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{\text{stab}} &= \tan \delta \cdot (G_{k,km} + G_{k,gr} + Q_{k,ov} + Q_{k,vk}) \\
 &= \tan 20^\circ \cdot (32,25 + 70,38 + 0 + 25,30) \\
 &= 46,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$SF = \frac{T_{\text{stab}}}{T_{\text{schuif}}} = \frac{46,56}{42,07} = 1,11 > 1,1$$

3.2 Kantelen

Kracht	Arm	Moment
Gunstig (M_{stab})		
$G_{k,w} = 17,25 \text{ kN/m}$	$T_w/2 = 0,150 \text{ m}$	$G_{k,w} \cdot T_w/2 = 2,59 \text{ kNm}$
$G_{k,v} = 15,00 \text{ kN/m}$	$B/2 = 1,0 \text{ m}$	$G_{k,v} \cdot B/2 = 15,00 \text{ kNm}$
$G_{k,gr} = 70,38 \text{ kN/m}$	$B - L_v/2 = 1,15 \text{ m}$	$G_{k,gr} \cdot (B - L_v/2) = 80,94 \text{ kNm}$
$Q_{k,ov} = 0$	$B - L_v/2 = 1,15 \text{ m}$	$Q_{k,ov} \cdot (B - L_v/2) = 0$
$Q_{k,vk} = 25,30 \text{ kN/m}$	$B - L_v/2 = 1,15 \text{ m}$	$Q_{k,vk} \cdot (B - L_v/2) = 29,10 \text{ kNm}$
Ongunstig (M_{kantel})		
$G_{k,gr \text{ hor}} = 20,28 \text{ kN/m}$	$H/3 = 0,87 \text{ m}$	$G_{k,gr \text{ hor}} \cdot H/3 = 17,58 \text{ kNm}$
$Q_{k,gw \text{ hor}} = 0$	$H/3 = 0,87 \text{ m}$	$Q_{k,gw \text{ hor}} \cdot H/3 = 0$
$Q_{k,ov \text{ hor}} = 0$	$H/2 = 1,3 \text{ m}$	$Q_{k,ov \text{ hor}} \cdot H/2 = 0$
$Q_{k,vk \text{ hor}} = 21,79 \text{ kN/m}$	$H - \text{zwp}_{vk} = 1,69 \text{ m}$	$Q_{k,vk \text{ hor}} \cdot (H - \text{zwp}_{vk}) = 36,79 \text{ kNm}$
SF > 1,2		
$ \frac{M_{\text{stab}}}{M_{\text{kantel}}} = \frac{2,59 + 15,00 + 80,94 + 29,10}{17,58 + 36,79} = 2,35 > 1,2 $		

Tabel G3: Kantelen

4 Wapening

4.1 Minimumwapening

Scheurbeheersing

$$\begin{aligned} A_{s,min1} &= \frac{3}{25} \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot h \\ &= \frac{3}{25} \cdot 45^{2/3} \cdot 0,300 \\ &= 455,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Brosse breuk

$$\begin{aligned} A_{s,min2} &= 0,156 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot d \\ &= 0,156 \cdot 45^{2/3} \cdot (300 - 35 - 10/2) \\ &= 513,14 \text{ mm}^2 > 1,3 \cdot d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,min3} &= 1,3 \cdot d \\ &= 1,3 \cdot (300 - 35 - 10/2) \\ &= 338 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Minimumwapening

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max(A_{s,min1}; A_{s,min2}; A_{s,min3}) \\ &= \max(455,45 \text{ mm}^2; 513,14 \text{ mm}^2; 338 \text{ mm}^2) \\ &= 513,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.2 Hoofdwapening

UGT-B

$$\begin{aligned}M_{veld,voet} &= 1,35 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128} + 1,5 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128} \\&= 1,35 \cdot \frac{9 \cdot 41,40 \cdot 1,7^2}{128} + 1,5 \cdot \frac{9 \cdot 14,89 \cdot 1,7^2}{128} \\&= 15,89 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,wand} &= 1,35 \cdot \frac{g_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6} + 1,5 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zwp_{vk}) \\&= 1,35 \cdot \frac{15,60 \cdot 2,3^2}{6} + 1,5 \cdot 21,79 \cdot (2,3 - 0,91) \\&= 64,00 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,voet} &= 1,35 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8} + 1,5 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8} \\&= 1,35 \cdot \frac{41,40 \cdot 1,7^2}{8} + 1,5 \cdot \frac{14,89 \cdot 1,7^2}{8} \\&= 28,26 \text{ kNm}\end{aligned}$$

GGT-K

$$\begin{aligned}M_{veld,voet} &= 1,0 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128} + 1,0 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128} \\&= 1,0 \cdot \frac{9 \cdot 41,40 \cdot 1,7^2}{128} + 1,0 \cdot \frac{9 \cdot 14,89 \cdot 1,7^2}{128} \\&= 11,44 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,wand} &= 1,0 \cdot \frac{q_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6} + 1,0 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zwp_{vk}) \\&= 1,0 \cdot \frac{15,60 \cdot 2,3^2}{6} + 1,0 \cdot 21,79 \cdot (2,3 - 0,91) \\&= 44,04 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,voet} &= 1,0 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8} + 1,0 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8} \\&= 1,0 \cdot \frac{41,40 \cdot 1,7^2}{8} + 1,0 \cdot \frac{14,89 \cdot 1,7^2}{8} \\&= 20,33 \text{ kNm}\end{aligned}$$

GGT-Q

$$\begin{aligned}M_{veld,voet} &= 1,0 \cdot \frac{9 \cdot g_{k,gr} \cdot l^2}{128} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{9 \cdot q_{k,vk} \cdot l^2}{128} \\&= 1,0 \cdot \frac{9 \cdot 41,40 \cdot 1,7^2}{128} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{9 \cdot 14,89 \cdot 1,7^2}{128} \\&= 9,32 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,wand} &= 1,0 \cdot \frac{q_{k,gr,hor} \cdot l^2}{6} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot Q_{k,vk,hor} \cdot (H - zw_{p_{vk}}) \\&= 1,0 \cdot \frac{15,60 \cdot 2,3^2}{6} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot 21,79 \cdot (2,3 - 0,91) \\&= 22,84 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{inkl,voet} &= 1,0 \cdot \frac{g_{k,gr} \cdot l^2}{8} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{q_{k,vk} \cdot l^2}{8} \\&= 1,0 \cdot \frac{41,40 \cdot 1,7^2}{8} + 0,3 \cdot 1,0 \cdot \frac{14,89 \cdot 1,7^2}{8} \\&= 16,57 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Het uiteindelijke inklemmingsmoment Q wordt berekend via cross-iteratie. Dit wordt gedaan voor alle drie de grenstoestanden. De cross-iteratie is te vinden in de tabel op de volgende pagina. In de tabel hieronder zijn alle momenten weergegeven.

	UGT-B	GGT-K	GGT-Q
$M_{veld,voet}$	15,89 kNm	11,44 kNm	9,32 kNm
$M_{inkl,wand}$	64,00 kNm	44,04 kNm	22,84 kNm
$M_{inkl,voet}$	28,26 kNm	20,33 kNm	16,57 kNm
M_{inkl} (via Cross)	48,45 kNm	33,73 kNm	20,11 kNm

Tabel G4: Kritische momenten

Knoop	A	B		C
Staaf	AB	BA	BC	CB
E (N/mm ²)	36000	36000	36000	36000
I (mm ⁴)	$\frac{1000 \cdot 300^3}{12} = 2,25 \cdot 10^9$	$\frac{1000 \cdot 300^3}{12} = 2,25 \cdot 10^9$	$\frac{1000 \cdot 300^3}{12} = 2,25 \cdot 10^9$	$\frac{1000 \cdot 300^3}{12} = 2,25 \cdot 10^9$
EI (Nmm ²)	$8,1 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$	$8,1 \cdot 10^{13}$
L (mm)	2600	2600	2000	2000
EI/L (Nmm)	$3,12 \cdot 10^{10}$	$3,12 \cdot 10^{10}$	$4,05 \cdot 10^{10}$	$4,05 \cdot 10^{10}$
κ (Nmm)	$4 \cdot 3,12 \cdot 10^{10} = 1,25 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 3,12 \cdot 10^{10} = 9,35 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 4,05 \cdot 10^{10} = 1,22 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 4,05 \cdot 10^{10} = 1,62 \cdot 10^{11}$
$\Sigma \kappa$ (Nmm)	$1,25 \cdot 10^{11}$	$9,35 \cdot 10^{10} + 1,22 \cdot 10^{11} = 2,15 \cdot 10^{11}$		$1,62 \cdot 10^{11}$
μ (-)	1	$\frac{9,35 \cdot 10^{10}}{2,15 \cdot 10^{11}} = 0,435$	$\frac{1,22 \cdot 10^{11}}{2,15 \cdot 10^{11}} = 0,565$	1
ρ (-)	0,5	0	0	0,5

