

Duurzaamheid van damwanden

Hanna Blom
7 juni 2010



Afstudeerscriptie

Versie: Definitief

Student:

Naam: Hanna Blom

Opleiding: Bouwkunde

Afstudeerrichting: Constructies

IBU Stadsingenieurs, Gemeente Utrecht:

Begeleider: Simon Baars

Hogeschool Utrecht

1^e begeleider: Geert Daams

2^e begeleider: Jeroen Mens

Voorwoord

In het kader van mijn studie Bouwkunde heb ik onderzoek gedaan naar de duurzaamheid van damwanden. Dit onderzoek is verricht van februari tot en met juni 2010 bij IBU Stadsingenieurs, groep Bouwtechniek & Constructies van de Gemeente Utrecht.

Milieuaspecten worden steeds belangrijker in de keuze overwegingen voor een bepaald materiaal, waardoor een onderzoek naar duurzaamheid van damwanden welkom is.

De duurzaamheid is in dit onderzoek beperkt tot de CO₂ uitstoot vanaf het moment van produceren van damwandprofielen tot en met het einde van de levensduur van de damwandconstructie. Ondanks dat er veel gesproken wordt over het beperken van CO₂-uitstoot zijn er nog niet veel cijfers bekend.

Ik wil hierbij iedereen bedanken die in meer of mindere mate heeft bijgedragen aan het tot stand komen van deze scriptie. In het bijzonder wil ik mijn in- en externe begeleiders Geert Daams, Jeroen Mens en Simon Baars bedanken. Zij kwamen met vragen en aanvullingen, waardoor ik diepgang kreeg in mijn onderzoek. Daarnaast wil ik Huub Vermeij en Ursula Backhausen danken voor het wegwijs maken in de grondmechanica en berekeningen. Verder wil ik al mijn collega's, familie en vrienden bedanken voor de interesse en steun in mijn afstudeeronderzoek.

Hanna Blom
Utrecht, 7 juni 2010

In het kader van duurzaamheid is deze scriptie dubbelzijdig afgedrukt.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING 7

1 INLEIDING 9

- 1.1 Organisatie 9
- 1.2 Ambitie 9
- 1.3 Leeswijzer 9

2 DUURZAAMHEID 11

- 2.1 Visies 11
- 2.2 Programma's 11
- 2.3 Keuze 12

3 DAMWAND 13

- 3.1 Staal 13
- 3.2 Beton 16
- 3.3 Hout 18
- 3.4 Kunststof 20

4 VARIANTEN BEREKENING 22

- 4.1 Varianten 22
- 4.2 Uitwerking 25

5 CO₂-UITSTOOT 26

- 5.1 Uitgangspunten 26
- 5.2 Onzekerheden 32
- 5.3 Resultaat 33

6 CONCLUSIE 39

- 6.1 Kanttekening 40
- 6.2 Aanbevelingen 41

7 BRONNEN 42

8 AFBEELDINGVERANTWOORDING 43

BIJLAGEN

- Bijlage 1 Situaties
- Bijlage 2 Sonderingen
- Bijlage 3 Representatieve waarden voor grondeigenschappen
- Bijlage 4 Interpretatie Sonderingen
- Bijlage 5 Handmatige berekening variant 1a
- Bijlage 6 MSheet berekening variant 1a
- Bijlage 7 CO₂-uitstoot productieproces materialen
- Bijlage 8 CO₂-uitstoot productieproces per variant
- Bijlage 9 CO₂-uitstoot transport
- Bijlage 10 CO₂-uitstoot inbrengen
- Bijlage 11 CO₂-uitstoot totaal

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Hogeschool Utrecht en IBU Stadsingenieurs van de Gemeente Utrecht. Het onderzoek heeft als doel een stroomschema te ontwikkelen voor het kiezen van een materiaaltype voor een damwand die het minste CO₂ uitstoot tijdens de gehele levenscyclus.

De gemeente heeft de ambitie in 2030 klimaatneutraal te zijn. Een stap in deze richting is het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot bij de realisatie van projecten in de infrastructuur. Op basis van de uitstoot van CO₂ kan het meest gunstige materiaal gebruikt worden. In dit onderzoek, wat beperkt is tot het ontwerp en het aanbrengen van damwanden, worden de materialen staal, beton, hout en kunststof vergeleken.

Door de ingewonnen gegevens kan er een afweging gemaakt worden tussen de verschillende materialen. Deze afweging is vorm gegeven in een stroomschema. Om tot dit resultaat te komen is begonnen met een literatuuronderzoek voor algemene beschrijvingen van verschillende materialen voor damwanden.

Vanaf de grondstofwinning tot en met het afbraak/hergebruik van de materialen zijn de verschillende stappen in fases onderverdeeld. Aan deze fases zijn CO₂-uitstootgegevens gekoppeld. De gegevens die gebruikt zijn komen van leveranciers en adviseurs. Daarnaast zijn ook de bronnen van CO₂ Desk geraadpleegd. De verschillende bronnen leverden onderling sterk verschillende CO₂-uitstoot gegevens op. Om die reden is er gewerkt met aannamen, die zijn gebaseerd op de verkregen gegevens.

Er wordt veel gesproken over CO₂-uitstoot. In de autobranche is daar veel onderzoek naar gedaan en zijn er veel rapporten beschikbaar. De bouwsector is nog lang niet zo ver. Er zijn wel gegevens beschikbaar, maar deze komen niet overeen met elkaar. In het programma CO₂ Desk wordt gewerkt met waarden die anders zijn dan andere bronnen. Door de verschillende gegevens is het lastig een eenduidige conclusie te trekken.

Het is duidelijk dat er veel wordt gesproken over duurzaamheid in combinatie met de CO₂-uitstoot. Dit begint steeds meer aandacht te krijgen. Op dit moment zijn er nog niet voldoende eenduidige gegevens beschikbaar. Wel is duidelijk dat veel bedrijven en organisaties de uitstoot van CO₂ willen reduceren. De huidige situatie waarop de reductie zou moeten plaats vinden, is echter nog niet in kaart gebracht.

Conclusies

Voor een aantal situaties zijn de verschillende materialen damwanden op CO₂-uitstoot met elkaar vergeleken. Aan de hand van deze uitkomsten is een stroomschema opgesteld voor het kiezen van een bepaald materiaal damwand, op basis van de CO₂-uitstoot.

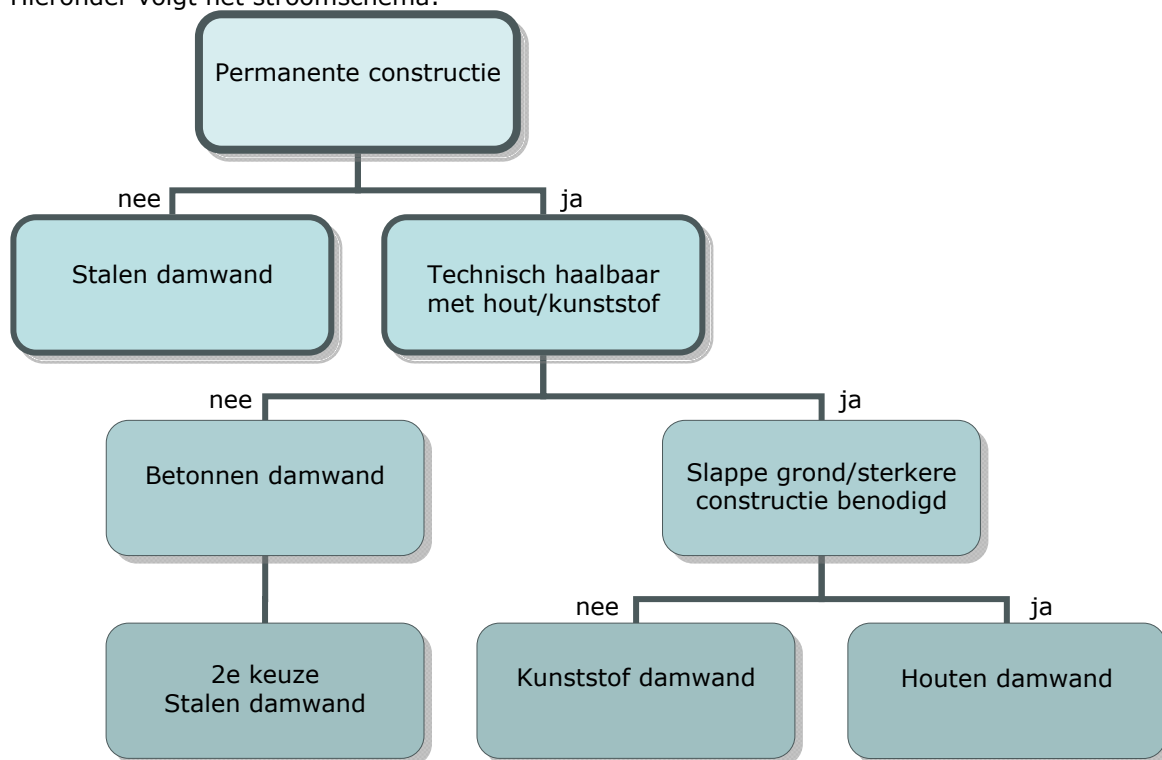
Op het moment dat houten en/of kunststof damwanden toepasbaar zijn in een situatie, dan is de keuze voor deze materialen altijd beter dan stalen en betonnen damwanden. Voor zeer lichte constructies is kunststof de beste keuze, maar voor de 'gewone' lichte constructies is hout de beste keuze. Dit komt doordat kunststof niet sterk is en in verhouding met hout een veel grotere materiaal toename kent, wanneer de constructie zwaarder belast wordt. Hierdoor neemt de uitstoot meer toe.

Voor situaties waar kunststof en houten damwanden niet sterk genoeg zijn, kunnen betonnen en stalen damwanden worden toegepast. Betonnen damwanden hebben de voorkeur met betrekking tot de CO₂-uitstoot.

Stalen damwanden geven tijdens het productieproces veel CO₂-uitstoot. Dit is zoveel dat deze damwanden bij een blijvende constructie in geen enkele situatie de voorkeur verdient. Na stalen damwanden volgen betonnen damwanden. Deze damwanden geven enkele malen minder CO₂-uitstoot dan stalen damwanden. Dit is wel gebaseerd op een vergelijking in een lichte situatie. De kunststof damwanden geven meer uitstoot dan houten damwanden in 'zwaardere' constructies. Het gaat hier om een kerende hoogte van 2 meter in veengrond. Op het moment dat dezelfde hoogte gekeerd moet worden, alleen dan met stevige grond, kunnen kunststof damwanden minder CO₂-uitstoot hebben.

In het geval van een tijdelijke damwand constructie, bijvoorbeeld bij een bouwkuip, verdient een stalen damwand de voorkeur. Dit in verband met de terugwinbaarheid aan het einde van de werkzaamheden. Bij een kleinere kerende hoogte, bijvoorbeeld bij rioolsleuven kan eventueel gewerkt worden met een houten damwand.

Hieronder volgt het stroomschema:



Bij deze conclusies moet wel een kanttekening worden gemaakt. De duurzaamheid is in dit onderzoek gebaseerd op de CO₂-uitstoot. Duurzaamheid omvat echter veel meer, zoals uitputting van bronnen, verzuring, aantasting van de ozonlaag en dergelijke. Deze factoren zijn buiten beschouwing gelaten.

1 Inleiding

Voor de Gemeente Utrecht is duurzaamheid steeds belangrijker. De gemeente heeft de ambitie om in 2030 als stad klimaatneutraal te zijn. De gemeente wil CO₂ neutraal worden. Een stap in deze richting is het in kaart brengen van de koolstofdioxide (CO₂) uitstoot. Als de huidige uitstoot in kaart is gebracht kan dit worden verminderd en/of gecompenseerd. Bij ieder project van de gemeente moet rekening gehouden worden met duurzaamheid. Op dit moment wordt dat niet onderbouwd. Vanuit de afdeling Bouwtechniek & Constructies van IBU Stadsingenieurs is er vraag naar een gedegen advies voor materiaalgebruik van damwanden gebaseerd op de duurzaamheid. De probleemstelling luidt: Welke type damwand (hout, beton, staal & kunststof) is het minst milieubelastend? Bekeken op het gebied van CO₂-uitstoot, produceren, transporteren, inbrengen, onderhoud & levensduur.

CO₂ is een meeteenheid om broeikasgassen weer te geven. Andere broeikasgassen worden gerefereerd aan CO₂, waardoor het broeikaseffecten vergeleken kunnen worden met elkaar. De broeikasgassen zorgen voor een versterkt broeikaseffect. Het broeikaseffect is een natuurlijk proces dat ervoor zorgt dat de aarde warm blijft. De warmte die ontstaat door zonnestrallen wordt door de atmosfeer (broeikasgassen) deels tegenhouden. Doordat er CO₂ wordt uitgestoten neemt de concentratie van de broeikasgassen in de atmosfeer toe. Daardoor kan er minder warmte worden teruggekaatst in de ruimte. Hierdoor neemt de temperatuur op aarde toe.

In dit onderzoek wordt gekeken naar de CO₂-uitstoot tijdens het proces van het produceren tot en met het afbreken/hergebruiken van verschillende materialen damwanden. Het eindresultaat is een advies voor het gebruik van verschillende materiaaltype damwanden bekeken vanuit het oogpunt duurzaamheid. Dit rapport baseert de duurzaamheid van materialen alleen op de uitstoot van CO₂. De gemeente kan op basis van dit rapport damwanden gaan gebruiken waarbij zij rekening houdt met de CO₂ footprint van de materialen.

Om een vergelijking te maken tussen de damwanden zijn er verschillende situaties opgesteld. Voor deze situaties zijn profielen bepaald. Aan de hand van deze profielen worden voor de verschillende materialen damwanden de CO₂-uitstoot bepaald. Met deze uitstoot gegevens worden de materialen met elkaar vergeleken, waaruit conclusies worden getrokken.

Vanwege de omvang van het onderzoek en de korte beschikbare tijd zijn er vier 'standaard' materialen damwanden meegenomen in het onderzoek. Hybride producten kunnen eventueel op het gebied van CO₂-uitstoot een beter uitkomst hebben, zoals de combinatie van houten palen en kunststof planken.

1.1 Leeswijzer

Aan het einde van dit rapport in de conclusie is een stroomschema voor het bepalen van het materiaal voor damwanden. Uit het stroomschema komt het materiaal dat voor een project de minste uitstoot aan koolstofdioxide veroorzaakt. Dit stroomschema is gebaseerd op de aannamen en berekeningen die in de verschillende hoofdstukken gemaakt zijn.

Eerst volgen er algemene beschrijvingen over damwanden, duurzaamheid en materialen. De verschillende materiaaltypes voor damwanden worden vervolgens toegepast in acht verschillende situaties. Aan de verschillende varianten en materiaaltypes worden CO₂-uitstoot gegevens gekoppeld. Dit leidt tot het stroomschema die ondersteunt bij het maken van een keuze voor een bepaald materiaaltype damwand, gebaseerd op de CO₂-uitstoot en het mechanisch gedrag van de damwanden.

Daar waar gesproken wordt over de CO₂-uitstoot van damwanden gaat dit over de CO₂-uitstoot van het productieproces van grondstofwinning tot en met het einde van de levensduur.