UGT-B

C_0 (kNm)		-64,00	28,26	
-64,00 + 28,26 = -35,74	$15,55 \cdot 0 = 0$	$-1 \cdot \mu_{BA} \cdot M_C = -1 \cdot 0,435 \cdot (-35,74) = 15,55$	$-1 \cdot \mu_{BC} \cdot M_C = -1 \cdot 0,565 \cdot (-35,74) = 20,19$	$20,19 \cdot 0 = 0$
	0	$-64,00 + 15,55 = -48,45 \text{ kNm}$	$28,26 + 20,19 = 48,45 \text{ kNm}$	0

GGT-K

C_0 (kNm)		-44,04	20,33	
-44,04 + 20,33 = -23,71	$10,31 \cdot 0 = 0$	$-1 \cdot \mu_{BA} \cdot M_C = -1 \cdot 0,435 \cdot (-23,71) = 10,31$	$-1 \cdot \mu_{BC} \cdot M_C = -1 \cdot 0,565 \cdot (-23,71) = 13,40$	$13,40 \cdot 0 = 0$
	0	$-44,04 + 10,31 = -33,73 \text{ kNm}$	$20,33 + 13,40 = 33,73 \text{ kNm}$	0

GGT-Q

C_0 (kNm)		-22,84	16,57	
-22,84 + 16,57 = -6,27	$2,73 \cdot 0 = 0$	$-1 \cdot \mu_{BA} \cdot M_C = -1 \cdot 0,435 \cdot (-6,27) = 2,73$	$-1 \cdot \mu_{BC} \cdot M_C = -1 \cdot 0,565 \cdot (-6,27) = 3,54$	$3,54 \cdot 0 = 0$
	0	$-22,84 + 2,73 = -20,11 \text{ kNm}$	$16,57 + 3,54 = 20,11 \text{ kNm}$	0

Tabel G5: Cross-iteratie

Om de wapening nu te bepalen zijn enkel de momenten in UGT-B van belang. Als het gereduceerd moment gekend is, kan via interpolatie uit de tabel voor ontwerpberekening (Appendix B) ζ worden gehaald.

$$\begin{aligned}\mu_{d,veld\ voet} &= \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \\ &= \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}} \\ &= \frac{15,89 \cdot 10^6}{1000 \cdot 260^2 \cdot 0,85 \cdot \frac{45}{1,5}} \\ &= 0,009 \quad \Rightarrow \zeta = 0,986\end{aligned}$$

$$\text{met } d = h - c - \frac{\emptyset}{2} = 300 - 35 - \frac{10}{2} = 260 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\mu_{d,inkl} &= \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \\ &= \frac{M}{b \cdot d^2 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5}} \\ &= \frac{48,45 \cdot 10^6}{1000 \cdot 260^2 \cdot 0,85 \cdot \frac{45}{1,5}} \\ &= 0,028 \quad \Rightarrow \zeta = 0,975\end{aligned}$$

Na de interpolatie kan de wapeningsoppervlakte berekend worden. Dit gebeurt zowel voor het inklemmingsmoment als het veldmoment in de voet.

$$\begin{aligned}A_{s,veld\ voet} &= \frac{M}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \\ &= \frac{15,89 \cdot 10^6}{0,986 \cdot 260 \cdot \frac{500}{1,15}} \\ &= 142,56 \text{ mm}^2 < A_{s,min}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow A_{s,veld\ voet} = A_{s,min} = 513,14 \text{ mm}^2 = \emptyset 10/10/150/150$$

$$\begin{aligned}
A_{s,inkl} &= \frac{M}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} \\
&= \frac{48,45 \cdot 10^6}{0,975 \cdot 260 \cdot \frac{500}{1,15}} \\
&= 439,45 \text{ mm}^2 < A_{s,min}
\end{aligned}$$

$$\Rightarrow A_{s,inkl} = A_{s,min} = 513,14 \text{ mm}^2 = \emptyset 10 \text{ à } 150$$

4.3 Dwarskrachtwapening

Dwarskrachtwapening is enkel nodig wanneer $V_{Ed} > V_{Rd,req}$.

Voet

$$\begin{aligned}
V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \\
&= [0,12 \cdot 1,88 \cdot (100 \cdot 0,0020 \cdot 45)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 260 \\
&= 121,28 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

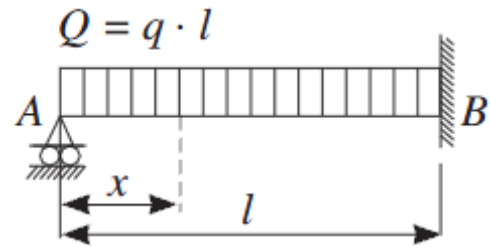
$$\begin{aligned}
\text{met } C_{Rd,c} &= \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \\
k &= 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{260}} = 1,88 \leq 2,0 \\
\rho_l &= \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{513,14}{1000 \cdot 260} = 0,0020 \leq 0,02 \\
k_1 &= 0,15 \\
\sigma_{cp} &= \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \\
b_w &= 1000
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{Rd,c,min} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \\
&= (0,61 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 260 \\
&= 157,36 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\text{met } v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 45^{1/2} = 0,61$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,req} &= \max(V_{Rd,c}; V_{Rd,c,min}) \\
 &= \max(121,28; 157,36) \\
 &= 157,36 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Ed} &= q \cdot l \cdot \left(\frac{3}{8} - \frac{x}{l}\right) \\
 &= (1,35 \cdot 41,40 \cdot 1,7 + 1,5 \cdot 14,98 \cdot 1,7) \cdot \left(\frac{3}{8} - \frac{1,7}{1,7}\right) \\
 &= 83,11 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Figuur G4: Dwarskracht

$$V_{Ed} = 83,11 \text{ kN/m} < V_{Rd,req} = 157,36 \text{ kN/m}$$

Er kan dus besloten worden dat er geen dwarskrachtwapening nodig is. Indien er toch dwarskrachtwapening nodig is kan dat op onderstaande wijze berekend worden.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

$$\begin{aligned}
 \text{met } z &= 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 260 = 234 \text{ mm} \\
 f_{ywd} &= \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ N/mm}^2 \\
 \cot \theta &= \cot 45^\circ = 1
 \end{aligned}$$

Via de berekende verhouding kan in appendix C de dwarskrachtwapening bepaald worden.

Wand

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,c} &= [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \\
 &= [0,12 \cdot 1,88 \cdot (100 \cdot 0,0013 \cdot 45)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot 1000 \cdot 260 \\
 &= 105,38 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{met } C_{Rd,c} &= \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \\ k &= 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{260}} = 1,88 \leq 2,0 \\ \rho_l &= \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{335}{1000 \cdot 260} = 0,0013 \leq 0,02 \\ k_1 &= 0,15 \\ \sigma_{cp} &= \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0 \\ b_w &= 1000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,c,min} &= (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \\ &= (0,61 + 0,15 \cdot 0) \cdot 1000 \cdot 260 \\ &= 157,36 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{met } v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,88^{3/2} \cdot 45^{1/2} = 0,61$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,req} &= \max(V_{Rd,c}; V_{Rd,c,min}) \\ &= \max(105,38; 157,36) \\ &= 157,36 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= q \cdot l \\ &= \frac{1,35 \cdot 15,60 \cdot 2,3}{2} + 1,5 \cdot 21,79 \\ &= 56,90 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$V_{Ed} = 56,90 \text{ kN/m} < V_{Rd,req} = 157,36 \text{ kN/m}$$

4.4 Verankeringslengte

Uiterst opneembare aanhechtspanning

$$\begin{aligned} f_{bd} &= 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \\ &= 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,8 \\ &= 4,05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{met } \eta_1 &= 1,0 \\ \eta_2 &= 1,0 (\emptyset \leq 32 \text{ mm}) \\ f_{ctd} &= \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 2,7}{1,5} = 1,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Basisverankeringslengte

$$\begin{aligned}l_{b,rqd} &= \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \\ &= \frac{10}{4} \cdot \frac{389,63}{4,05} \\ &= 240,41 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{met } \sigma_{sd} &= \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(d - \frac{x_p}{3}\right)} \\ \sigma_{sd} &= \frac{48,45 \cdot 10^6}{513,14 \cdot \left(260 - \frac{53,01}{3}\right)} \\ \sigma_{sd} &= 389,63 \text{ N/mm}^2 \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Rekenwaarde van de verankeringslengte

De vereenvoudigde formule wordt gebruikt om de verankeringslengte te bepalen. De waarden van de coëfficiënten is te vinden in appendix E.

$$\begin{aligned}l_{b,eq} &= \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} \\ &= 0,7 \cdot 240,41 \\ &= 168,29 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{met } \alpha_1 = 0,7 \quad \text{want } c_d = 35 > 3 \cdot \emptyset = 3 \cdot 10 = 30$$

$$\begin{aligned}l_{b,eq} &\geq l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 240,51 = 72,15 ; 10 \cdot 10 = 100 ; 100 \text{ mm}) \\ &= 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$l_{b,eq} = 168,29 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

$$\begin{aligned}l_0 &= \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ &= 0,7 \cdot 0,925 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 240,41 \\ &= 217,94 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{met } \alpha_1 &= 0,7 \quad \text{want } c_d = 35 > 3 \cdot \varnothing = 3 \cdot 10 = 30 \\ \alpha_2 &= 1 - \frac{0,15 \cdot (c_d - 3 \cdot \varnothing)}{\varnothing} = 1 - \frac{0,15 \cdot (35 - 3 \cdot 10)}{10} = 0,925 \\ \alpha_3 &= 1 - K \cdot \lambda = 1 \\ \alpha_5 &= 1 \\ \alpha_6 &= 1,4\end{aligned}$$

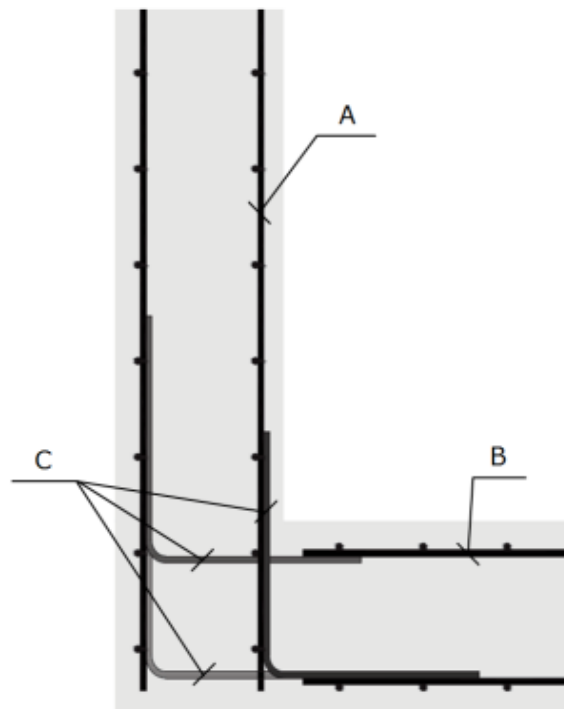
$$\begin{aligned}l_0 \geq l_{0,min} &= \max(0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} ; 15 \cdot \varnothing ; 200 \text{ mm}) \\ &= \max(0,3 \cdot 1,4 \cdot 240,41 = 100,97 ; 15 \cdot 10 = 150 ; 200 \text{ mm}) \\ &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$l_0 = 217,94 \text{ mm}$$

4.5 Wapeningsplan

De berekende wapening wordt dan volgens het wapeningsplan (Figuur G5) in de mal geplaatst waarna het beton gestort kan worden.

- A = Wandwapening
= $\varnothing 10/10/150/150$
- B = Voetwapening
= $\varnothing 10/10/150/150$
- C = Inklemmingswapening
= $\varnothing 10 \text{ à } 150$



Figuur G5: Wapeningsplan

5 Controles in GGT-K

5.1 Betondruksterkte

$$\begin{aligned}\sigma_{c,veld\ voet} &= \frac{2 \cdot m_{sd} \cdot 10^6}{b \cdot x_v \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \\ &= \frac{2 \cdot 11,44 \cdot 10^6}{1000 \cdot 53,01 \cdot \left(260 - \frac{53,01}{3}\right)} \\ &= 1,78 \text{ N/mm}^2 \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{c,inkl} &= \frac{2 \cdot m_{sd} \cdot 10^6}{b \cdot x_v \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \\ &= \frac{2 \cdot 33,73 \cdot 10^6}{1000 \cdot 53,01 \cdot \left(260 - \frac{53,01}{3}\right)} \\ &= 5,25 \text{ N/mm}^2 \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

5.2 Staaltreksterkte

$$\begin{aligned}\sigma_{s,veld\ voet} &= \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \\ &= \frac{11,44 \cdot 10^6}{513,14 \cdot \left(260 - \frac{53,01}{3}\right)} \\ &= 92,00 \text{ N/mm}^2 \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{s,inkl} &= \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(d - \frac{x_v}{3}\right)} \\ &= \frac{33,73 \cdot 10^6}{514,13 \cdot \left(260 - \frac{53,01}{3}\right)} \\ &= 271,13 \text{ N/mm}^2 \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

6 Controles in GGT-Q

6.1 Scheurwijdte

Voet

$$\rho_{P,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{513,14}{82329} = 0,0062$$

$$\text{met } A_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \cdot (h - d) \\ (h - x_v)/3 \\ h/2 \end{array} \right\} \times b = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \cdot (300 - 260) \\ (300 - 53,01)/3 \\ 300/2 \end{array} \right\} \times 1000 = 82329 \text{ mm}^2$$

$$\text{met } x_v = \frac{-\alpha_e \cdot A_s}{b} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_e \cdot A_s}{b}\right)^2 + 2 \cdot \alpha_e \cdot \frac{d \cdot A_s}{b}}$$
$$x_v = \frac{-13,23 \cdot 513,14}{1000} + \sqrt{\left(\frac{13,23 \cdot 513,14}{1000}\right)^2 + 2 \cdot 13,23 \cdot \frac{260 \cdot 513,14}{1000}} = 53,01 \text{ mm}$$

$$\text{met } \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{E_s}{22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}} \cdot (1 + \varphi)$$
$$\alpha_e = \frac{200000}{22000 \cdot \left(\frac{45 + 8}{10}\right)^{0,3}} \cdot (1 + 1,4) = 13,23$$

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{P,eff}} = 3,4 \cdot 35 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{10}{0,0062} = 391,75 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00032 - 0,0013 = -0,00010 \geq 0,6 \cdot \varepsilon_{sm} = 0,6 \cdot 0,00032 = 0,00019$$

$$\text{met } \varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{64,33}{200000} = 0,00032$$

$$\text{met } \sigma_s = \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(h - \frac{x_v}{3}\right)} = \frac{9,32 \cdot 10^6}{513,14 \cdot \left(300 - \frac{53,01}{3}\right)} = 64,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{met } \varepsilon_{cm} = \frac{k_t}{E_s} \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{P,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{P,eff})$$
$$\varepsilon_{cm} = \frac{0,4}{200000} \cdot \frac{3,8}{0,0062} \cdot (1 + 13,23 \cdot 0,0062) = 0,0013$$

$$\text{met } f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 45^{2/3} = 3,8$$

$$w_k = 0,3 \geq S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 391,75 \cdot (0,00019) = 0,076 \text{ mm}$$

Inklemming

De scheurwijdte voor de inklemming wordt op dezelfde manier berekend.