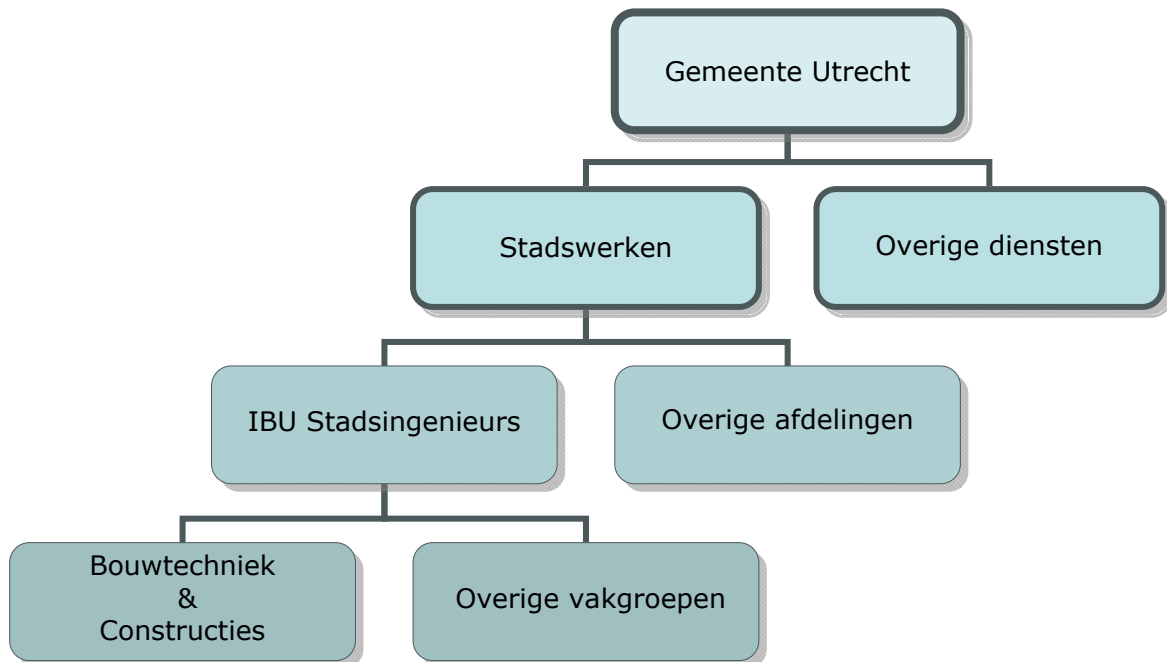
De bronnen van de afbeeldingen die in de scriptie worden gebruikt, staan vermeld in de afbeeldingenverantwoording.

1.2 Ambitie

De gemeente heeft de ambitie om in 2030 als stad klimaatneutraal te zijn. Dit is een hoge ambitie en kan alleen bereikt worden als er nu al stappen worden ondernomen. In de gehele samenleving staat duurzaamheid hoog in het vaandel en daar is de gemeente mee aan de slag gegaan. Het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot is een stap in de goede richting. Wanneer het duidelijk is waar de meeste CO₂-uitstoot ontstaat, is het mogelijk dit terug te dringen. Op langer termijn kunnen hierdoor maatregelen genomen worden om klimaatneutraal te worden.

1.3 Organisatie

Dit onderzoek is gedaan vanuit de groep Bouwtechniek & Constructies van de Gemeente Utrecht. Hieronder staat de organisatie in het kort weergegeven:



Figuur 1: organigram Gemeente Utrecht

De zijtakken zijn weggelaten i.v.m. de grootte van de organisatie.

"IBU Stadsingenieurs is het ontwerp- en adviesbureau van de gemeente Utrecht. De afdeling verzorgt voor een belangrijk deel de (her)inrichting van de openbare ruimte in Utrecht. Van parken en wegen tot de aanleg van bruggen. Ook zijn de ingenieurs nauw betrokken bij prestigieuze projecten, zoals de inrichting van de openbare ruimte van de grootste nieuwbouwlocatie in Nederland, Leidsche Rijn, en het nieuwe stationsgebied. Daarnaast levert het bureau gespecialiseerde technische kennis aan derden, waaronder ook andere gemeenten. Daarnaast levert de afdeling expertise voor een optimaal onderhoud. Het doel is een veilige, aantrekkelijke, functionele en duurzame openbare ruimte.

Binnen het IBU-Stadsingenieurs vervult Bouwtechniek & Constructies de rol van adviseur voor bouwconstructies. Met ruim 20 mensen in vaste dienst en daarbij een aantal inhuurkrachten worden projecten voorbereid waarbij beton, staal, andere metalen, hout of kunststof een hoofdrol spelen. Vaak als deel van een IBU-Stadsingenieurs - projectteam, regelmatig ook 'zelfstandig'.



Figuur 2: IBU logo

De meeste opdrachten vinden hun plaats in de infrastructuur van de gemeente Utrecht. De werkgebieden waarop BTC zich begeeft zijn onder andere, bruggen en bruggetjes (herstel en nieuwbouw), viaducten en tunnels, kade- en keermuren. Ook onder- en bovengrondse parkeergarages, een brandweergarage met een remise en negen verdiepingen kantoor.

In de vakgroep zijn constructeurs, geotechnici, tekenaars en bestekschrijvers actief. Een aantal van de constructeurs vervult ook de rol van ontwerpleider of projectleider. Deze zorgt onder andere voor begeleiding binnen de eigen vakgroep, maar vaak ook voor de technische afstemming tussen de IBU-Stadsingenieurs vakgroepen onderling. De projectleider verzorgt ook de communicatie met de opdrachtgevers."¹

¹ www.utrecht.nl/ibu

2 Duurzaamheid

Van oorsprong komen de termen duurzaamheid en duurzaam gebruik uit de bosbouw. Hierbij gaat het beheren van de natuur op een wijze waarop de natuurlijke processen niet principieel worden aangetast. Er mag niet meer worden onttrokken uit de natuur dan dat vanzelf weer aan kan groeien. Op deze manier kunnen toekomstige generaties er op dezelfde manier gebruik van maken. Er is dus sprake van een evenwicht tussen ecologische, economische en sociale belangen.

2.1 Visies

In 1987 is het rapport 'Our Common Future' uitgebracht door de VN-Commissie Brundtland. In dit rapport staat duurzame ontwikkeling centraal. De definitie van duurzame ontwikkeling is volgens dit rapport als volgt: "Duurzame ontwikkeling is ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen"². Duurzaamheid gaat over de schaarste van de hulpbronnen, want de grondstoffen kunnen op raken.

Als dit vertaald wordt naar duurzaam bouwen komt dit op het volgende neer: grondstoffen mogen niet zodanig gebruikt worden dat deze na gebruik 'op' zijn. De materialen dienen hergebruikt te kunnen worden en de bron niet uitgeput. Een voorwaarde hiervoor is het toepassen van minder en herbruikbare bouwmaterialen en de onderhoudsvriendelijkheid van deze materialen. Minder materialen gebruiken betekent ook minder energieverbruik voor de productie en transport.

Een andere visie op duurzaam bouwen is de bouwstroming Industrieel Flexibel en Demontabel Bouwen. Het gaat hierbij om een geïntegreerde manier van ontwerpen, ontwikkelen en bouwen. Het gebouw of de constructie wordt zodanig ontworpen dat de materialen na gebruik kunnen worden hergebruikt.³

Volgens het woordenboek hebben duurzaam en duurzaamheid de volgende betekenis; lang durend, weinig aan slijtage of bederf onderhevig. Hierin zitten direct een aantal speculaties. Wat is lang? Wat is weinig? In deze definitie zit niets verwerkt over het gebruik van energie, of de uitstoot van gassen tijdens het productieproces.

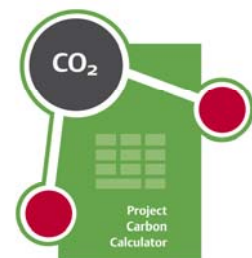
2.2 Programma's

Er zijn op dit moment twee bekende programma's op de markt om de CO₂-uitstoot te bepalen van materialen, gebouwen en kunstwerken. GreenCalc+ en CO₂ Desk. Daarnaast komt het programma DuboCalc binnenkort uit.

GreenCalc+ kan de duurzaamheid van woningen, scholen, kantoorgebouwen, winkels, gezondheidscentrums of wijken bepalen door middel van een milieu-index. Hierbij wordt beoordeeld op de aspecten energiegebruik, watergebruik, materiaalgebruik en mobiliteit. GreenCalc+ is voor de grond, weg en waterbouw niet toereikend. Voor de woning- en utiliteitsbouw is het programma wel geschikt.

CO₂ Desk is van de BAM Groep en helpt de bouwsector de CO₂-uitstoot in waarden weer te geven. In het programma zijn CO₂ emissies verwerkt die beschikbaar gesteld zijn door partners van BAM. Het softwareprogramma bepaalt de carbon footprint van een bouwproject en waar mogelijke reductiemaatregelen het meest effectief kunnen worden getroffen. Hierdoor ontstaat inzicht in de werkprocessen van het bouwproject en de gevolgen voor de CO₂-emissie. In dit programma worden verschillende emissie coëfficiënten gebruikt. Na onderzoek blijkt dat er veel verschillende gegevens te vinden zijn. De meeste waarden in dit programma zijn gebaseerd op één bron.

DuboCalc wordt door Rijkswaterstaat ontwikkeld. Het is een tool om de duurzaamheid van grond-, weg- en waterbouwkundige werken te beoordelen. Met dit hulpmiddel kunnen ontwerpers gemakkelijk milieuprofielen bepalen van ontwerpalternatieven. DuboCalc is gebaseerd op de levenscyclusanalyse. Deze analysemethode kijkt naar alle milieueffecten van het materiaal- en energiegebruik van een bouwwerk vanaf de winning tot aan de sloop- en hergebruikfase. Het programma bevindt zich nu nog in de testfase.



Figuur 3: CO₂ Desk

² Our Common Future, Brundtland Report, 1987

³ http://nl.wikipedia.org/wiki/Duurzaam_bouwen

2.3 Keuze

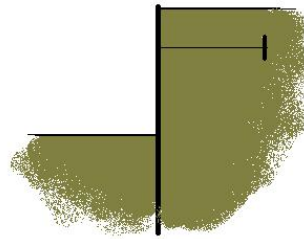
In dit onderzoek wordt de duurzaamheid bepaald aan de hand van de koolstofdioxide (CO_2) die uitgestoten wordt in de gehele cyclus van het maken tot en met het afbreken van een damwand. De uitstoot van CO_2 wordt op dit moment het meest gemeten. Daarnaast wordt er door het bedrijfsleven momenteel aandacht besteed aan CO_2 . Ondanks dat dit rapport alleen over CO_2 -uitstoot gaat moet er niet vergeten worden, dat er uitstoot wordt veroorzaakt als stikstofdioxide (NO_2) en zwaveldioxide (SO_2). Deze, maar ook andere gassen, veroorzaken aantasting van de ozonlaag, verzuring, fotochemische oxydantvorming, abiotische uitputting en vermisting.

Het is belangrijk te weten dat duurzaamheid niet alleen wordt bepaald aan de hand van de CO_2 -uitstoot. In dit onderzoek wordt de duurzaamheid wel bepaald aan de CO_2 -uitstoot en de levensduur van de damwanden. De verschillende programma's hebben CO_2 emissie coëfficiënten waarmee gerekend wordt. Deze worden in dit onderzoek niet direct als waarheid aangenomen. Er zijn onderzoeken waaruit verschillende resultaten komen. Hierdoor is er kritisch omgegaan met de gegevens, zoals die uit CO_2 desk.

3 Damwand

Een damwand is een grond- en/of waterkerende constructie, die bestaat uit een verticaal in de grond geplaatste wand. Een damwand kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De damwanden kunnen worden gebruikt voor kademuren, oeverbescherming, wanden voor een ondergrondse parkeergarage of als middel om bodemvervuiling te immobiliseren. Daarnaast kunnen damwanden ook voor tijdelijke toepassingen worden gebruikt, zoals in een bouwput.

In dit onderzoek worden damwanden beschouwd voor het gebruik als beschoeiing. Een beschoeiing beschermt een oever tegen onder andere afkalven en waterslag. De damwanden kunnen van de volgende materialen gemaakt worden; staal, beton, hout en kunststof. Deze materialen worden nader toegelicht.



Figuur 4: principe damwand

3.1 Staal

Staal is een materiaal dat al meer dan 100 jaar gebruikt wordt als constructiemateriaal. Dit komt onder andere door de volgende eigenschappen; hoge trek-/druksterkte, hoge buigstijfheid, goede vervormbaarheid, goede lasbaarheid en korte bouwtijd. Constructiestaal kan bij verschillende temperaturen belastingen opnemen.

Het nadeel van staal is dat het kan gaan roesten. Door corrosie wordt het staal zelf dunner totdat het uiteindelijk vergaan is. Om dit corrosieproces tegen te gaan kan er een beschermingslaag op aangebracht worden. Deze kan bestaan uit een coating, bitumenlaag of kunststofdeklaag. Hierdoor hebben de stalen damwanden een lange levensduur, maar het onderhoud kan kostbaar zijn vanwege eventuele beschadigingen.

Een stalen damwand is in de eerste plaats grondkerende constructie. Door het lassen van de sloten en injecteren van een gelmengsel kan de waterdoorlatendheid tot een minimum beperkt worden. Stalen damwanden kunnen koudgevoormd en warmgewalst worden. Het productieproces is verschillend bij deze twee damwandtypen.

3.1.1 Productie

IJzererts (Fe_2O_3) wat benodigd is voor de productie van staal, wordt gewonnen in onder andere Australië en Brazilië. IJzererts is nooit een schoon materiaal, maar heeft altijd verontreinigingen, zoals koolstof. Het ijzererts wordt verscheept naar Azië en Europa om er staal van te maken.

Dit proces begint in hoogovens. In de hoogovens ontstaat ruwijzer en dit bevat nog 4 à 5% koolstof en daarnaast andere verontreinigingen. Vervolgens wordt in een converter zuurstof met hoge snelheid door het vloeibare ruwijzer heen geblazen. Hier komt het koolstofpercentage tot maximaal 1,9%. Vanaf dit moment heet het staal. Aan het staal worden toeslagstoffen toegevoegd voor de sterkte eigenschappen. Het staal wordt in plakken gegoten om later gewalst te worden tot het juiste profiel.

Gebruikt staal kan worden gerecycled. In elektro-ovens en hoogovens kan dit staal omgesmolten worden. Het gesmolten staal gaat het normale proces weer in. De eigenschappen van het staal blijven hierbij ongewijzigd, ongeacht het aantal keren dat het staal wordt gerecycled. Het staal kan zelfs tot een hogere kwaliteit gebracht worden.

3.1.2 Warm gewalst

Het ruwstaal wordt in coquilles gegoten en vervolgens in warmbandwalserij bij een temperatuur van 1200°C geprofileerd. Het warmwalsen maakt het mogelijk om de wanddikte te variëren. Staaldikten van 6,4mm en hoger kunnen aan de schuine zijdes bereikt worden. In de ruggen van de profielen kunnen staaldikten van 7,5 tot meer dan 20mm bereikt worden. Door deze afmetingen kunnen er zware en lange damwanden geproduceerd worden. De damwanden kunnen hierdoor toegepast worden in middelzware tot zware situaties, zoals diepe bouwkuipen. De warmgewalste damwanden zijn makkelijker in de uitvoering dan koud gevormde damwanden, omdat deze wanden preciezer zijn. De sloten zijn meestal 100% correct.



Figuur 5: warmgewalste damwand

3.1.3 Koud gevormd

Bij koudgeformde damwanden wordt er warmgewalst breedbandstaal geprofileerd naar damwanden. Bij het koud vormen komt een 'versterking' in de structuur van het materiaal. Tussen de ruggen en zijdes kan geen variatie zitten qua dikte. De damwanden zijn te realiseren in staaldikten van 3 tot en met 9 mm. De damwanden zijn toepasbaar in lichte en zwaardere situaties. Het weerstandsmoment bevindt tussen de 100 en 1300 cm³/m. Koudgeformde damwanden hebben een gunstiger sterkte/gewicht verhouding per m² in verhouding met warmgewalste profielen met dezelfde sterkte.