$$\rho_{P,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{513,14}{82329} = 0,0062$$

$$\text{met } A_{c,eff} = \min \begin{cases} 2,5 \cdot (h - d) \\ (h - x_v)/3 \\ h/2 \end{cases} \times b = \min \begin{cases} 2,5 \cdot (300 - 260) \\ (300 - 53,01)/3 \\ 300/2 \end{cases} \times 1000 = 82329 \text{ mm}^2$$

$$\text{met } x_v = \frac{-\alpha_e \cdot A_s}{b} + \sqrt{\left(\frac{\alpha_e \cdot A_s}{b}\right)^2 + 2 \cdot \alpha_e \cdot \frac{d \cdot A_s}{b}}$$
$$x_v = \frac{-13,23 \cdot 513,14}{1000} + \sqrt{\left(\frac{13,23 \cdot 513,14}{1000}\right)^2 + 2 \cdot 13,23 \cdot \frac{260 \cdot 513,14}{1000}} = 53,01 \text{ mm}$$

$$\text{met } \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{E_s}{22000 \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10}\right)^{0,3}} \cdot (1 + \varphi)$$
$$\alpha_e = \frac{200000}{22000 \cdot \left(\frac{45 + 8}{10}\right)^{0,3}} \cdot (1 + 1,4) = 13,23$$

$$S_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{P,eff}} = 3,4 \cdot 35 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{10}{0,0062} = 388,45 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00069 - 0,0013 = -0,00062 \geq 0,6 \cdot \varepsilon_{sm} = 0,6 \cdot 0,00069 = 0,00041$$

$$\text{met } \varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{138,81}{200000} = 0,00069$$

$$\text{met } \sigma_s = \frac{m_{sd} \cdot 10^6}{A_s \cdot \left(h - \frac{x_v}{3}\right)} = \frac{20,11 \cdot 10^6}{513,14 \cdot \left(300 - \frac{53,01}{3}\right)} = 138,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{met } \varepsilon_{cm} = \frac{k_t \cdot f_{ct,eff}}{E_s \cdot \rho_{P,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{P,eff})$$
$$\varepsilon_{cm} = \frac{0,4}{200000} \cdot \frac{3,8}{0,0062} \cdot (1 + 13,23 \cdot 0,0062) = 0,0013$$

$$\text{met } f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0,3 \cdot 45^{2/3} = 3,8$$

$$w_k = 0,3 \geq S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 388,45 \cdot (0,00041) = 0,16 \text{ mm}$$

6.2 Doorbuiging

Voet

$$\begin{aligned}\Delta l &= \frac{q \cdot l^4}{185 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{[(1,0 \cdot 0,300 \cdot 25 + 1,0 \cdot 41,40 + 0,3 \cdot 1,0 \cdot 14,89) \cdot 10^{-3}] \cdot 2000^4}{185 \cdot 36000 \cdot \frac{1000 \cdot 300^3}{12}} \\ &= 56,98 \cdot 10^{-6} \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{2000}{250} = 8 \text{ mm}\end{aligned}$$


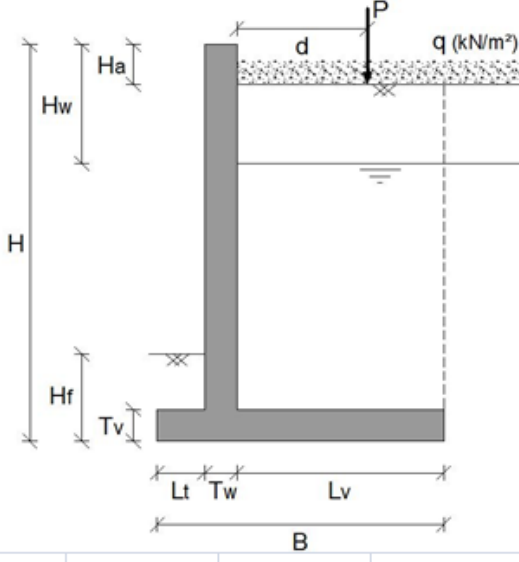
met $E = E_{cm} = 36000 \text{ N/mm}^2$ (Appendix D)

Wand

$$\begin{aligned}\Delta l_{gr} &= \frac{q \cdot l^4}{30 \cdot E \cdot I} \\ &= \frac{(1,0 \cdot 15,60 \cdot 10^{-3}) \cdot 2600^4}{30 \cdot 36000 \cdot \frac{1000 \cdot 300^3}{12}} \\ &= 0,00029 \text{ mm} \\ \Delta l_{vk} &= \frac{P \cdot a^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot l - a) \\ &= \frac{(0,3 \cdot 1,0 \cdot 21,79 \cdot 10^{-3}) \cdot (2600 - 910)^2}{6 \cdot 36000 \cdot \frac{1000 \cdot 300^3}{12}} \cdot [3 \cdot 2600 - (2600 - 910)] \\ &= 0,23 \cdot 10^{-6} \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta l_{wand} &= \Delta l_{gr} + \Delta l_{vk} \\ &= 0,00029 + 0,23 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,00029 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{2600}{250} = 10,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Appendix H: Excel-werkblad

			
BEREKENING KEERMUUR			
A. Normen			
NBN EN 1990 - Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp			
NBN EN 1991-1-1 - Eurocode 1 - Belastingen op constructies			
NBN EN 1992-1-1 ANB - Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies			
NBN EN 1997-1 - Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels			
PTV 100			
Standaardbestek 250			
B. Geometrie keermuur			
H	2,6	▼	m
B	2,0	▼	m
T _v	0,300	▼	m
T _w	0,300	▼	m
L _v	1,700		m
L _t	0,000		m
d	1,50		m
H _a	0,00		m
H _f	0,00		m
H _w	3,00		m (-mv)
			
C. Omgevingsvariabelen			
<u>Materiaal kenmerken</u>			
Grond droog (γ_{dr})			18 kN/m ³
Grond nat (γ_n)			20 kN/m ³
Grondwater (γ_w)			10 kN/m ³
Eff. volumegewicht (γ')			10 kN/m ³
Gewapend beton (γ_k)			25 kN/m ³
<u>Grondmechanische kenmerken</u>			
Kritische wrijvingshoek (φ)			30 °
Actieve gronddrukcoëfficiënt (K_a)			0,33
Passieve gronddrukcoëfficiënt (K_p)			3,00
Wrijvingshoek (δ)			20 °
Cohesie (c)			5 kPa
Poissoncoëff. (ν)			0,2
Kruipfactor			1,4
<u>Lasten</u>			
Overlast op maaiveld (q)	nvt	▼	kN/m ²
Verkeersklasse (P)	D 400	▼	kN
			LET OP! Kunnen niet gelijktijdig plaatsvinden

BEREKENING KEERMUUR

Materiaal

Beton	C45/55
Elasticiteitsmodulus beton	36000 N/mm ²
Staal	S500
Nominale dekking	35 mm
Diamater wapening	10 mm
Nuttige hoogte (d_1)	260 mm

D. Belastingen

Verticale belasting

Keermuur

Eigengewicht wand ($G_{k,w}$)	17,25 kN/m
Eigengewicht voet ($G_{k,v}$)	15,00 kN/m

Grond

Eigengewicht grond ($g_{k,gr}$)	41,40 kN/m ²
Eigengewicht grond ($G_{k,gr}$)	70,38 kN/m

Overlast op maaiveld

Vert. belasting overlast ($q_{k,ov}$)	0 kN/m ²
Vert. belasting overlast ($Q_{k,ov}$)	0 kN/m

Verkeerslast

Vert. belasting verkeerslast ($q_{k,vk}$)	14,89 kN/m ²
Vert. belasting verkeerslast ($Q_{k,vk}$)	25,30 kN/m

Horizontale belasting

Grond

Horizontale gronddruk ($g_{k,gr\ hor}$)	15,60 kN/m ²
=> $G_{k,gr\ hor}$	20,28 kN/m

Grondwater

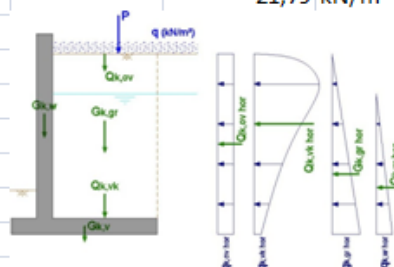
Horizontale grondwaterdruk ($q_{k,gw\ hor}$)	0,00 kN/m ²
=> $Q_{k,gw\ hor}$	0,00 kN/m

Overlast op maaiveld

Hor. belasting overlast ($q_{k,ov\ hor}$)	0,00 kN/m ²
=> $Q_{k,ov\ hor}$	0,00 kN/m

Verkeerslast

Hor. bel. verkeerslast max.	15,37 kN/m ²	
Hor. bel. verkeerslast op diepte 2,3 m	3,57 kN/m ²	
=> $Q_{k,vk\ hor}$	21,79 kN/m	met $zwp_{vk} (-mv)$ 0,91



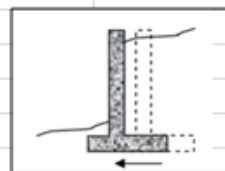
BEREKENING KEERMUUR

E. Controleberekeningen

Afschuiving

Schuifkracht

Horizontale gronddruk	20,28 kN	
Horizontale grondwaterdruk	0,00 kN	
Overlast op maaiveld	0,00 kN	
Verkeerslast	21,79 kN	+
	42,07 kN	



Weerstand tegen schuiven

Eigengewicht keermuur	32,25 kN	
Eigengewicht grond	70,38 kN	
Overlast op maaiveld	0,00 kN	
Verkeerslast	25,30 kN	
Tegendruk voorkant	0,00 kN	+
	46,56 kN	

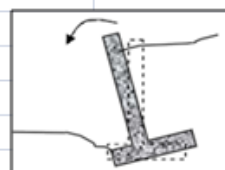
Veiligheidsfactor tegen schuiven

SF $\geq 1,1$	1,11
---------------	------

Kanteleevenwicht

Kantelmoment

Horizontale gronddruk	17,58 kNm	
Horizontale grondwaterdruk	0,00 kNm	
Overlast op maaiveld	0,00 kNm	
Verkeerslast	36,79 kNm	+
	54,37 kNm	



Weerstand tegen kantelen

Eigengewicht keermuur	17,59 kNm	
Eigengewicht grond	80,94 kNm	
Overlast op maaiveld	0,00 kNm	
Verkeerslast	29,10 kNm	+
	127,63 kNm	

Veiligheidsfactor tegen kantelen

SF $\geq 1,2$	2,35
---------------	------

F. Kritische momenten

	UGT-B	GGT-K	GGT-Q	
$M_{inkl. \text{ wand}}$	-63,95	-44,01	-22,83	kNm/m
$M_{inkl. \text{ voet}}$	28,26	20,33	16,57	kNm/m
$M_{inkl.}$	48,43	33,71	20,11	kNm/m
	UGT-B	GGT-K	GGT-Q	
$M_{veld \text{ voet}}$	15,89	11,44	9,32	kNm/m

BEREKENING KEERMUUR

G. Wapeningsberekening

Minimum wapening

Scheurbeheersing

$$A_{s,min 1} = 455,45 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Brosse breuk

$$A_{s,min 2} = 513,14 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$A_{s,min} > 1,3d$

$$A_{s,min 3} = 338 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimumwapening

$$A_{s,min} = \max(A_{s,min 1}; A_{s,min 2}; A_{s,min 3}) = 513,14 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Wapening (UGT-B)

	$A_{s,inkl.}$	$A_{s,veld\ voet}$	$A_{s,veld\ wand}$	
M	48,43	15,89	/	kNm
μ_d	0,028	0,009	/	
ζ	0,975	0,986	/	
A_s	439,45	142,64	513,14	mm ² /m
$A_s > A_{s,min} ?$	513,14	513,14	513,14	mm ² /m
Staven/m	Ø8 à 150	Ø10/10/150/150	Ø10/10/150/150	

Dwarskrachtwapening (UGT-B)

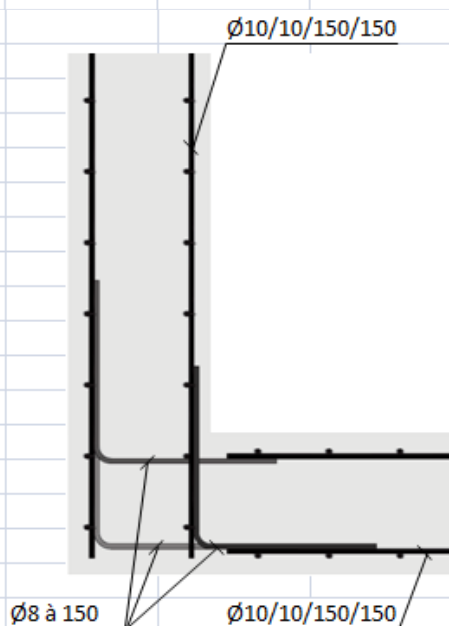
	Wand	Voet	
V_{Ed}	56,90	83,11	kN/m
$V_{Rd,c}$	121,28	121,28	kN/m
$V_{Rd,c,min}$	156,99		kN/m
$V_{Rd,req}$	156,99	156,99	kN/m
A_{sw}/s	nvt	nvt	mm ² /mm
A_{sw}	nvt	nvt	mm ²
Staven/m	nvt	nvt	


Verankeringslengte

f_{bd}	4,05 N/mm ²
$l_{b,reqd}$	192,33 mm
$l_{b,eq}$	134,63 mm
$l_{b,min}$	100 mm
l_b	134,63 mm

Overlappingslengte

l_o	200,00 mm
-------	-----------

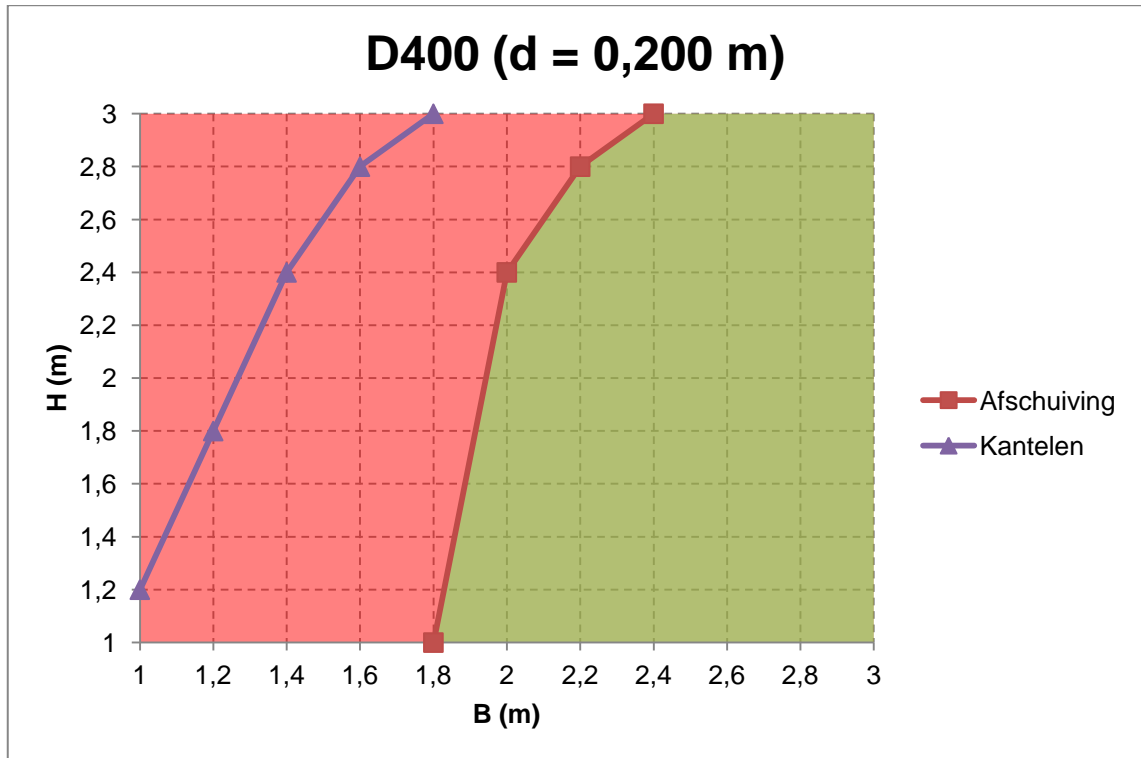


			
BEREKENING KEERMUUR			
<u>Betondruksterkte (GGT-K)</u>			
$\sigma_{c,inkl.}$	5,25	N/mm ²	
$\sigma_{c,veld\ voet}$	1,78	N/mm ²	
$\sigma_{c,max} (= 0,6 \cdot f_{ck})$	27	N/mm ²	
<u>Staal treksterkte (GGT-K)</u>			
$\sigma_{s,inkl.}$	271,13	N/mm ²	
$\sigma_{s,veld\ voet}$	91,98	N/mm ²	
$\sigma_{s,max} (= 0,8 \cdot f_{yk})$	400	N/mm ²	
<u>Scheurwijdte (GGT-Q)</u>			
$w_{k,inkl.}$	0,14		
$w_{k,veld\ voet}$	0,08		
$w_{k,max}$	0,30		
<u>Doorbuiging (GGT-Q)</u>			
	Wand	Voet	
δ	0,00029	0,00006	mm
$\delta_{max} (L/250)$	10,4	8	mm