3.1.4 Tijdelijk gebruik

Stalen damwanden zijn goed te gebruiken voor tijdelijke situaties. Een tijdelijke situatie kan voorkomen bij bijvoorbeeld een bouwput. De damwand wordt na de activiteiten weer getrokken om vervolgens hergebruikt te kunnen worden in een andere situatie. Stalen damwanden kunnen via trekken uit de grond worden gehaald. Dit gebeurt vaak in combinatie met trillen. Betonnen, kunststof en houten damwanden zijn hier niet geschikt voor. Kunststof en houten damwanden zijn te zwak om meerdere keren te plaatsen. Hierdoor lopen ze teveel beschadigingen op. Betonnen damwanden zijn lastig weer uit de grond te krijgen. Om deze redenen worden stalen damwanden toegepast in tijdelijke situaties.

3.1.5 Uitvoering

Stalen damwanden kunnen op diverse manieren de grond ingebracht worden. Hieronder volgt een opsomming van de verschillende methodes.



Figuur 6: heien

Heien

Heien is het herhaaldelijk slaan op de damwand met een hoge belasting, waardoor de wand in de grond wordt geslagen. Dit gebeurt met een heiblok die door middel van stoom of diesel wordt aangedreven of door middel van een hydraulische hamer. Tijdens het heien bezwijkt de grond onder de damwand, waardoor deze bij iedere slag naar beneden zakt. Met heien kunnen de grootste dieptes bereikt worden. Deze methode veroorzaakt geluidsoverlast en daarnaast veroorzaakt deze methode (zware) trillingen. Of dit een probleem is hangt af van de situatie, zoals eventueel aanwezige bebouwing ter plaatse.

Trillen

Een hoogfrequentie trilblok veroorzaakt een sinusvormige verticale belasting op de damwand. Ditzelfde blok heeft daarnaast een zware massa. Deze combinatie zorgt ervoor dat de grond onder de damwand zijn draagkracht verliest, waardoor de damwand naar beneden zakt. De trillingen worden deels door de omliggende grond opgenomen. De trillingen die aankomen bij de eventuele omliggende bebouwing kunnen het best een zo hoog mogelijke frequentie hebben. Hoe groter het verschil is van de frequentie de trillingen en de eigen frequentie van de bebouwing, des te meer wordt er gedempt.



Figuur 7: trillen damwand



Figuur 8: drukken damwand

Drukken

Wanneer trillingen en/of geluid van het heien of trillen te veel overlast zal gaan veroorzaken is drukken een mogelijkheid. Dit drukken gebeurt door een enkelvoudige of meervoudige drukmachine. Dit heeft te maken of er meerdere damwanden tegelijkertijd de grond in gedrukt kunnen worden. Bij drukken ontstaan minder deformaties dan bij heien of trillen.

De inbrengdiepte die met deze methode bereikt kan worden, is beperkt ten opzichte van de andere methoden. Dit, samen met de veel hogere kosten, is de reden dat deze methode minder wordt toegepast.

3.1.6 Levensduur

Bij een onbehandelde stalen damwand treedt corrosie op. Hierdoor neemt de dikte van de damwand af, wat uiteindelijk zorgt voor het bezwijken van de wand. Er zijn twee methoden om dit te voorkomen.

Op de damwand kan een coating aangebracht worden. De aangebrachte coating beschermt het staal tegen corrosie. De coating is wel heel gevoelig. Tijdens het inbrengen kunnen hierop gemakkelijk beschadigingen optreden door harde voorwerpen in de grond en door aanwezigheid van zeer dicht gepakte zandlagen. Daarnaast ontstaan er gemakkelijk beschadigingen bij de sloten tijdens het inbrengen.

Een andere manier om bezwijking door corrosie te voorkomen is overdimensionering. De damwanden worden in dit geval extra dik uitgevoerd in verhouding met de benodigde dikte. In deze laag kan corrosie optreden zonder dat deze het bezwijken van de damwand veroorzaakt. In de CUR 166 is hiervoor een berekeningmethode opgenomen. De grootte van de opofferingslaag is afhankelijk van de grondomstandigheden en het beoogde levensduur.

3.1.7 Keuze

De uitvoering van warmgewalste damwanden is gemakkelijker dan koudgewalste damwanden. Bij koudgevormde damwanden zijn de sloten minder precies, waardoor de damwanden soms tijdens het inbrengen het slot lopen. De warmgewalste damwanden worden zo gefabriceerd dat deze een optimale verhouding hebben tussen de dikte van de rug en de schuine zijdes. Deze damwand heeft hierdoor de voorkeur. Door de Gemeente Utrecht worden meestal warmgewalste damwanden gebruikt, waardoor dit type damwanden in de vergelijking het zinvolst is. Vanwege deze uitvoeringstechnische voorkeur worden in dit rapport de warmgewalste profielen vergeleken.

3.2 Beton

Betonnen damwanden worden gebruikt voor blijvende grond- en/of waterkerende constructies. Deze wanden worden prefab geleverd en zijn met voorspanstaal vervaardigd.

Een betonnen damwand kan naast de horizontale belasting ook verticale belastingen opnemen, in tegenstelling tot de andere materiaaltypes damwanden. Dit komt door het grote doorsnede oppervlak. Soms is het nodig om verankering toe te passen. Deze verankering kan direct boven de damwand, onderin de deksloof, bevestigd worden. Een verankering kan ook lager bevestigd worden, maar dan kan het nodig zijn om een gording toe te passen. Er zijn twee type betonnen damwanden, damwandplanken en spanwanden.

3.2.1 Damwandplanken (SPV)

De vlakke damwanden worden vooral toegepast bij kleinere grondkerende constructies, zoals lichte beschoeiingen. Er bestaan 3 standaard afmetingen, respectievelijk 120, 150 en 200mm dik, met breedte van 500mm en een lengte van maximaal 7 meter. De damwanden worden op een lange kantelmal geproduceerd. Op deze manier wordt een baan van ongeveer 130 meter met beton volgestort. Het beton wordt verdicht door meerdere trilmotoren met regelbare hoge frequenties. Nadat het beton is uitgehard worden de damwanden op maat gezaagd. De gebruikte betonkwaliteit is C45/55. De wapening is een korf van staalkwaliteit FeB500. De damwandplanken worden door verschillende leveranciers geproduceerd.



Figuur 9: damwandplanken

3.2.2 Spanwanden (SPW)

De vorm van deze wanden is gelijk aan de vorm van stalen damwanden, maar ze zijn aanzienlijk dikker. Spanwanden zijn er in drie verschillende afmetingen, namelijk in diktes van 250, 450 en 600 mm. De werkende breedte van de profielen is 1000 mm. De damwanden zijn verkrijgbaar in een lengte van een veelvoud van 250mm. De gebruikte betonkwaliteit is C53/65 met 100% CEM III/52,5R (hoogovencement). Het zelfdichtende beton zorgt voor waterdichte damwanden. De damwanden zijn geschikt voor de milieuklassen XC4, XS3 en XF4, waardoor ze in bijna alle type grondopbouw toepasbaar zijn. De wanden hebben een grote buigstijfheid en zijn



Figuur 10: spanwanden

vormvast. Spanbeton is in Nederland de enige leverancier van dit product en heeft hier octrooi op. Om de naden waterdicht te maken wordt gebruik gemaakt van rubberslotafdichting. Meer gegevens over de wanden worden vanuit concurrerende overwegingen niet verstrekt

3.2.3 Eigenschappen

Beton heeft geen tot nauwelijks onderhoud nodig, dankzij de grote weerstand tegen corrosie. Ten opzichte van stalen damwanden hoeven betonnen damwanden niet gecoat of overgedimenseerd te worden om roest te voorkomen. Door het gebruik van voorgespannen wapening wordt er voorkomen dat er in de gebruiksfase scheurvorming ontstaat, waardoor de wapening zou kunnen gaan roesten. Het zelfdichtende beton beschermt de wapening. De damwanden kunnen, met een betondekking van 35 mm, 100 jaar meegaan. Deze 100 jaar is door ontwerpberekeningen bepaald.

3.2.4 Uitvoering

Het plaatsen van de betonnen damwanden gebeurt door middel van heien met behulp van een dieselhamer of hydraulische hamer, of door te trillen. Daarbij kan gewerkt worden met spuittechniek. Bij hardere grondlagen kan er gebruik gemaakt worden van het spuiten. Hiervoor is het mogelijk om bij de spanwanden een spuitlans op te nemen in de damwand. Aan de bovenzijde is in dat geval een water aansluitingspunt. Deze splitst zich inwendig waardoor aan de onderzijde twee spuitopeningen zijn. Hierdoor kan de damwand gemakkelijker de grond ingebracht worden, omdat het water de spanning van de grond vermindert. Door het trillend aanbrengen van de damwanden ontstaat geluidsoverlast. Dit geluidsniveau is lager bij betonnen damwanden dan bij stalen damwanden.

Het inbrengen van de betonnen damwanden vergt ervaring, omdat de elementen niet in elkaar haken, zoals bij stalen damwanden het geval is. De damwanden moeten nauwgezet tegen elkaar aan worden geplaatst.

Voor de uitvoering zijn de damwanden voorzien van hijsankers. Deze dienen voor de plaatsing afgeslepen te worden en behandeld tegen corrosie. De stekankers aan de bovenzijde worden tijdens de plaatsing gebruikt, maar ook later voor de koppeling aan de deksloven. Om de damwand op de juiste plaats te krijgen wordt een geleideframe gemaakt. Deze bestaat uit stalen balken aan beide zijdes van de te plaatsen wand, die onderling met elkaar verbonden zijn.

Wanneer er beschadigingen optreden is dit kostbaar en lastig te repareren. Daarnaast hebben betonnen damwanden een groot nadeel, vanwege het grote eigen gewicht van de elementen. Dit gewicht is vooral bij het vervoer en bij de plaatsing van de damwanden een nadeel. Het plaatsen veroorzaakt geluidsoverlast, en daarnaast kan het aanbrengen van de damwanden leiden tot verzakkingen om de damwanden heen.

3.2.5 Levensduur

Doordat de wanden worden gemaakt van hoogwaardig beton en een dekking hebben van 35 mm gaan de wanden 100 jaar mee.

3.2.6 Keuze

De damwanden die hier omschreven staan zijn niet heel verschillend. De vorm en de betonsterkte zijn anders, maar het zijn wel dezelfde soort producten. De keuze voor het ene type boven het andere ligt aan de benodigde sterkte en niet om uitvoeringsgevoeligheden. In de verschillende varianten wordt de zo licht mogelijke damwand toegepast. In dit onderzoek worden beide damwanden bekeken. Wanneer een SPV wand de krachten niet op kan nemen, wordt er een SPW wand toegepast.

3.3 Hout

Houten damwanden bestaan uit verticale planken die door middel van een messing-groef verbindingen aan elkaar zijn gekoppeld. Houten damwanden worden gebruikt voor lichte constructies. De planken kunnen variëren van 40 tot 100mm. Hout heeft twee verschillende sterkterichtingen. Spanningen in het materiaal loodrecht op de vezelrichting kunnen veel minder goed opgenomen worden dan spanningen die evenwijdig aan de vezelrichting werken. Hout is eenvoudig verwerkbaar en esthetisch waardevol. Daarnaast is het een natuurlijk bouw materiaal. Houten damwanden kunnen in lengten variërend van 3 tot 6m (max. 7m) geleverd worden.



Figuur 11: messing-groefverbinding

3.3.1 Productie

Over het algemeen groeien de bomen waarvan het hout gebruikt wordt in de grond- weg- en waterbouw niet in Europa, omdat hiervoor voornamelijk loofhout gebruikt wordt. Het naaldhout dat wordt gebruikt komt wel uit Europa. De gemeente Utrecht past alleen FSC goedgekeurd hout toe. De FSC goedgekeurde tropische en niet-tropische bossen worden goed beheerd. Hier zitten 10 FSC principes van goed bosbeheer aan vast. Tussen de vervoerskosten van de verschillende houtsoorten zit het grootste verschil. Loofhout komt vaak per schip naar Nederland, terwijl naaldhout uit de 'buurt' komt. Beide houtsoorten moeten nog gezaagd worden in een houtzagerij.



Figuur 12: damwand

3.3.2 Loofhout

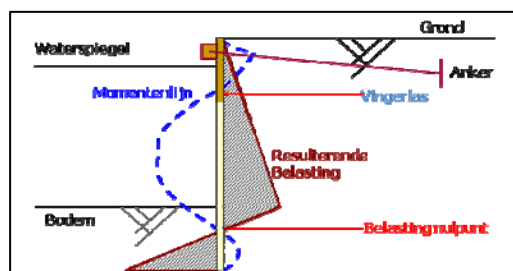
Loofhout wordt vaak geassocieerd met tropisch hardhout, maar loofhout kan ook uit landen komen met een meer gematigd klimaat. Loofhout is van nature beter bestand tegen weersinvloeden dan naaldhout. Enkele soorten loofhout zijn: azobé, karra, jaraah, Sapucaia en Okan. Azobé, Sapucaia en Okan zijn een van de weinige hardhoutsoorten met duurzaamheidsklasse 1 (25jaar of langer). Hierdoor worden deze soorten, afkomstig uit tropische bossen in Afrika, veel gebruikt voor damwanden. Deze houtsoorten zijn lastig met het FSC keurmerk te verkrijgen. De sterkte van de loofhoutplanken is over het algemeen veel groter dan die van naaldhout.

3.3.3 Naaldhout

Naaldhout is van nature niet bestand tegen weersinvloeden. Wanneer hout volledig onder water zit, of volledig droog is wordt het niet aangetast door schimmels. Ter plaatse van de overgang lucht-water en het gedeelte daarboven dienen beschermende maatregelen genomen te worden. Deze stukken komen in contact met water en zuurstof. Naaldhout wordt, voor gebruik als damwand, eerst geïmpregneerd. Onder hoge druk wordt het naaldhout geïmpregneerd. Het hout gaat hierdoor veel langer mee. Geïmpregneerd hout is minder bestand tegen rotten dan loofhout. Enkele soorten naaldhout zijn: Europees grenen (grove den), vuren (fijnspar) en lariks (lork). Naaldhoutplanken zijn zwakker dan loofhoutplanken met dezelfde afmetingen.

3.3.4 Gecombineerd

Naald- en loofhout kunnen gecombineerd worden in damwandplanken. De onderzijde van de planken bestaat uit naaldhout en de bovenzijde uit loofhout. De bovenzijde wordt van loofhout gemaakt, omdat dit beter bestand is tegen weersinvloeden. De onderzijde komt niet in contact met zuurstof en hoeft daarom niet verduurzaamd te zijn. Daardoor kan hier onbehandeld naaldhout worden toegepast. Het bovenste stuk van ongeveer 75 - 100cm zal uit loofhout bestaan. De twee houtsoorten worden door middel van vingerlastechniek aan elkaar verbonden.



Figuur 13: gecombineerde damwand

Door lijm en het zelfklemmend vermogen ontstaat er een sterke verbinding. Deze damwanden zijn te verkrijgen bij de leveranciers Van Swaay en Reefhout. De sterkte van de damwanden is afhankelijk van het naaldhout. De sterkteklasse C18 is toegekend aan deze damwanden. Er wordt gebruik gemaakt van Europees vuren als naaldhout. Ter plaatse van de vingerlas is de sterkte met 5% gereduceerd. Dit komt neer op 17,1 N/m². Door het combineren van de twee houtsoorten ontstaat er een besparing op het gebruik van hardhout. Daarnaast is er geen verduurzaming nodig van het naaldhout. De damwanden zijn in de dikten 30, 40, 50 en 60 mm te verkrijgen.

3.3.5 Uitvoering

Houten damwanden kunnen evenals stalen damwanden door middel van heien en trillen in de grond worden gebracht. Wanneer er gekozen wordt voor heien dan heeft een zwaar blok met een kleine valhoogte de voorkeur ten opzichte van een licht blok met een grootte valhoogte. Een blok mag maar een maximale valhoogte hebben van 2,5 meter. De damwanden kunnen ook doormiddel van een trilblok in de grond gebracht worden. Deze methode brengt minder gevolgen voor de omgeving met zich mee dan heien.