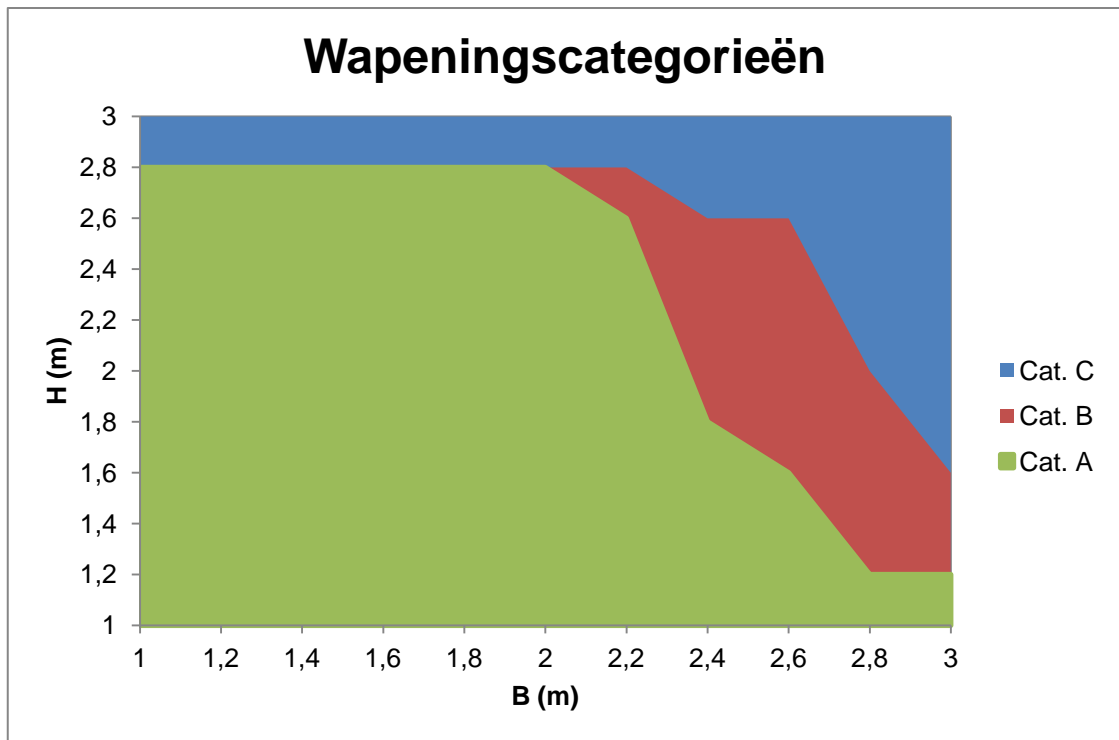
Hierboven werd het Excel-werkblad weergegeven. In het werkblad moeten eerst de verschillende geometrische kenmerken, belastingen en grondmechanische kenmerken gekozen worden. Daarna worden horizontale- en verticale belastingen, controleberekeningen, momenten, wapening en controles in GGT-Q en GGT-K automatisch bepaald.

Appendix I: Wapeningstabellen en grafieken

1 D400 (d = 200 mm)

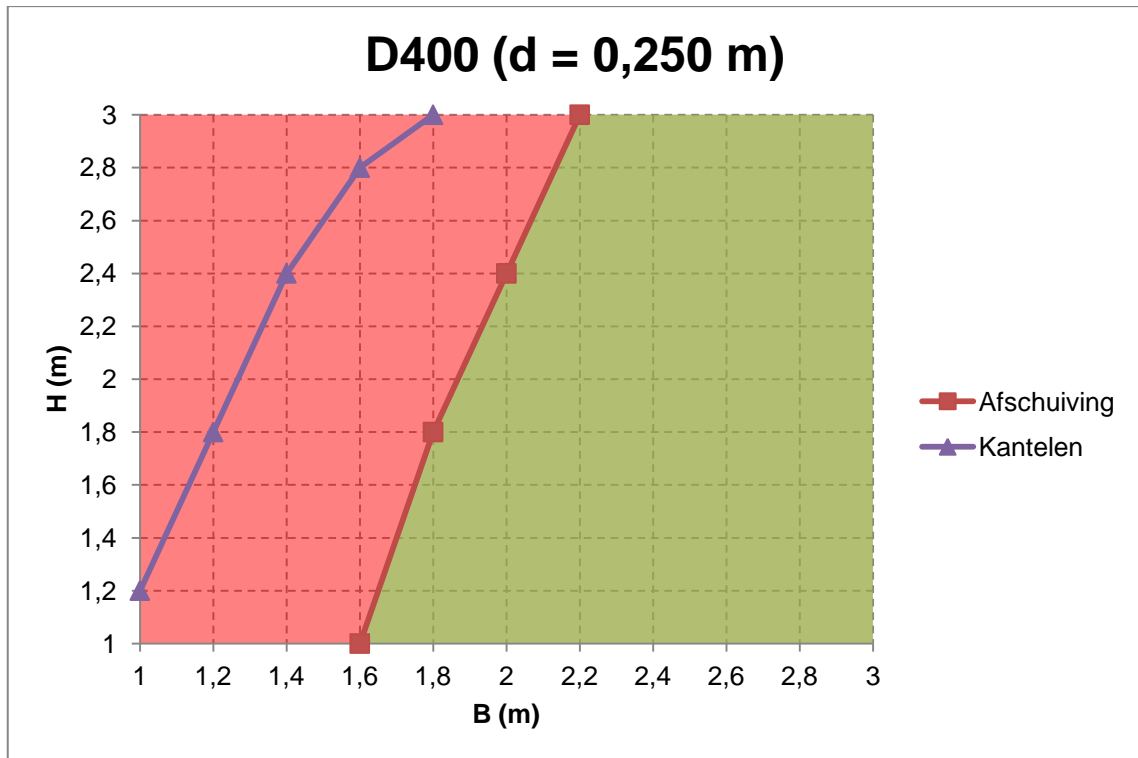


3,0	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C
2,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. C	Cat. C	Cat. C	Cat. C
2,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. B	Cat. C
1,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C
1,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B
1,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B
1,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
1,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
H/B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0



Categorie A	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 150 • $A_{s,voet}$ Ø8/8/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150
Categorie B	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100 • $A_{s,voet}$ Ø8/8/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150
Categorie C	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100 • $A_{s,voet}$ Ø12/12/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150

2 D400 (d = 250 mm)



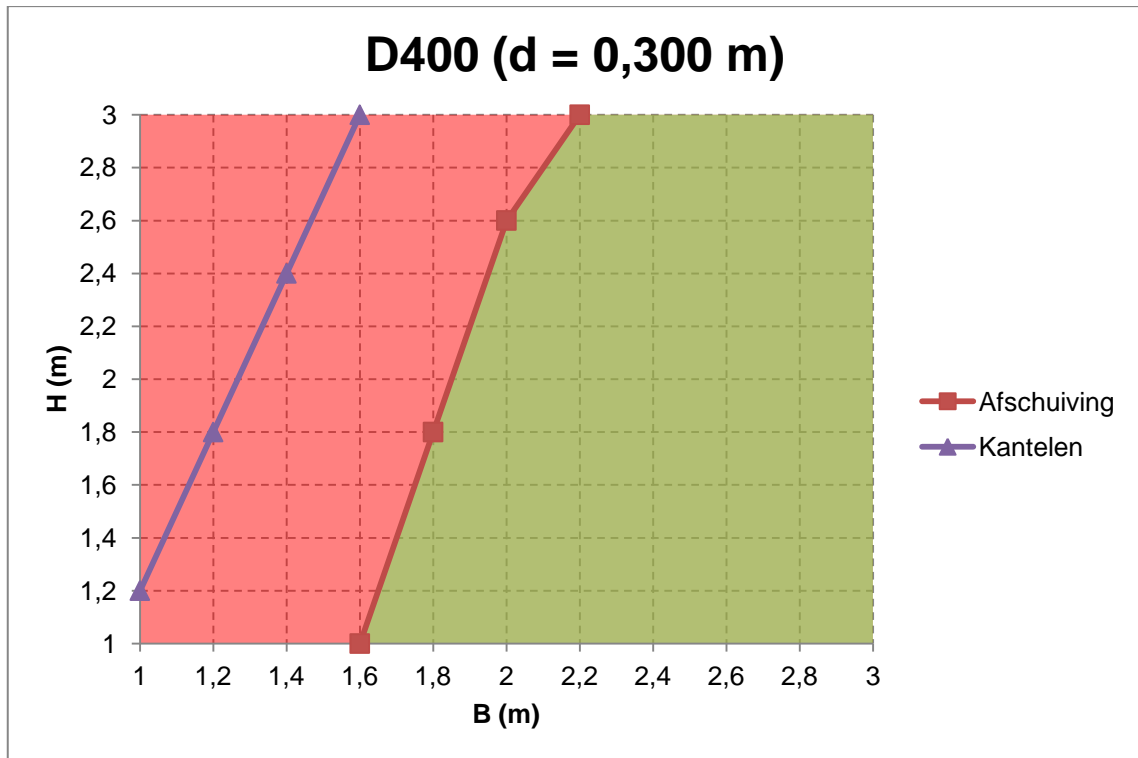
Na het principe te hebben toegepast van 4.1 van deel III komen we tot de conclusie dat elke wapening constant is. De wapening voor deze keermuur wordt dan:

$$A_{s,wand} = \emptyset 8/8/100/100$$

$$A_{s,voet} = \emptyset 8/8/100/100$$

$$A_{s,inkl} = \emptyset 8 \text{ à } 150$$

3 D400 (d = 300 mm)



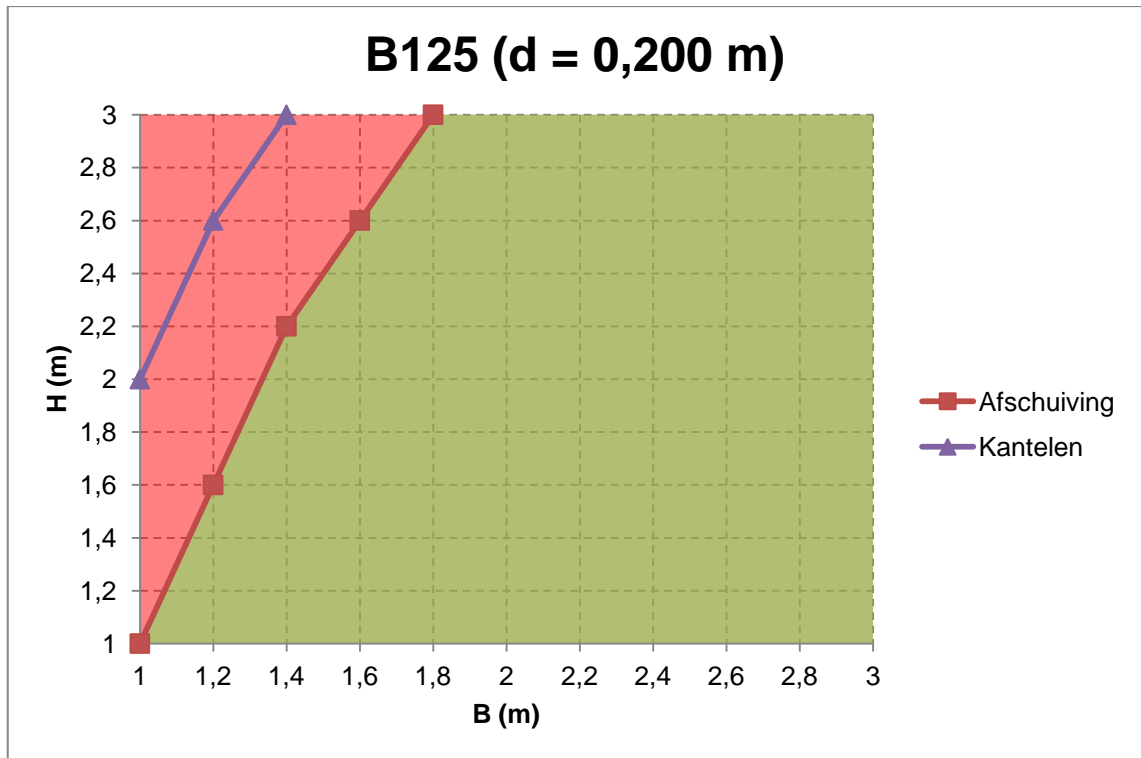
Na het principe te hebben toegepast van 4.1 van deel III komen we tot de conclusie dat elke wapening constant is. De wapening voor deze keermuur wordt dan:

$$A_{s,wand} = \text{Ø}10/10/150/150$$

$$A_{s,voet} = \text{Ø}10/10/150/150$$

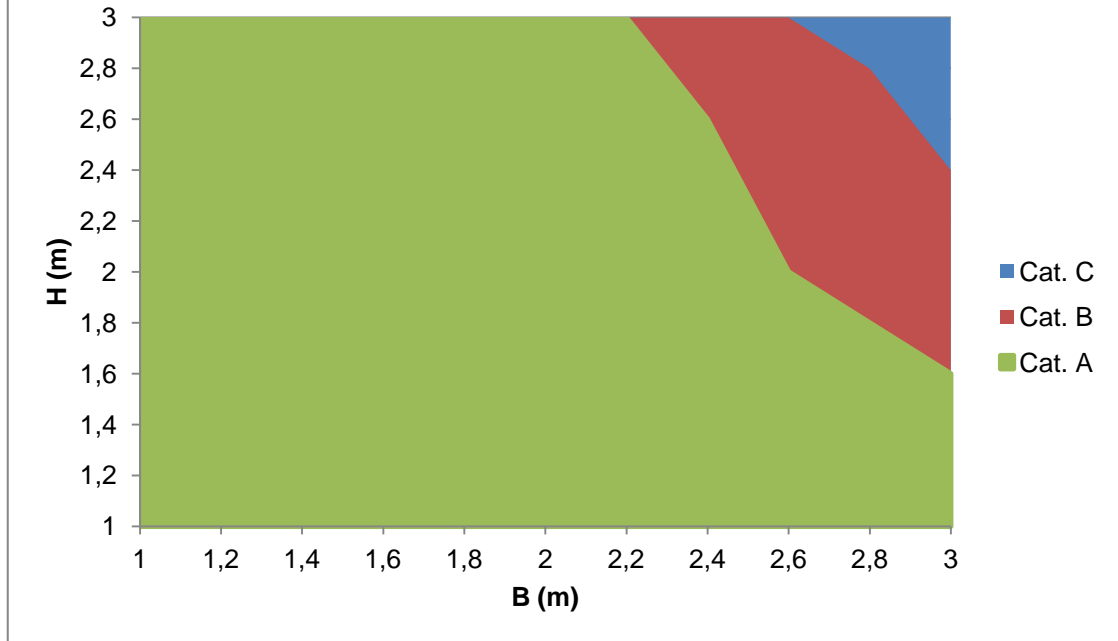
$$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$$