3.3.6 Levensduur

Ieder houtsoort heeft een duurzaamheidsklasse. Een houtsoort krijgt een duurzaamheidsklasse naar zijn levensduur. Er zijn hardhoutsoorten met een klasse I, deze kunnen langer dan 25 jaar mee gaan. De in de lagere klasse ingedeelde houtsoorten kunnen deze levensduur ook behalen, als ze geïmpregneerd worden, droog zijn of geheel onder water bevinden.

Duurzaamheidsklasse: (indeling naar tijd waarna het hout nog goed is)

1	Langer dan 25 jaar
2	15-25 jaar
3	10-15 jaar
4	5-10 jaar
5	Minder dan 5 jaar

Belastingsduurklasse:

I	Lang durend, langer dan 15 jaar
II	Middellang durend, van 6 maanden tot 15 jaar
III	Kort durend, van 5 seconden tot 6 maanden
III	Zeer kort durend, minder dan 5 seconden

Klimaatklasse:

Klimaatklasse I	Verwarmde omsloten ruimten of goed geventileerde ruimten
Klimaatklasse II	Overdekte (gedeeltelijk) open ruimten
Klimaatklasse III	Vochtige, slecht geventileerde en niet-overdekte ruimten en constructies volledig met vocht verzadigd

Voor de damwandberekeningen wordt gebruikt gemaakt van de volgende uitgangspunten: duurzaamheidsklasse 1, belastingsduurklasse II, klimaatklasse III.

3.3.7 Keuze

Naaldhout is verkrijgbaar in sterkteklasse C18. Enkele houtsoorten zijn verkrijgbaar in C24, maar dat zijn de uitzonderingen op de regel. De houten damwanden van naaldhout kunnen maar een beperkte hoogte grond keren, waardoor deze in dit onderzoek afvallen. De kerende hoogte in de verschillende varianten is te groot voor deze houtsterkte. Hierdoor zijn de gecombineerde damwanden ook niet toepasbaar. In dit onderzoek wordt om deze reden gekeken naar loofhout. Het meeste loofhout komt niet uit Europa zelf. Daarom wordt er gekeken naar hout uit landen rond de evenaar. Loofhout is in verschillende sterkteklassen te verkrijgen. Er wordt gerekend met D50, omdat er dan nog vrijheid van houtkeuze is. Bij berekeningen met sterkteklasse D70 is er geen houtkeuze meer. In dit onderzoek wordt gerekend met loofhout met een sterkteklasse D50.

3.4 Kunststof

Voor Nederlandse begrippen zijn kunststof damwanden nog vrij nieuw. In Amerika worden deze wanden al veelvuldig toegepast. Kunststof is geen natuurlijk product, maar een synthetisch vervaardigd materiaal. Hierdoor hebben damwanden geen last van rotten, knoesten en splinters in tegenstelling tot houten damwanden. Daarnaast is het eenvoudig te bewerken, zoals zagen, boren, nieten en schroeven. De kunststof damwanden zijn veel lichter dan damwanden van andere materialen, waardoor ze gemakkelijk hanteerbaar zijn en goedkoper in vervoer.

De damwanden kunnen van verschillende kunststoffen gemaakt worden en op verschillende methoden. In de volgende paragrafen worden drie type toegelicht.



Figuur 14: kunststof damwand

3.4.1 PVC met vezels versterkt

PVC is de afkorting voor polyvinylchloride en dit is een thermoplast. PVC bestaat voor 57% uit zout (chloride) en 43% uit olie (vinyl). Vinyl is 100% recyclebaar. De kunststof damwanden kunnen hierdoor na gebruik gerecycled worden. Nieuwe damwanden worden van ongeveer 90% gemaakt uit gerecycled materiaal. Aan de buitenzijde wordt nieuw vinyl gebruikt, omdat deze laag tegen alle weersinvloeden dient te kunnen. De lange termijn invloeden van hergebruikt PVC is nog niet bekend.

De mechanische eigenschappen van staal zijn veel beter dan die van PVC. PVC is ongeveer zes keer lichter, maar wel 10 keer zo zwak als staal. Door het lagere gewicht en de lagere kosten worden PVC damwanden, in sommige situaties, wel aantrekkelijk. Damwanden van PVC worden door middel van extrusie gefabriceerd. Bij extruderen wordt de PVC smelt en vezels door een matrijs heen geperst. De kunststof wordt daarna afgekoeld door middel van water of lucht, waardoor het profiel hard wordt. Dit proces gaat continu door en de damwanden worden vervolgens in de juiste lengtes gesneden.

3.4.2 Glas- en koolstofvezel versterkte damwand

Composieten zijn materialen die bestaan uit vezels en een hars. De vezels zorgen voor de sterkte en het hars houdt deze vezels bij elkaar. Daarnaast bepaalt het hars de kleur, chemische bestendigheid en brandwerendheid.

De glas- en koolstofvezels zorgen voor de sterkte van de wand. Voornamelijk de koolstofvezels geven de damwandprofielen een grotere sterkte en stijfheid. De buigsterkte en trekvastheid van deze wanden zijn te vergelijken met die van staal. Deze wanden zijn sterker dan hout en PVC. Voor de damwanden is het hars zo gekozen dat er een product ontstaat met een lage wateropname en een uitstekende weerbestendigheid. Het hars die gebruikt wordt, is UV bestendig in te kleuren.

De damwanden worden gemaakt door middel van het pultrusie proces (profieltrekken). Pultrusie is evenals extrusie een continu proces. Bij pultrusie worden de vezels en het hars door de matrijs getrokken. *'Tijdens het pultrusieproces wordt het vezellaminaat met hars geïmpregneerd en door een matrijs getrokken. De matrijs wordt verwarmd om zo het hars te laten uitharden. Twee trekkers trekken het profiel door de matrijs heen. Het grote voordeel van pultrusie is dat er verschillende vezelcombinaties in de profielen verwerkt kunnen worden.'*⁴

3.4.3 Glasvezelversterkte damwand

De grondstoffen voor deze composiet wand zijn vloeibaar hars en glasvezels. De versterkende vezels kunnen los, maar ook in matten worden ingebracht. Deze wanden worden evenals de glas- en koolstofvezelversterkte damwand gemaakt met de pultrusie techniek.

⁴ Folder Haasnoot Composieten BV

3.4.4 Uitvoering

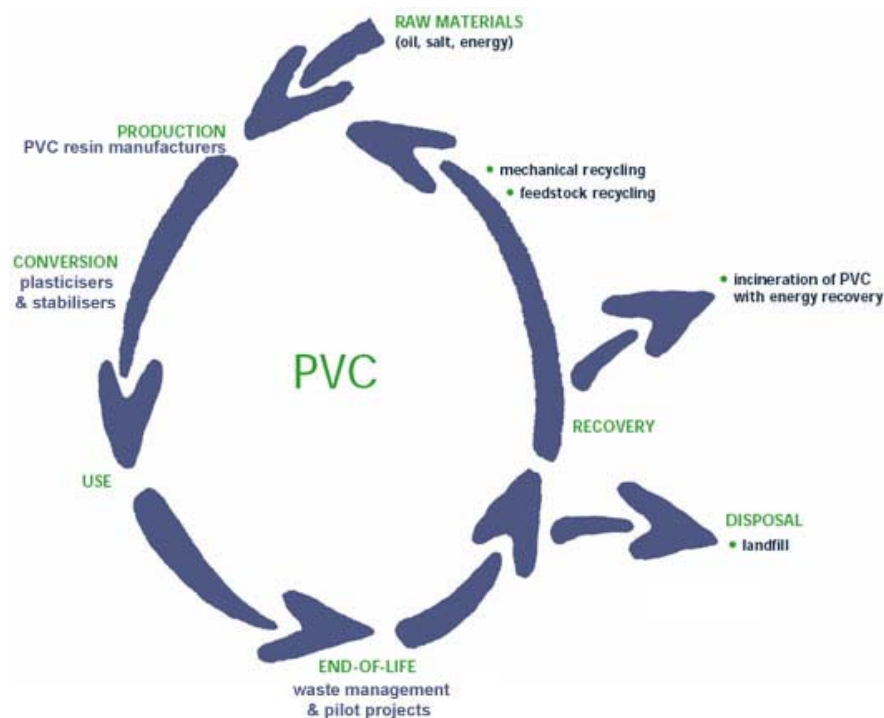
Kunststof damwanden worden met dezelfde hulpmiddelen geplaatst als stalen damwanden. Kunststof damwanden kunnen door middel van heien, trillen en drukken ingebracht worden. Trillen is de meest toegepaste techniek. Het trilblok trilt de damwand de grond in. Bij het drukken is het voordeel dat er een minimale hoeveelheid aan trillingen ontstaan, waardoor dit goed toepasbaar is bij oudere stadskernen en monumentale panden. Echter kan drukken niet bij alle type gronden worden toegepast. De heitechniek wordt toegepast op het moment dat het met een trilblok niet meer lukt.

3.4.5 Levensduur

De lange termijn sterkte gegevens zijn nog niet exact bekend. Bij materialen, zoals beton blijft de sterkte gelijk in de loop der jaren. Bij PVC kunststof neemt de sterkte af onder invloed van UV-straling. Dit komt doordat de weekmakers die in PVC zitten oplossen onder invloed van UV-straling. De elasticiteitsmodulus (E) bedraagt bij aanvang 1770N/mm^2 bij de vinyldamwanden.⁵ Met 1021N/mm^2 moet gerekend worden voor de situatie na 50 jaar. In figuur 8 is de levenscyclus van kunststof weergegeven. Er wordt op verschillende sites beweerd dat de kunststof damwanden 100 jaar meegaan. Dit is nog niet bewezen en daarom wordt er in dit onderzoek voor de CO_2 balans gerekend met een levensduur van 50 jaar.

3.4.6 Keuze

Over de verschillende kunststof damwanden is niet evenveel bekend. De groep BTC van de Gemeente Utrecht heeft al eerder gerekend met PVC damwanden. De leverancier van deze damwanden heeft een TNO rapport op laten stellen, waardoor er gerekend kan worden aan deze damwanden. Over de glas- & koolstofvezelversterkte damwanden is deze informatie niet te vinden. Dit laatste geldt ook voor de glasvezelversterkte damwanden. Vanwege de al opgedane ervaring van de groep BTC en de ontwerpregels van TNO worden de PVC damwanden in dit onderzoek bekeken.



Figuur 15: levenscyclus kunststof

⁵ TNO rapport: Determination of mechanical properties of C-Loc sheet piles and derivation of design values, Ir J-W.G. van de Kuilen, june 1999

4 Varianten berekening

Allereerst worden de uitgangspunten omschreven voor de berekening. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van M-Sheet van GeoDelft. Daarnaast is er een handberekening gemaakt in combinatie met Pro-sheet van Arbed. In deze laatste berekening worden de beddingconstante niet meegenomen, waardoor er andere damwandprofielen uit de berekeningen komen. Deze zijn om die reden niet opgenomen in de vergelijking, maar voor deze situaties zijn ook M-Sheet berekeningen gemaakt. In de laatste paragraaf staan de vastgestelde damwandprofielen weergegeven.

4.1 Varianten

Om een goede vergelijking van de damwandmaterialen te bewerkstellen moeten vergelijkbare sterkte damwanden met elkaar vergeleken worden. Hiervoor zijn 8 situaties opgesteld. De 8 situaties staan in bijlage 1, Situaties.

Grondopbouw

Voor de vergelijking zijn 2 verschillende grondopbouwen gekozen. Aan de westzijde van Utrecht bestaat de bovenste 4 meter uit veen, met daaronder zand. Aan de oostzijde van Utrecht bestaat de grond volledig uit zand. De varianten 1 en 2 hebben de grondopbouw west Utrecht en de varianten 3 en 4 hebben de grondopbouw oost Utrecht. In bijlage 2 staan de bijbehorende sonderingen. Voor de eenduidigheid is het maaiveld gezet op NAP. Er is wordt geen rekening gehouden met waterstroming.

Afmetingen

De varianten 1 en 3 hebben een rechte kade. De varianten 2 en 4 hebben een talud die met 16° graden oploopt over 2,1 meter. Hierdoor is de bovenzijde van de damwanden in deze situaties op peil -0,6 m. Er wordt een damwand berekend voor een beschoeiing van 300meter lang.

De veranderlijke belasting bedraagt bij de a-varianten 5 kN/m^2 en bij de b-varianten 15 kN/m^2 , zie paragraaf 4.1.3.

4.1.1 Randvoorwaarden

Gehanteerde normen:

NEN 6700 Algemene basiseisen

NEN 6702 Belastingen en vervormingen;

NEN 6740 Voorschriften geotechniek, basiseisen en belastingen

Gehanteerde richtlijnen

CUR 166 Damwandconstructies, samensteller CUR, 4^e druk;

Gehanteerde software

Msheet Delft Geosystems versie 7.9

Microsoft Excel

Veiligheidsklasse, referentieperiode

De veiligheidsklasse voor de damwanden is II, conform CUR 166

Referentieperiode:

Hout: 20 jaar

Kunststof: 50 jaar

Staal: 50 jaar

Beton: 100 jaar

4.1.2 Uitgangspunten

De sonderingen zijn bekend, zoals bij de variantenomschrijving staat. De grond-parameters zijn afgeleid uit de sonderingsdiagrammen en toegekend m.b.v. tabel 1 uit NEN 6740. Deze tabel staat in bijlage 3, Representatieve waarden voor grondeigenschappen. De interpretatie van de grondparameters staan in bijlage 4.

De sonderingen worden geanalyseerd aan de hand van het wrijvingsgetal van de grondlagen. Vervolgens worden deze gespecificeerd door middel van de conusweerstand (q_c) in een bepaalde consistentie. De wrijvingsgetallen staan in tabel 1 weergegeven. De wandwrijvingshoeken staan vermeld in tabel 2.

Grondsoort	Wrijvingsgetal
Grind	0,2-0,5
Grof zand	0,4-0,6
Zand	0,5-1,0
Zand, ziltig	0,8-1,4
Zand, kleiig	1,0-2,0
Leem	2,0-4,0
Klei, vast	2,0-4,0
Klei, matig	3,0-5,0
Klei, slap	4,0-6,0
Potklei	5,0-7,0
Venige klei	5,0-8,0
Veen	5,0-10,0

Tabel 1: indicatieve waarden voor wrijvingsgetal van verschillende grondsoorten

Grondsoort	Wandwrijvingshoek ($^{\circ}$)
Grind (korrel > 8mm)	$\delta = 0$
Grof zand (korrel > 2mm)	$\delta = \frac{1}{3} * \phi$
Zand (korrel < 2mm)	$\delta = \frac{2}{3} * \phi$
Leem	$\delta = \frac{1}{3} * \phi$
Klei	$\delta = \frac{1}{3} * \phi$
Veen	$\delta = 0$

Tabel 2: wandwrijvingshoeken

Toegepaste materialen:

Damwandplanken: Kunststof, recycling PVC met UV bescherm laag
 Staal, S235
 Beton, SPV C45/55, SPW C55/63
 Hout, D50

Anker:

Ø16-3000mm,

E-modulus	Dwars-doorsnede	Lengte	Hoek-verdraaiing	Aangrijpniveau variant 1 & 3	Aangrijpniveau variant 2 & 4	Max. opneembare kracht
$2,1 * 10^8$ kN/m ²	$1,047E^{-4}$ m ² /m ¹	10 m	30 $^{\circ}$	0,3 - Peil	1,0 - Peil	100kN/m ¹



Er worden onverankerde damwanden berekend, tenzij dit niet mogelijk is. Dit kan voorkomen bij een te grote doorbuiging. Er wordt 1 type en aantal ankers per lengte eenheid toegepast. Als na gebruik van dit anker de doorbuiging nog te groot is, wordt het materiaal gezien als niet toepasbaar in die situatie.

Figuur 16: anker

4.1.3 Belastingen

Permanent:

Grondbelasting:

De grondbelastingen volgen uit de grondopbouw, zoals staat in bijlage 4. Deze belastingen worden automatisch door het rekenprogramma M-Sheet gegenereerd. Daarnaast staat dit ook in de handberekeningen in bijlage 5.

Grondwaterbelasting:

Er zijn geen grondwaterbelastingen, omdat aan beide zijden van de damwanden het water op hetzelfde niveau staat. Dit is volgens de aanname.

Veranderlijk:

Er wordt rekening gehouden met maaiveldbelasting = voetgangers = 5kN/m^2 in de a-varianten. Er wordt rekening gehouden met wegverkeer = verkeersklasse 45 = 15kN/m^2 in de b-varianten.

4.2 Uitwerking

Om tot de profielbepaling te komen zijn er hand- en computerberekeningen gemaakt. Van beide type berekeningen is één variant aan deze scriptie toegevoegd. De overige berekeningen zijn niet toegevoegd, vanwege de omvang en het beoogde doel.

4.2.1 Handmatige berekening

Voor de varianten 1a en 4b zijn handmatige berekeningen in combinatie met Pro-sheet gemaakt. Deze zijn gemaakt voor de stalen damwanden. In bijlage 5 staat de handberekening voor variant 1a.

Uit de handberekening komt het profiel AZ 26 met een lengte van 7,6m voor variant 1a. De AZ-profielen komen bij de leverancier Arcelor vandaan. Uit de M-Sheet berekening komt het profiel AZ 28 met een lengte van 8m.

Uit de handberekening komt het profiel AZ 13 met een lengte van 5,1 meter voor variant 4b. Dit in tegenstelling tot de M-Sheet berekening, waar AZ 12 uit komt met een lengte van 4,25 meter.

Deze verschillen worden veroorzaakt doordat het programma Pro-Sheet de beddingsconstante niet meegenomen worden, wat in M-sheet wel gebeurt. Bij M-sheet veranderen de k-waarden aan de hand van de beddingsconstanten. Voor een gelijkwaardige CO₂-uitstoot vergelijking wordt om deze reden alleen gebruik gemaakt van de profielbepaling met behulp van M-Sheet.

4.2.2 Profielen

Alle varianten zijn doorgerekend met het programma MSheet van Delft GeoSystems. In bijlage 6 staat de berekening voor variant 1a. De overige berekeningen zijn vanwege de omvang niet toegevoegd aan dit rapport. Deze varianten zijn op dezelfde wijze als variant 1a berekend.

De betonnen en stalen damwanden zijn alle zonder anker. De houten en kunststof damwanden zijn alle berekend met anker (klapankers ø16-3000mm), omdat anders de doorbuiging te groot wordt. Variant 1b is niet uit te voeren in hout of kunststof. Deze materialen zijn te zwak.

Uit de berekeningen komen de volgende profielen:

Variant 1a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 28	8,00
Beton	SPW 450	8,00
Hout	90mm D50	6,00
Kunststof	SG 950	6,00

Variant 3a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 12	5,25
Beton	SPV 120	5,25
Hout	40mm D50	4,00
Kunststof	SG 425	3,50

Variant 1b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ48	11,00
Beton	SPW 600	10,00
Hout	-	-
Kunststof	-	-

Variant 3b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 12	5,50
Beton	SPV 200	5,50
Hout	50mm D50	4,50
Kunststof	SG 425	4,00

Variant 2a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 12	7,00
Beton	SPV 200	8,00
Hout	70mm D50	5,00
Kunststof	SG 950	4,50

Variant 4a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 12	4,00
Beton	SPV 120	4,00
Hout	30mm D50	3,00
Kunststof	SG 225	3,00

Variant 2b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 19	8,50
Beton	SPW 450	8,00
Hout	90mm D50	5,00
Kunststof	SG 950	5,50

Variant 4b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)
Staal	AZ 12	4,25
Beton	SPV 120	4,25
Hout	30mm D50	3,00
Kunststof	SG 225	3,00

Tabel 3: berekende profielen

5 CO₂-uitstoot

De damwanden zijn bepaald. Hieraan worden nu CO₂-uitstoot gegevens gekoppeld. De uitgangspunten worden eerst weergegeven. Dit zijn uitstootwaarden per kg materiaal. Hiermee wordt de uitstoot per damwand bepaald. De uitkomsten worden vervolgens weergegeven in diagrammen. Er zijn veel verschillende uitstoot gegevens in omloop. Dit zijn niet alleen rapporten van bedrijven zelf, maar ook van programma's. De programma's nemen gemiddelden van de verschillende informatie. Het kan zijn dat de daadwerkelijke uitstoot minder is, omdat de fabriek waar de damwanden besteld worden schoner is dan gemiddeld, evenals dat het meer kan zijn. Voor dit onderzoek zijn gemiddelden aangenomen.

5.1 Uitgangspunten

Voordat aan iedere fase van een damwand CO₂-uitstoot gegevens gekoppeld kunnen worden, moeten eerst de fases in beeld gebracht worden. Voor ieder materiaal type zijn de handelingen anders, evenals de grondstoffen. De stappen zijn voor ieder materiaal op dezelfde manier opgezet, zodat de materialen te vergelijken zijn met elkaar. Er worden CO₂-uitstoot gegevens gekoppeld aan de fases. Deze worden gebruikt voor de CO₂-uitstoot berekening.

5.1.1 Materiaalproductie

De grondstoffen worden gewonnen, wat overal kan plaatsvinden. De grondstoffen worden verplaatst om er vervolgens een halffabricaat van te maken. Hier wordt het gewonnen materiaal omgevormd tot het juiste materiaal. In deze fase wordt ijzererts bijvoorbeeld omgezet in ijzer. Vervolgens gaan de geprepareerde materialen naar de fabrieken voor de damwanden. Hier worden de materialen omgezet in producten. De houten damwandplanken krijgen hier hun messing-groef profiel en kunststof damwanden worden in matrijzen gevormd. De fase materiaalproductie omvat alle stappen vanaf het grondstoffen winnen tot en met het gemaakte damwandprofiel.

Van verschillende leveranciers en adviseurs zijn er gegevens beschikbaar over de CO₂-uitstoot van het produceren van de materialen. Deze staan weergegeven in bijlage 7, CO₂-uitstoot productieproces materialen. De waarden in de balken geven de CO₂-uitstoot in kg per kg materiaal weer. De breedte van de balk geeft aan welke processen zijn opgenomen in deze waarde. De opgenomen waarden komen van bekende bedrijven of van gecertificeerde bestanden. De waarden zijn in sommige gevallen erg wisselend. Uit de gegevens uit bijlage 7 zijn aannamen gedaan, deze staan in tabel 4.

Materiaal	Uitstoot CO ₂ (kg) per kg materiaal
Staal	1,9
Beton	0,3
Hout	0,3
Kunststof	1,8

Tabel 4: CO₂-uitstoot materialen

Met de CO₂-uitstoot waarden uit tabel 4 wordt een groot deel van de levenscyclus van de damwanden ondervangen. De meegenomen stappen zijn: winning grondstoffen, transport grondstoffen, fabriceren halffabricaat, transport, profilering en afbraak. In bijlage 8 staat de berekening weergegeven voor iedere variant van de CO₂-uitstoot voor de materialen.

De aannamen zijn gemiddelden van de beschikbare gegevens. Alle opgenomen bronnen in dit onderzoek zijn als betrouwbaar beschouwd. Bij staal zijn alle bronnen gebruikt voor het bepalen van de CO₂-uitstoot waarde. Het omvormen van schroot en het vervaardigen van nieuw staal komt evenveel energie. Om deze reden wordt er in dit onderzoek hiertussen geen onderscheid gemaakt. De materiaalproductie waarde is 1,9 kg CO₂ per kg staal.

Voor beton kan er door de beperkte beschikbare gegevens geen gemiddelde genomen worden. Het benodigde beton heeft een sterkteklasse van C45/55 en C53/65. De uitstoot van deze sterktes wordt geïnterpoleerd. Daarbij wordt de uitstoot voor het maken van de profielen en het afbreken opgeteld. Dit komt neer op 0,3 kg CO₂ per kg beton.

Voor de houten damwanden wordt loofhout gebruikt, vanwege de benodigde sterkte. Over de uitstoot van het produceren van damwanden van loofhout is weinig informatie beschikbaar. Over naaldhout is meer informatie bekend. Ter vergelijking zijn deze opgenomen in het overzicht die staat gegeven in bijlage 7. De uitstootwaarde voor loofhout is 0,3 kg CO₂ per kg loofhout.

Voor de kunststof uitstootwaarde is het gemiddelde genomen van alle PVC uitstoot gegevens. De andere kunststoffen zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze anders vervaardigd worden. Hierdoor komt de waarde uit op 1,8 kg CO₂ per kg kunststof.

Anker:

Bij de houten en kunststof damwanden zijn ankers benodigd. Het materiaal voor deze ankers levert ook een bijdrage aan de CO₂-uitstoot.

Gewicht trekstang: $10 \times 1,578 \text{ kg/m} = 16 \text{ kg staal}$

Gewicht anker: 6 kg staal

CO₂ uitstoot per anker: $22 \text{ kg} \times 1,9 \text{ kg CO}_2 = 41,8 \text{ kg CO}_2$

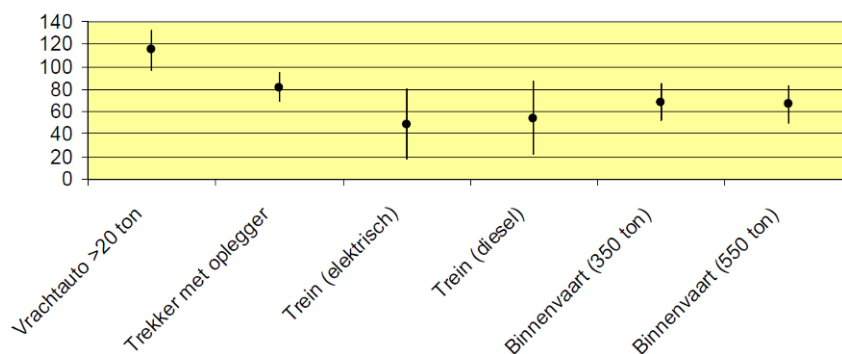
Per constructie 100 ankers benodigd= 4180 kg CO₂

5.1.2 Transport

Op het moment dat de damwanden af zijn, worden deze getransporteerd naar de bouwlocatie. Hiervoor worden voornamelijk vrachtauto's gebruikt. De kunststof en houten damwanden zijn veel lichter dan stalen en betonnen damwanden. Hierdoor hebben de vrachtwagen minder brandstof nodig, wat zorgt voor een lagere CO₂-uitstoot. De afstand waarover de damwanden worden vervoerd bedraagt 100km. Doordat Utrecht centraal in het land ligt is het gemakkelijk te bereiken. De kunststof damwanden worden nog niet gefabriceerd in Nederland en dienen daarom uit Amerika te komen. Deze worden per schip vervoerd.

Voor de CO₂-uitstoot gegevens van transport is een referentieafstand van 100 km retour genomen. 100 km valt onder de korte afstanden in de STREAM⁶. De uitstoot van CO₂ is op kleinere afstanden hoger per km dan bij langere afstanden. Bij langere ritten wordt er verhoudingsgewijs meer over snelwegen gereden dan in dorpen/steden, waardoor er een verschil ontstaat in uitstoot. De hieronder weergegeven CO₂-uitstoot gegevens zijn toepasbaar bij bulktransport op korte afstanden (<150 kilometer).

CO₂ (g/ton-km); bulk; korte afstand; 2010

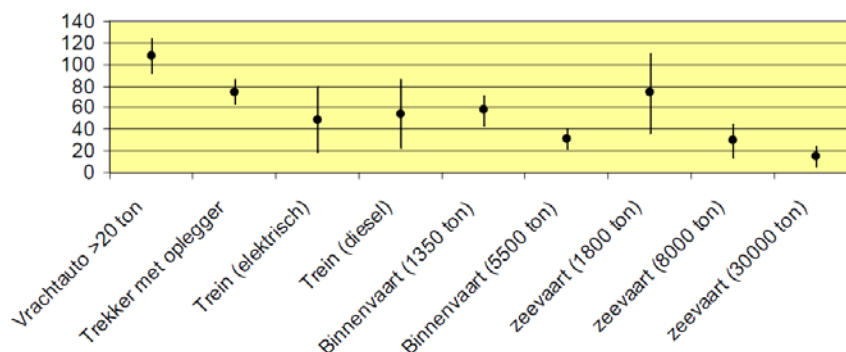


Figuur 17: CO₂-uitstoot bulk, korte afstand (g/ton-km) ⁶

Zoals in figuur 17 valt af te lezen stoot een vrachtwagen 115gram CO₂ uit per ton per km.

Voordat de kunststof damwanden kunnen worden vervoerd naar de bouwlocatie in Utrecht dienen deze per schip naar Nederland verplaatst te worden. De afstand tussen Amerika en Nederland bedraagt 6000km. Dit wordt met een zeevaartschip vervoerd met een vermogen van 8000ton. In figuur 18 staan de CO₂-uitstoot gegevens weergegeven die toepasbaar is bij bulktransport op lange afstanden (>150 kilometer).

CO₂ (g/ton-km); bulk; lange afstand; 2010



Figuur 18: CO₂-uitstoot bulk, lange afstand (g/ton-km) ⁶

Zoals in figuur 18 valt af te lezen stoot een zeevaartschip met een vermogen van 8000 ton 30 gram CO₂ uit per ton per km.

⁶ STREAM, Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten, versie 2.0, F.P.E. Brouwer e.a., Delft, september 2008

De varianten zijn met de genoemde gegevens uitgerekend en de resultaten staan in tabel 5. De berekening staat in bijlage 9.

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Uitstoot (kg CO ₂)
Hout	30mm D50	3,00	202
	30mm D50	3,00	202
	40mm D50	4,00	359
	50mm D50	4,50	505
	70mm D50	5,00	785
	90mm D50	5,00	1009
	90mm D50	6,00	1211

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Uitstoot (kg CO ₂)
Kunststof	SG 225	3,00	2523
	SG 225	3,00	2523
	SG 425	3,50	3434
	SG 425	4,00	3925
	SG 950	4,50	12301
	SG 950	5,50	15034
	SG 950	6,00	16401

Staal	AZ 12	4,00	1366
	AZ 12	4,25	1452
	AZ 12	5,25	1793
	AZ 12	5,50	1879
	AZ 12	7,00	2391
	AZ 19	8,50	3783
	AZ 28	8,00	4582
	AZ 48	11,00	9146

Beton	SPV 120	4,00	4140
	SPV 120	4,25	4399
	SPV 120	5,25	5434
	SPV 200	5,50	7021
	SPV 200	8,00	10212
	SPW 450	8,00	12696
	SPW 450	8,00	12696
	SPW 600	10,00	18630

Tabel 5: CO₂-uitstoot transport damwanden per profiel en kerende lengte van 300 meter

5.1.3 Inbrengen

Voor het inbrengen van de damwanden is hijskraan/heimachine benodigd. Voor het inbrengen van de damwanden is aangenomen dat er geen trillingsbeperking is. Omdat het heien van damwanden steeds minder wordt toegepast wordt er uitgegaan van het trillend inbrengen van de damwanden. Alle vier de materiaaltypes damwanden kunnen trillend ingebracht worden.

De kracht die benodigd is om de damwanden in te brengen is verschillend bij de materiaaltypes. Voor de betonnen damwanden is meer kracht nodig, omdat deze een grotere oppervlakte hebben aan de onderzijde. Daarnaast zijn stalen damwanden zwaarder dan houten en kunststof damwanden, waardoor deze ook een zwaardere kraan nodig hebben. De betonnen en stalen damwanden worden daarom met een zwaardere kraan ingebracht. Er zal ook verschil zijn in het trillingsblok. Dit verschil wordt niet meegenomen in dit onderzoek, omdat hier geen gegevens over bekend zijn. Het aan- en afvoeren van het materieel wordt verwaarloosd.