4 B125 (d = 200 mm)



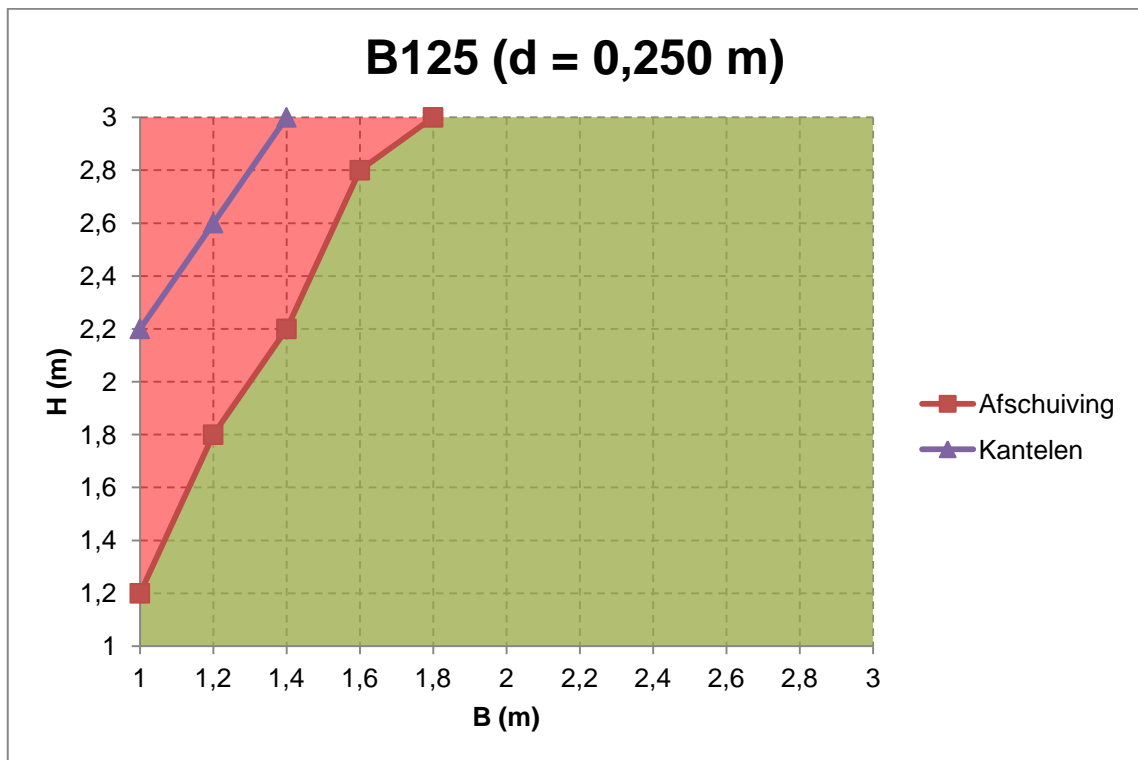
3,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C	Cat. C
2,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. B	Cat. C
2,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. C
2,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. B
2,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B	Cat. B
2,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B	Cat. B
1,8	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. B
1,6	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
1,4	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
1,2	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
1,0	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A	Cat. A
H/B	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0

Wapeningscategorieën



Categorie A	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 150 • $A_{s,voet}$ Ø8/8/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150
Categorie B	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100 • $A_{s,voet}$ Ø8/8/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150
Categorie C	<ul style="list-style-type: none"> • $A_{s,inkl}$ Ø8 à 100 • $A_{s,voet}$ Ø12/12/150/150 • $A_{s,wand}$ Ø8/8/150/150

5 B125 (d = 250 mm)



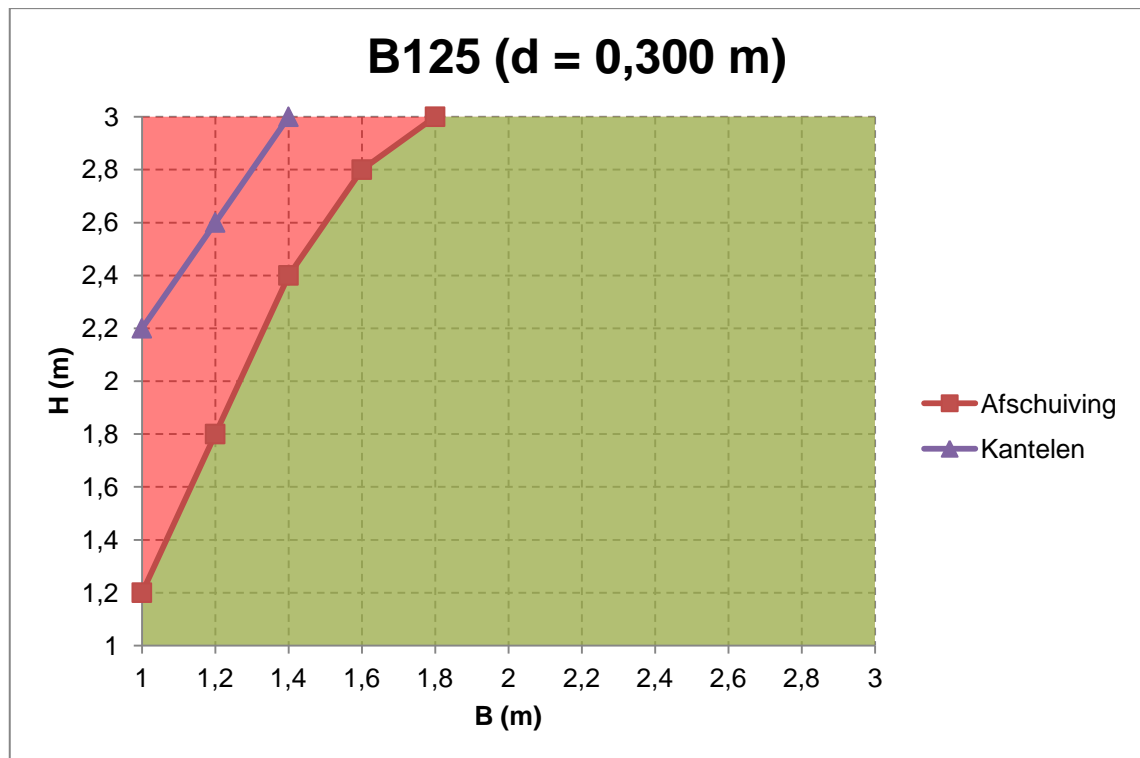
Na het principe te hebben toegepast van 4.1 van deel III komen we tot de conclusie dat elke wapening constant is. De wapening voor deze keermuur wordt dan:

$$A_{s,wand} = \text{Ø}8/8/100/100$$

$$A_{s,voet} = \text{Ø}8/8/100/100$$

$$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$$

6 B125 (d = 300 mm)



Na het principe te hebben toegepast van 4.1 van deel III komen we tot de conclusie dat elke wapening constant is. De wapening voor deze keermuur wordt dan:

$$A_{s,wand} = \text{Ø}10/10/150/150$$

$$A_{s,voet} = \text{Ø}10/10/150/150$$

$$A_{s,inkl} = \text{Ø}8 \text{ à } 150$$

Bibliografie

De Proft, K. (s.d.). *Cursus Sterkteleer I (2ABA Bouwkunde)*. Diepenbeek: Xios Hogeschool Limburg.

De Proft, K. (s.d.). *Cursus Sterkteleer II (3ABA Bouwkunde)*. Diepenbeek: Xios Hogeschool Limburg.

De Smedt, F. (2010). *Grondmechanica*. Brussel: Vrije Universiteit Brussel.

Freund, R. (2014). <http://howtoengineer.com/offset-surcharge-elastic-methods/>. Terugggevonden op howtoengineer.com.

NBN 1991-1-1 ANB, Eurocode 1 - Belastingen op constructies - Deel 1-1 : Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen. (2007). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN A 24-302, Staalproducten-Betonstaal - Gladde en geribde staven, Gladde en geribde walsdraad. (1986).

NBN EN 124, Roosters en deksels voor putten en kolken voor verkeersgebieden - Eisen, typebeproeving, markering en kwaliteitsbeheersing. (1994).
Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN EN 1990, Eurocode - Grondslagen van het constructief ontwerp. (2002).
Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN EN 1991-1-1, Eurocode 1 - Belastingen op constructies - Deel 1-1 : Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen. (2002). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN EN 1992-1-1 ANB. (2010). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen. (2005). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN EN 1997-1, Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regel (éd. 1e uitgave, Vol. Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels). (2005). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN-B 21-101, Nationale aanvulling bij NBN-EN 1917. (2004). Brussel: Belgisch instituut voor normalisatie.

NBN-EN 15258, Geprefabriceerde betonproducten - Keermuurelementen. (2009). Brussel: Bureau voor normalisatie.

NBN-EN 1917, Toegangs- en verbindingssputten van ongewapend beton, van staalvezelbeton en van gewapend beton. (2002). Brussel: Bureau voor normalisatie.

PTV 304, Gewapend betonstaal - Gelaste wapeningsnetten. (2009). Brussel: Organisme voor de Controle van Betonstaal.

Standaardbestek 250. (2012). Agentschap wegen en verkeer.

Vanmoorsel, M. (s.d.). *Wegenbouw*. Diepenbeek: Xios Hogeschool Limburg.

Vantomme, J. (1999). *Berekening van betonconstructies*. Brussel: Vrije Universiteit Brussel.

Walraven, J. (1995). *Gewapend beton*.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Rekennota keermuren

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Vanderheiden, Dieter

Datum: **23/01/2014**