De houten en kunststof damwanden worden ingebracht met behulp van een Crawler 20-40t. De CO₂-uitstoot van deze Crawler bedraagt 29,37 kg per uur. Voor de betonnen en stalen damwanden wordt gebruik gemaakt van een Crawler 40-60t. Van deze laatste bedraagt de CO₂-uitstoot 33,38 kg per uur.

Per dag staat een crawler 8,5 uur aan. Deze kan 30-35 m¹ inbrengen per dag met een diepte van de damwanden van 6 meter. Dit komt neer op ongeveer 180-210 m² per dag. Voor hout wordt een dagproductie van 210 m² aangehouden en voor kunststof, staal en beton 180 m².

De CO₂-uitstoot bij het inbrengen van de damwanden staat hieronder opgesomd. De berekening van de benodigde tijd per variant en materiaal staat in bijlage 10.

Variant 1a

Materiaal	Uitstoot (kg CO ₂)
Staal	4006
Beton	4006
Hout	2115
Kunststof	2643

Variant 1b

Staal	5508
Beton	5007
Hout	
Kunststof	

Variant 2a

Staal	3505
Beton	4006
Hout	1762
Kunststof	1982

Variant 2b

Staal	4256
Beton	4006
Hout	1762
Kunststof	2423

Variant 3a

Materiaal	Uitstoot (kg CO ₂)
Staal	2629
Beton	2629
Hout	1410
Kunststof	1542

Variant 3b

Staal	2754
Beton	2754
Hout	1586
Kunststof	1762

Variant 4a

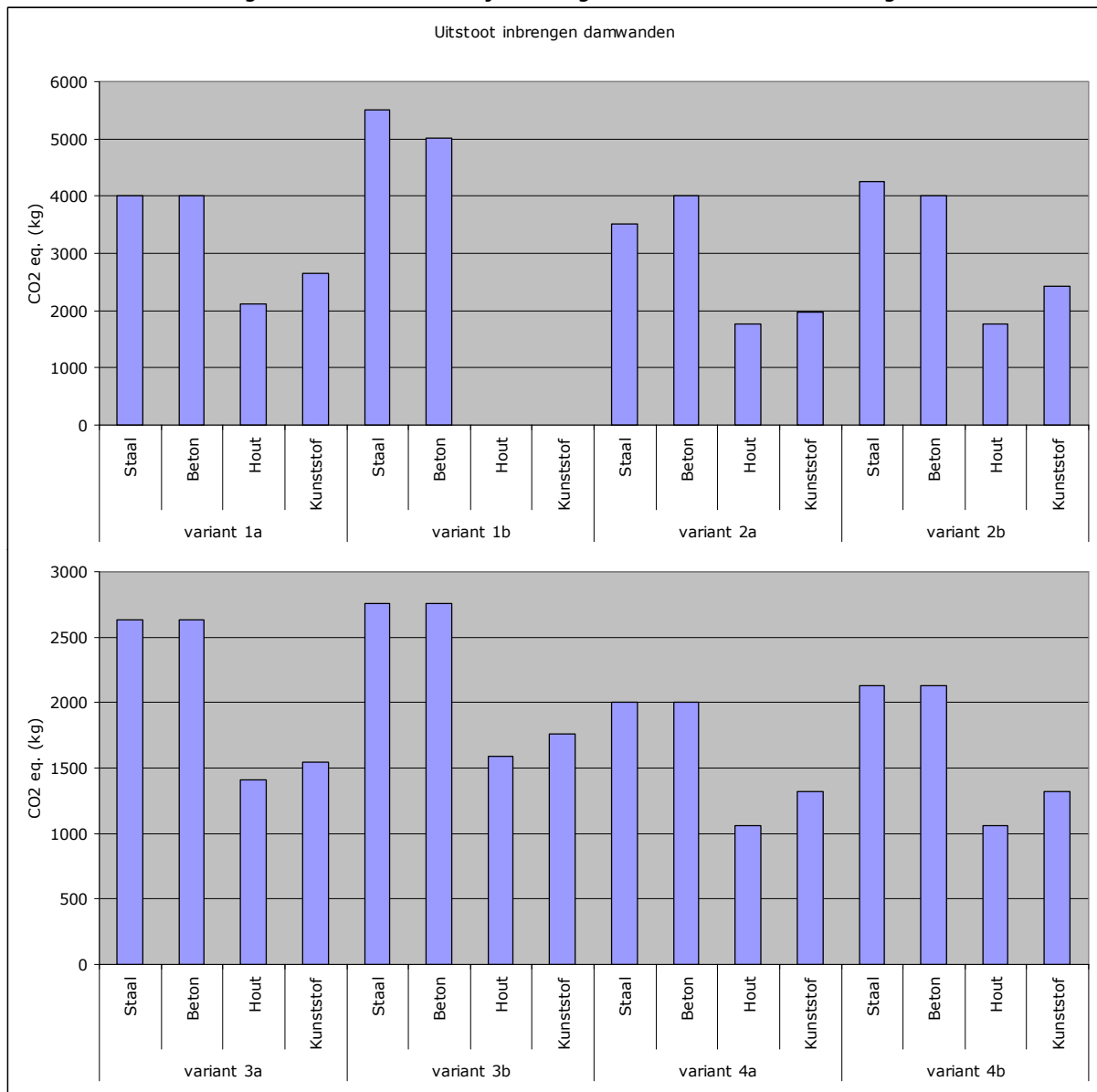
Staal	2003
Beton	2003
Hout	1057
Kunststof	1322

Variant 4b

Staal	2128
Beton	2128
Hout	1057
Kunststof	1322

Tabel 6: CO₂-uitstoot inbrengen damwanden

Doordat stalen en betonnen damwanden niet met een anker zijn uitgevoerd hebben deze een groter oppervlakte. Dit komt doordat zij dieper in de grond moeten worden gebracht, omdat deze het moment op moeten nemen. Het gevolg hiervan is dat er langer gedaan wordt over het inbrengen. De uitstoot van het plaatsen van de ankers wordt niet meegenomen, zoals eerder vermeld. De hiervoor genoemde waarden zijn in de grafiek hieronder zichtbaar gemaakt.



5.1.4 Onderhoud

Wanneer de damwanden goed geplaatst zijn, waar in dit onderzoek vanuit wordt gegaan, is er geen onderhoud nodig voor de damwanden. Een damwand wordt gemaakt voor een bepaalde levensduur en in deze periode worden de damwanden wel geïnspecteerd, maar hoeven er geen werkzaamheden plaats te vinden. Het inspecteren gebeurt eens in de 5 jaar met de auto. De werkzaamheden als gevolg van incidenten worden niet meegenomen.

Bij de Gemeente Utrecht worden de damwanden eens in de 5 jaar geïnspecteerd. De ritten worden voornamelijk met de auto uitgevoerd. Er is geen verschil tussen de hoeveelheid inspecties per materiaaltype damwand. Om deze reden worden deze ritten niet opgenomen in het totaal. Er wordt in dit onderzoek uitgegaan van een levensduur van de damwanden volgens opgave van de leverancier. Er wordt niet uitgegaan van beschadigingen door stootbelasting en dergelijke.

5.1.5 Afbraak/hergebruik

Na een aantal jaren hebben de damwanden hun werk gedaan. De levensduur van de verschillende materialen staan vermeld in de hoofdstukken van de materialen zelf. De damwanden worden dan vervangen. Het materiaal van de oudere damwanden kan worden gerecycled of hergebruikt. In de CO₂-uitstoot gegevens van de materiaalproductie zijn de hergebruikte en gerecyclede materialen opgenomen. Het betreft hier schroot voor staal en betonresten als betongranulaat in nieuw vervaardigd beton. Daarnaast wordt kunststof ook opnieuw verwerkt in nieuwe producten. Kunststof kan maar 8 keer gerecycled worden in tegenstelling tot staal dat onbeperkt gerecycled kan worden zonder kwaliteitsverlies. Hout kan als brandstof dienen voor het opwekken van energie.

Om de verschillende materialen geschikt te maken voor hergebruik of recycling moeten er verschillende handelingen worden verricht. De damwanden moeten uit de grond worden gehaald, maar daarnaast moet ook het materiaal vrij gemaakt worden van verontreinigingen. De uitstoot van CO₂ van deze fase is niet te bepalen. Hierover zijn geen gegevens beschikbaar. Dit is om deze reden niet opgenomen in de vergelijking.

5.2 Onzekerheden

Er is al veel geschreven over CO₂-uitstoot, maar de gegevens zijn niet eenduidig. Er zijn verschillende uitstoot gegevens aan het circuleren. Dit is ook te zien in de materiaalgegevens die in bijlage 7 staan. Op dit moment zijn er grote aannemersbedrijven bezig met het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot hun producten. Binnen dit onderzoek zijn geen nauwkeurige gegevens te achterhalen.

5.2.1 Ontwikkeling

ProRail heeft een CO₂-prestatieladder opgezet. Bedrijven kunnen op verschillende niveaus op deze ladder komen en hiermee een fictieve reductie op hun aanbestedingsprijs toepassen. De ladder begint met het in kaart brengen van het energiegebruik en het hoogste niveau bestaat uit het actief deelnemen aan een CO₂ reductieprogramma van de overheid of een NGO. Aannemerij Gebroeders De Koning is één van de bedrijven die hieraan deelneemt. Op commercieel gebied hebben zij er veel baat bij om hoger op de prestatieladder te komen, omdat ze dan meer kans hebben om werk gegund te krijgen. Gebr. De Koning is op dit moment bezig met een product analyse. Hiervoor waren zij begonnen met stalen damwanden, maar hierover is te weinig concrete informatie te verkrijgen. Om die reden zijn zij gestart zijn met een analyse van betonnen damwanden, hiervoor moeten zij nog informatie krijgen van de leverancier.

Er zijn op dit moment veel bedrijven bezig met het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot. Hiervoor beginnen de meeste bedrijven met het in kaart brengen van de CO₂-uitstoot van het bedrijf zelf (kantoren en wagenpark). Hierdoor zijn er nog niet veel cijfers bekend op dit moment. In de loop van dit jaar komen er een aantal bedrijven met CO₂-uitstoot cijfers, zoals Spanbeton en Lankhorst recycling products.

5.2.2 Applicatie

Voor dit onderzoek is ondermeer gebruik gemaakt van CO₂desk. Hierin staan uitstoot gegevens. Deze uitstoot gegevens zijn gebaseerd op bronnen. De bronnen die hiervoor gebruikt zijn, zijn grotendeels andere bronnen dan de voor dit onderzoek geraadpleegde bronnen. De bronnen die voor dit onderzoek gebruikt zijn worden als betrouwbaar gezien, evenals de bronnen van CO₂desk. Hieruit blijkt dat er verschillende gegevens beschikbaar zijn. Er is geen reden om de ene bron als ongeloofwaardig aan te merken. Er is dus een marge rond de verschillende uitstoot waarden.

In DuboCalc zijn meer milieueffecten opgenomen dan alleen CO₂-uitstoot. Hierdoor komt er in dit programma een overall vergelijking uit. In deze vergelijking wordt er vergeleken met zogenaamde MKI waarden. Alle materialen, materieel en activiteiten hebben een MKI waarde gekregen. Hoe hoger de waarde, hoe slechter het is voor het milieu. Hierin worden alle milieu aspecten meegenomen. Hieruit zou een andere uitkomst kunnen komen dan wanneer er alleen naar CO₂ gekeken wordt, zoals in dit onderzoek gebeurd is.

De in dit programma gehanteerde CO₂-uitstoot waarden zijn; 3,1 kg CO₂ per kg staal, 700 kg CO₂ per m³ beton, 70 kg CO₂ per m³ hout en 2,7 kg CO₂ per kg kunststof. Deze waarden omvatten de hele cyclus. Hierin is het gebruik van materieel opgenomen. De waarden zijn gebaseerd op onder andere gegevens uit SimaPro, waarmee aan de hand van een LCA (Levens Cyclus Analyse) de milieueffecten bekeken worden.

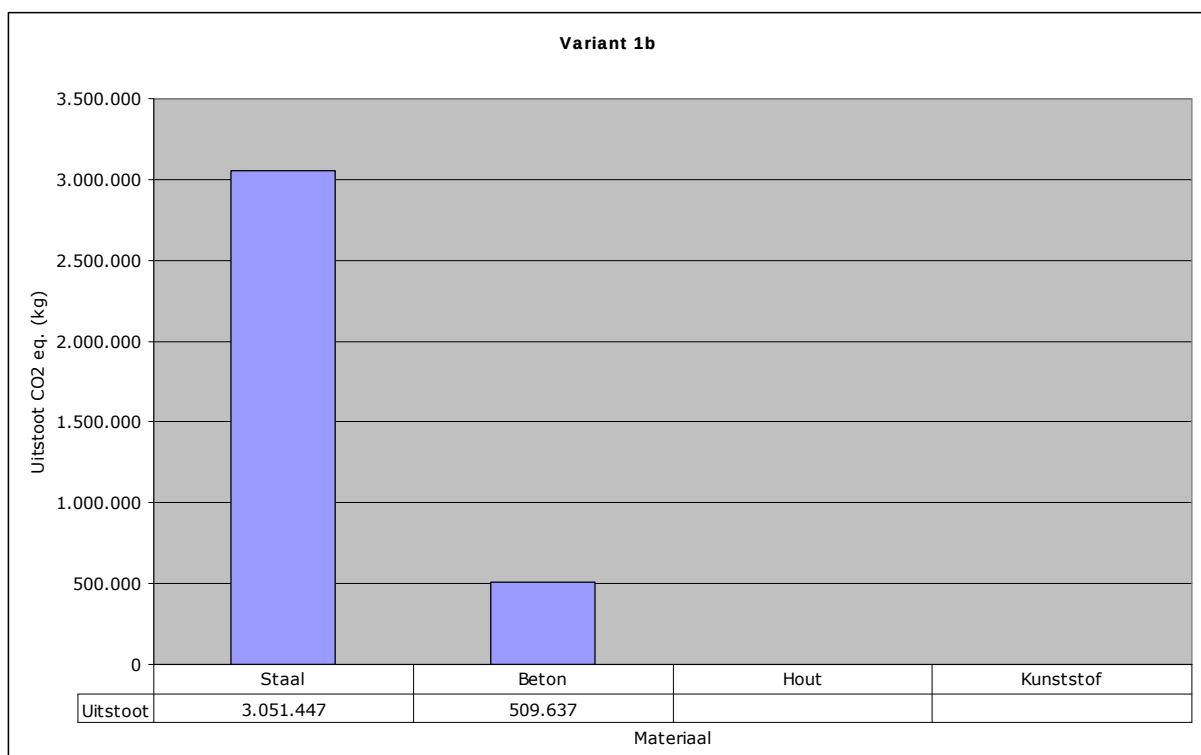
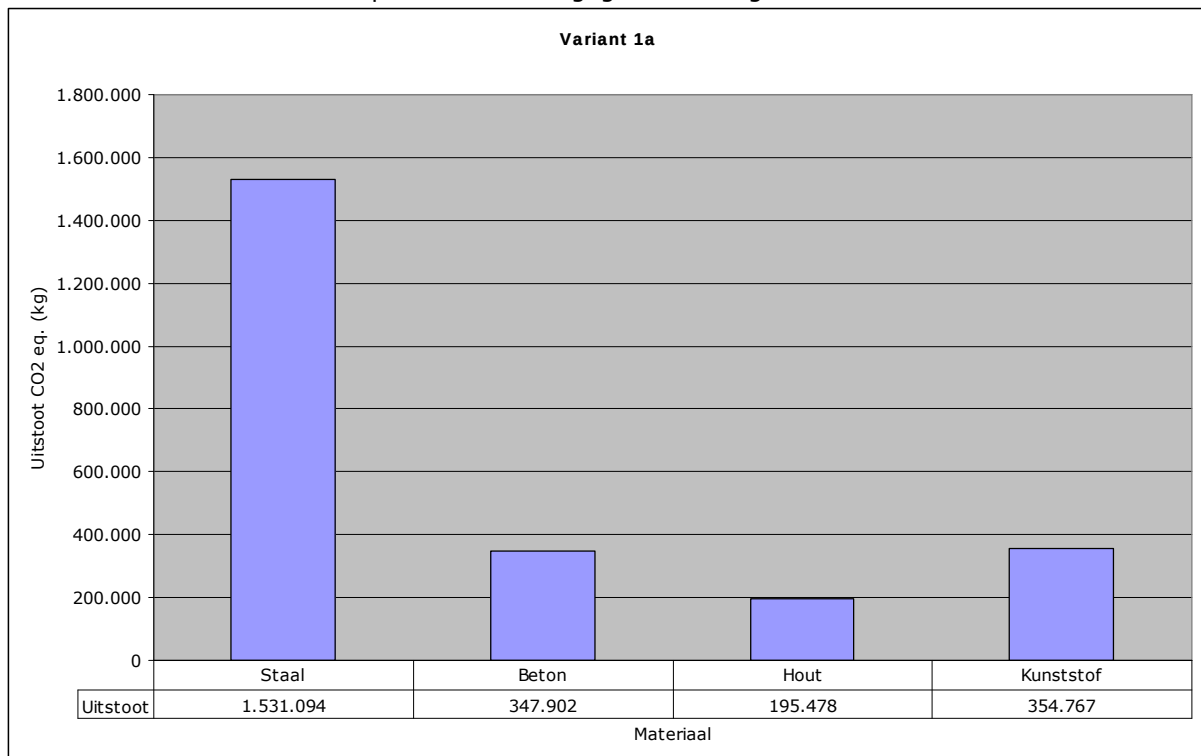
Deze informatie is te laat gekomen om op te kunnen nemen in de vergelijking van dit onderzoek. Het verschil in waarden zou verklaard kunnen worden, doordat DuboCalc uit gaat van een gemiddelde over meerdere fabrieken. Bijvoorbeeld staal wat afkomstig is uit een fabriek van Corus stoot veel minder uit dan staal uit een fabriek in Rusland. Voor een eenvoudig te gebruiken programma is er voor gekozen met gemiddelden te werken.

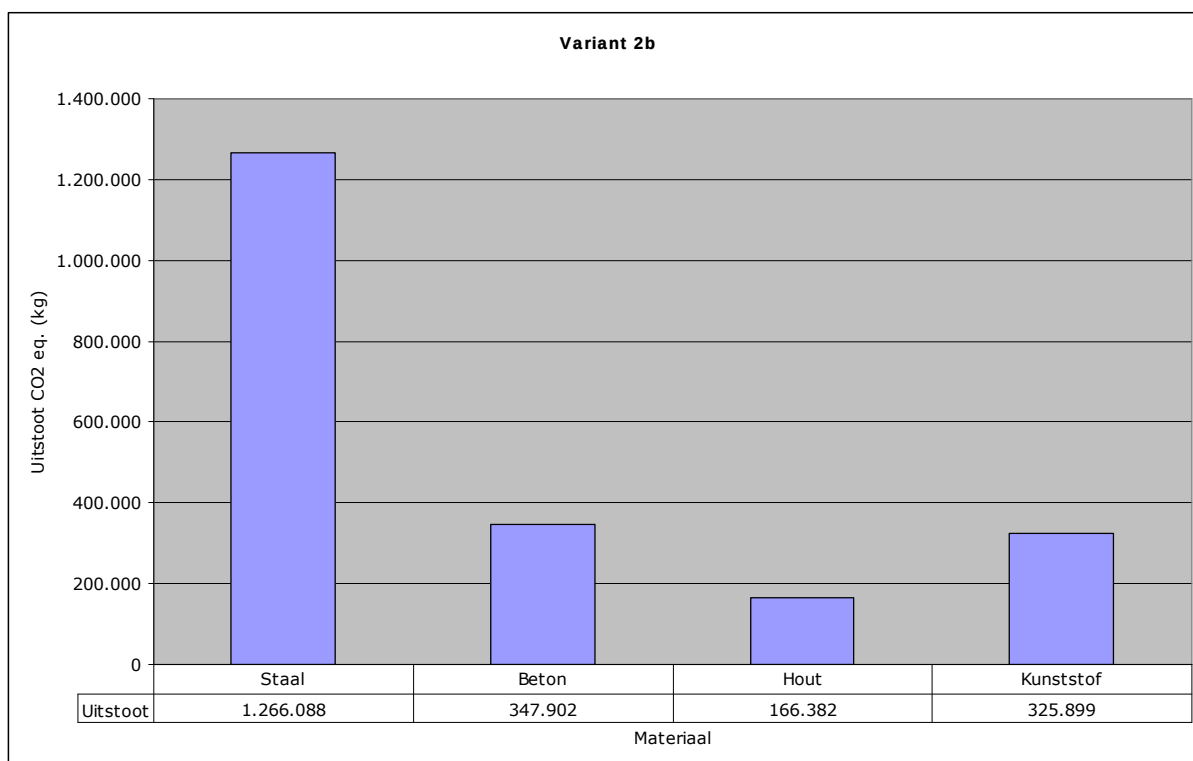
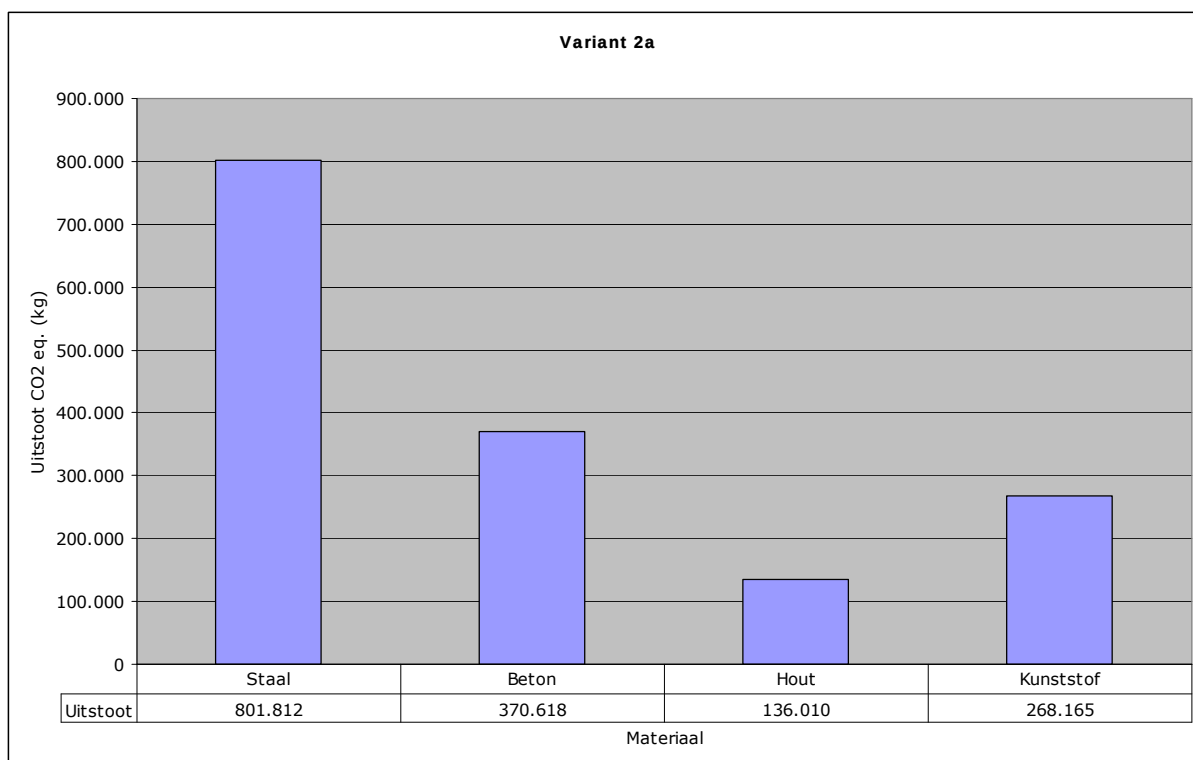
5.3 Resultaat

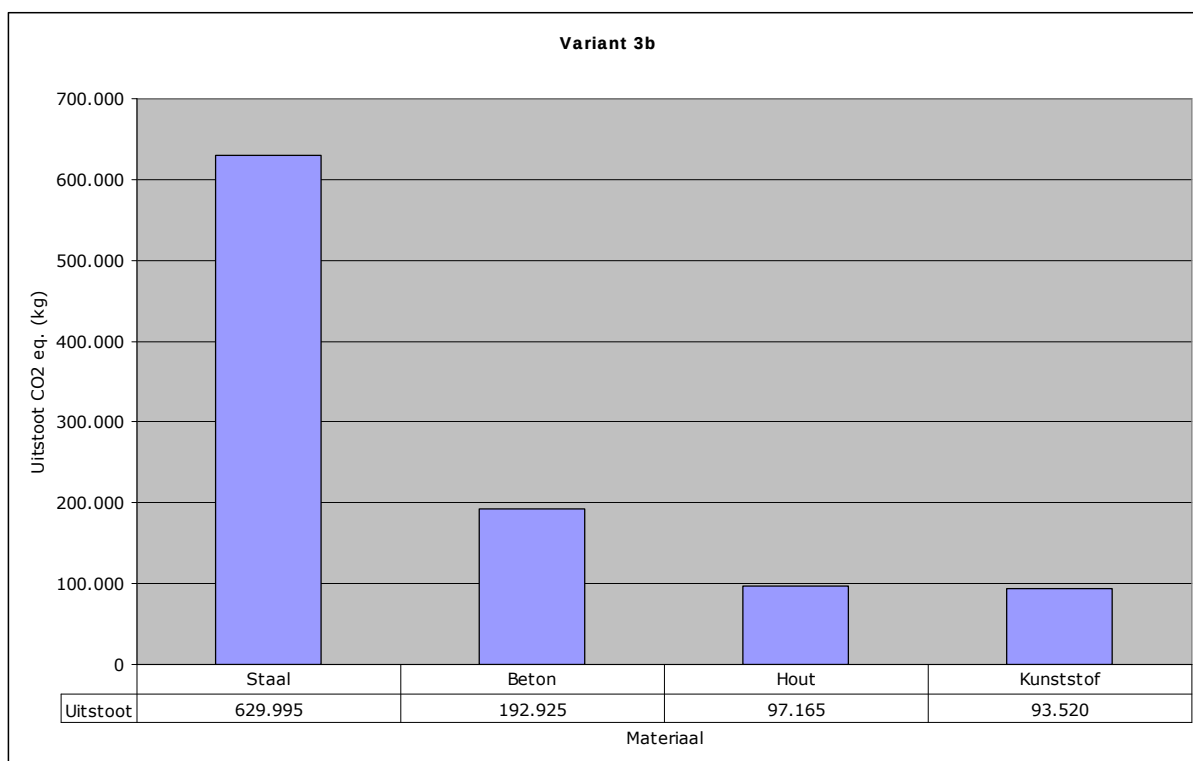
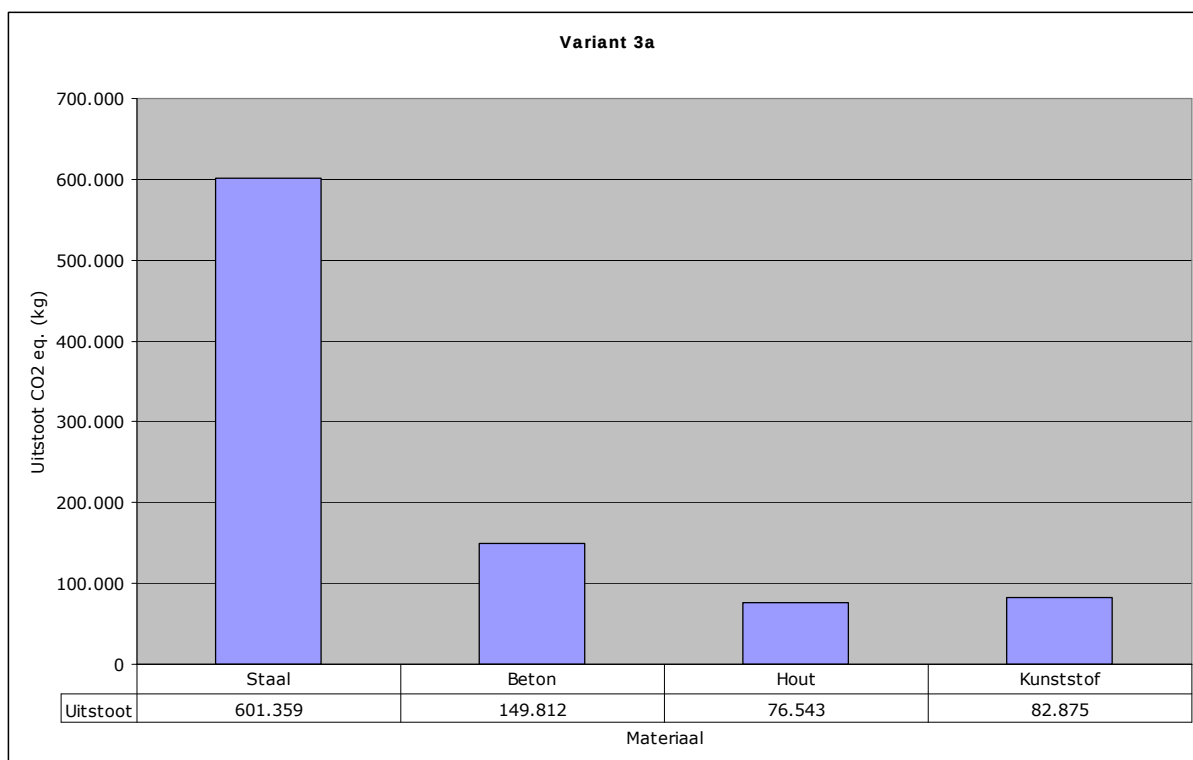
Allereerst worden de resultaten weergegeven van de CO₂-uitstoot berekeningen. Vervolgens wordt een vergelijking gemaakt met de gegevens van DuboCalc. Ten slotte wordt de opbouw van de waarden toegelicht en vergeleken.

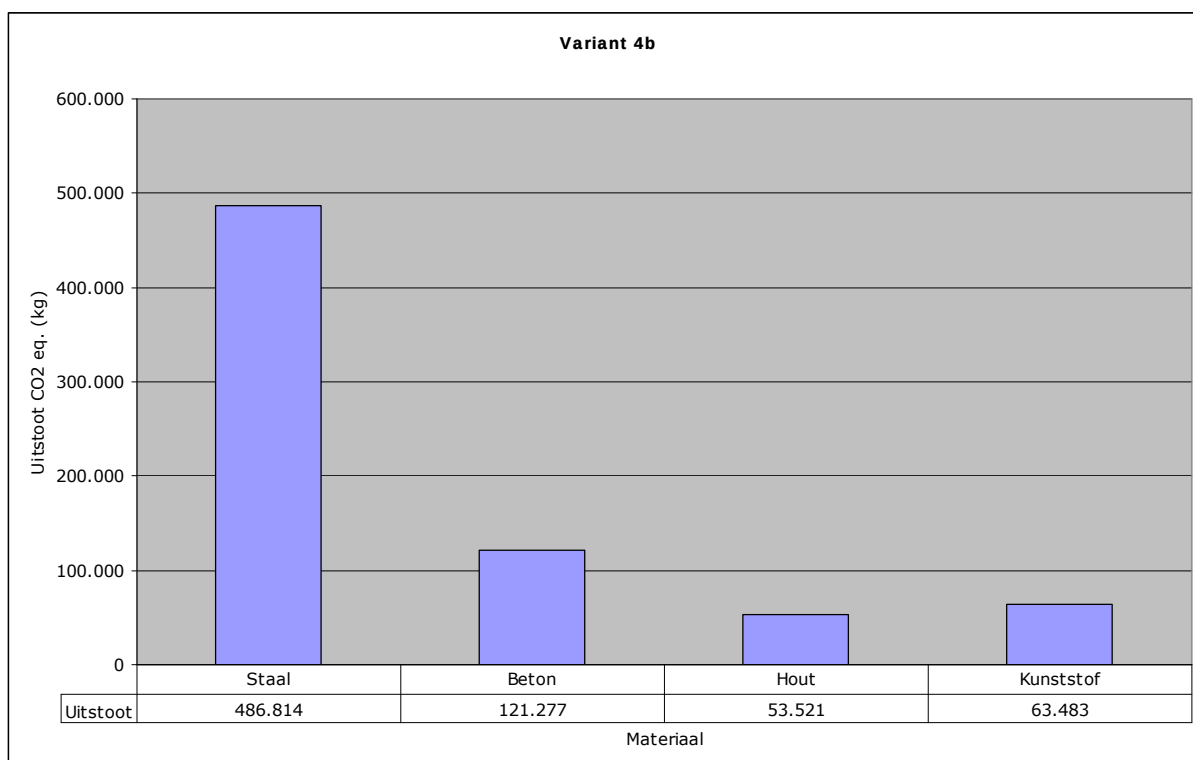
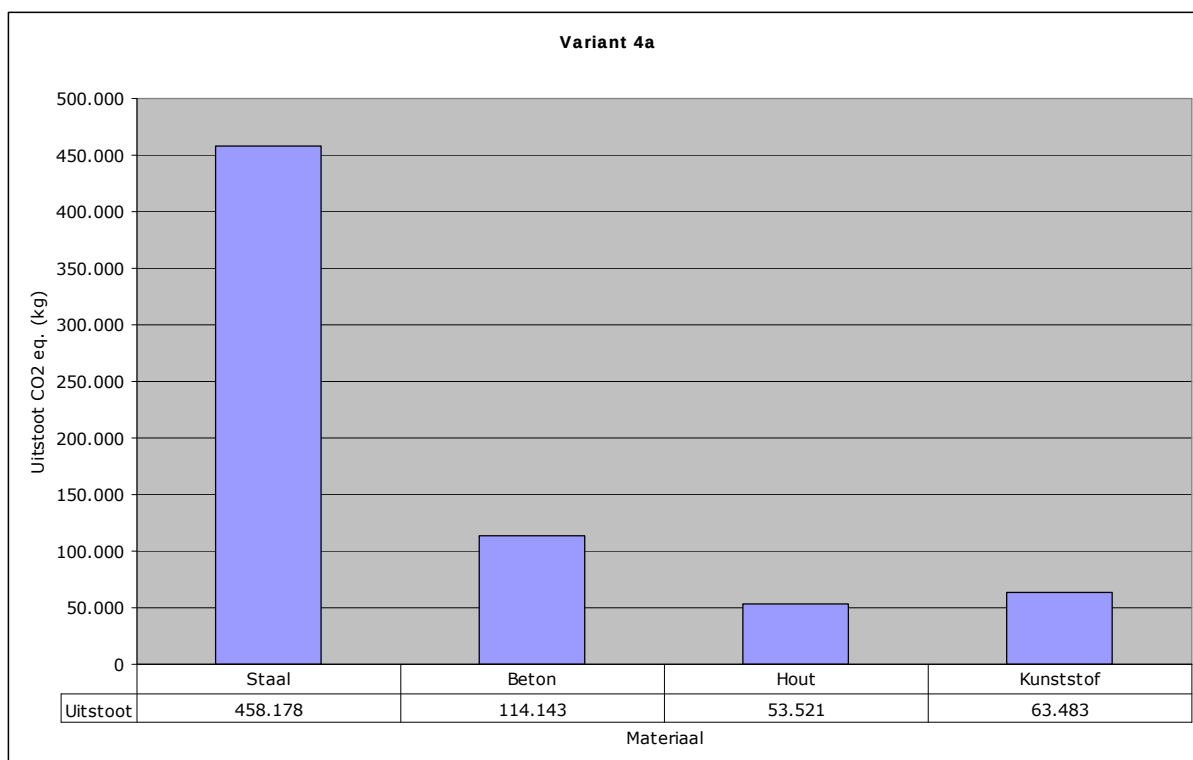
Nu de uitstoot in kaart is gebracht kan er een optelsom gemaakt worden. De hiervoor berekende uitstoot is bij elkaar opgeteld tot een totaal. De levensduur van de verschillende materialen is verschillend. Hierdoor wordt het totaal aan uitstoot bij houten damwanden vaker vermenigvuldigd dan de andere materialen. Er wordt gerefereerd aan een levensduur van 100 jaar. De berekening staat in bijlage 11, waarbij de kolom factor slaat op de hoeveelheid keren dat de damwand toegepast moet worden voor het bereiken van 100 jaar.

Hieronder staan de resultaten per variant weergegeven in diagrammen.









Uit de CO₂-uitstoot diagrammen is te zien dat houten damwanden het minste CO₂ uitstoten. In de veengrond komt hout het beste uit de vergelijking, ondanks het feit dat een houten damwand 5 keer geproduceerd moet worden ten opzichte van de 2 keer van stalen en kunststof damwanden. Hierbij moet opgemerkt worden dat de factoren over het inbrengen niet nauwkeurig bekeken konden worden. Hierdoor zouden houten damwanden minder voordelig kunnen worden. In de veengrond zal dit naar waarschijnlijkheid niet van invloed zijn op het resultaat. Het verschil is dusdanig groot, dat er geconcludeerd kan worden dat houten damwanden in dit soort situaties de minste CO₂-uitstoot opleveren.

Bij de varianten 3 en 4 zijn de verschillen van de CO₂-uitstoot tussen houten en kunststof damwanden gering. De grond is hier opgebouwd uit zand. De uitstoot zit hier dusdanig dicht bij elkaar dat er niet op basis van deze cijfers een conclusie getrokken kan worden voor algemene projecten. Dit zal project afhankelijk bekeken moeten worden. Over kunststof wordt beweerd dat de levensduur langer is dan 50 jaar. Wanneer dit het geval is zal kunststof op CO₂-uitstoot het beter gaan doen dan hout.

Stalen en betonnen damwanden komen uit dit onderzoek slecht naar voren. Deze damwanden zijn gemaakt voor het keren van grote hoogtes. Beton is van deze materialen de beste keuze, wanneer er rekening gehouden dient te worden met een zo laag mogelijke CO₂-uitstoot. Deze damwanden zijn niet geschikt voor lichte situaties. Het verschil tussen deze materialen is groot. De CO₂-uitstoot van betonnen damwanden is vele malen minder dan die van stalen damwanden.

5.3.1 DuboCalc

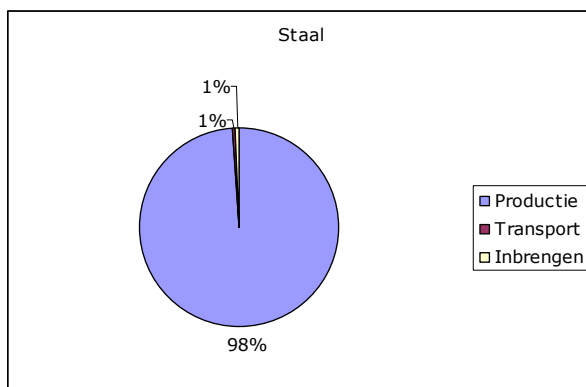
In de paragraaf 5.2.2 Applicatie staan de gegevens waarmee DuboCalc rekent. In verband met het feit dat deze gegevens ter beschikking kwamen in de afrondende fase van dit onderzoek is hiermee geen berekening gemaakt. Wel volgt hier een redenering over de invloed van deze uitstootgegevens.

Stalen damwanden geven de meeste CO₂ uitstoot. Door de waarde van DuboCalc zal dit meer zijn, omdat deze waarde ongeveer 1,5 keer zo hoog is. Dit geldt tevens voor de kunststof damwanden. Voor de betonnen damwanden zal de uitstoot ongeveer gelijk zijn als berekend. Bij houten damwanden zal de uitstoot 3 keer zo laag zijn als berekend. Hierdoor zal hout veel gunstiger worden dan kunststof. Hout en kunststof zijn voor dezelfde situaties toepasbaar. Hout levert veel minder CO₂-uitstoot op, waardoor dit beter is voor het milieu. Het verschil tussen staal en beton wordt groter. De volgorde in meer en minder CO₂-uitstoot blijft gelijk, op kunststof na, alleen de verschillen worden groter. Kunststof zal ongeveer gelijk komen te staan qua CO₂-uitstoot met betonnen damwanden.

DuboCalc heeft de gegevens gebaseerd op aannamen. De aannamen zijn gedaan voor het materieel dat gebruikt moet worden, maar ook voor de CO₂ waarden van de productie zelf.

5.3.2 Opbouw CO₂-uitstoot

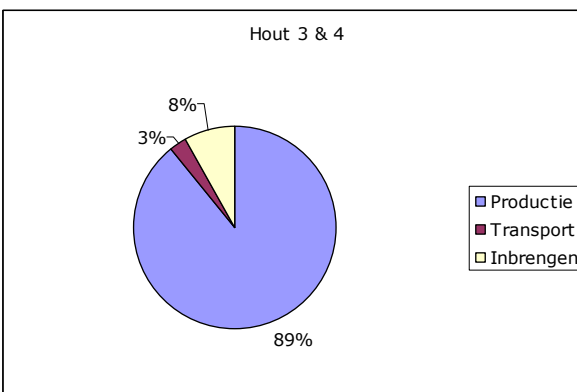
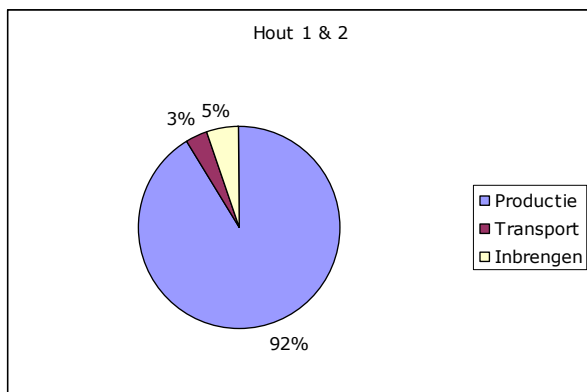
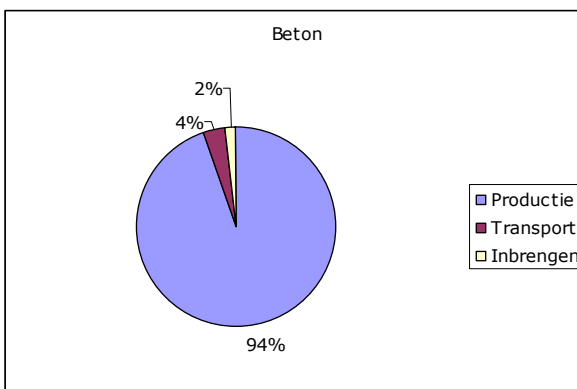
Tijdens het produceren van de materialen wordt er veel uitstoot gevormd. Dit is bij alle materialen het geval. De andere aspecten hebben wel invloed op het totaal, maar dit is een aanzienlijk kleiner deel. De verhouding van de CO₂-uitstoot is hieronder weergegeven in diagrammen. De waarden zelf staan in bijlage 11.



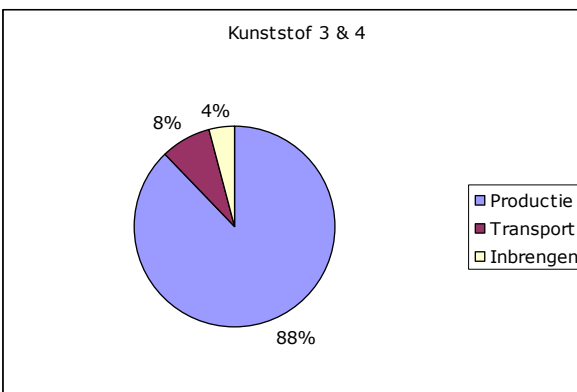
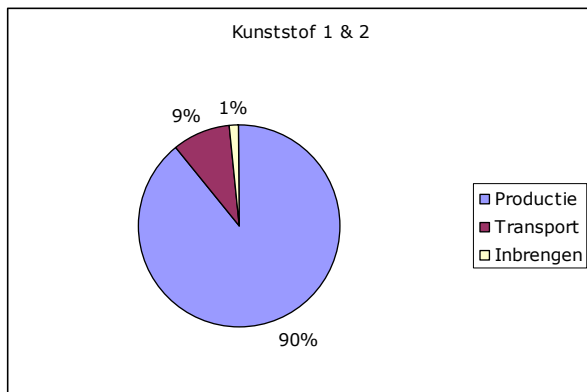
Bij staal wordt veel energie gebruikt bij het produceren van de profielen. Hierdoor is de CO₂-uitstoot van het transporteren en inbrengen maar een gering percentage. Er is geen verschil tussen de verschillende varianten. De verhoudingen blijven gelijk.

Dit geldt ook voor de betonnen damwanden. Hier heeft het transport wel meer invloed. Dit komt doordat de damwanden zwaarder zijn, waardoor er bij het transporteren meer uitstoot is. Daarnaast komt er minder uitstoot vrij tijdens het produceren van de damwanden. Hierdoor heeft transport verhoudingsgewijs meer invloed bij betonnen damwanden dan stalen damwanden.

De houten en kunststof verhoudingen komen op het gebied van productie proces nagenoeg overeen. Wel is het transporten en inbrengen verschillend.



Bij houten en kunststof damwanden is een verschil in percentage te zien bij de varianten 1 en 2 ten opzichte van de varianten 3 en 4. De houten en kunststof damwanden hebben veel minder uitstoot tijdens het produceren dan staal en beton. Hierdoor hebben transport en inbrengen meer invloed op het totaal bedrag. Bij de varianten 1 en 2 zijn zwaardere constructies benodigd dan bij de varianten 3 en 4. Hierdoor zijn de damwanden dikker bij de varianten 1 en 2. Voor het inbrengen is de oppervlakte van belang, omdat hierop de aanname is gebaseerd voor de duur van het inbrengen. De dikte van de profielen is wel van invloed op de inbrengsnelheid. Het inbrengen heeft door de grotere oppervlakte een grotere invloed op het totaal aan CO₂-uitstoot bij de varianten 3 en 4.



6 Conclusie

Aan het begin van het onderzoek is er uitgezocht wat voor damwanden er op de markt te verkrijgen zijn. Het betreft damwanden gemaakt van de materialen staal, beton, hout en kunststof. Er is gekeken naar het productieproces en de daarbij behorende eigenschappen. In dit stadium zijn acht situaties opgezet om de verschillende damwanden te kunnen vergelijken en deze zijn doorgerekend.

Het tweede deel van het onderzoek is gericht op de CO₂-uitstoot. Hierbij kwam naar voren dat er nog niet veel gegevens zijn over CO₂-uitstoot van activiteiten en producten. Dit komt doordat nog weinig bedrijven onderzoek doen naar hun eigen CO₂-uitstoot. Door onder meer initiatieven als de prestatieladder van ProRail worden bedrijven hier wel bewuster van. Een aantal bedrijven is nu gestart met het in kaart brengen van hun eigen CO₂ huishouding.

Er zijn wel programma's op de markt voor het berekenen van CO₂-uitstoot, GreenCalc+ en CO₂ desk. GreenCalc+ is niet geschikt voor de civiele techniek en CO₂Desk beschikt niet over alle benodigde materialen. Op termijn komt DuboCalc op de markt, die voor de civiele sector een goede aanvulling wordt, ondanks dat er gekozen is voor een vereenvoudigde aanpak. Door het programma DuboCalc kunnen materialen vergeleken worden. Hiermee kan minder uitstoot tijdens de bouw niet worden bereikt.

Doordat de CO₂-uitstoot nog niet in kaart is gebracht voor alle activiteiten is het niet mogelijk een waterdichte CO₂ berekening op te stellen. De gegevens van deze programma's zijn als bronnen gebruikt en niet als absolute waarheden.

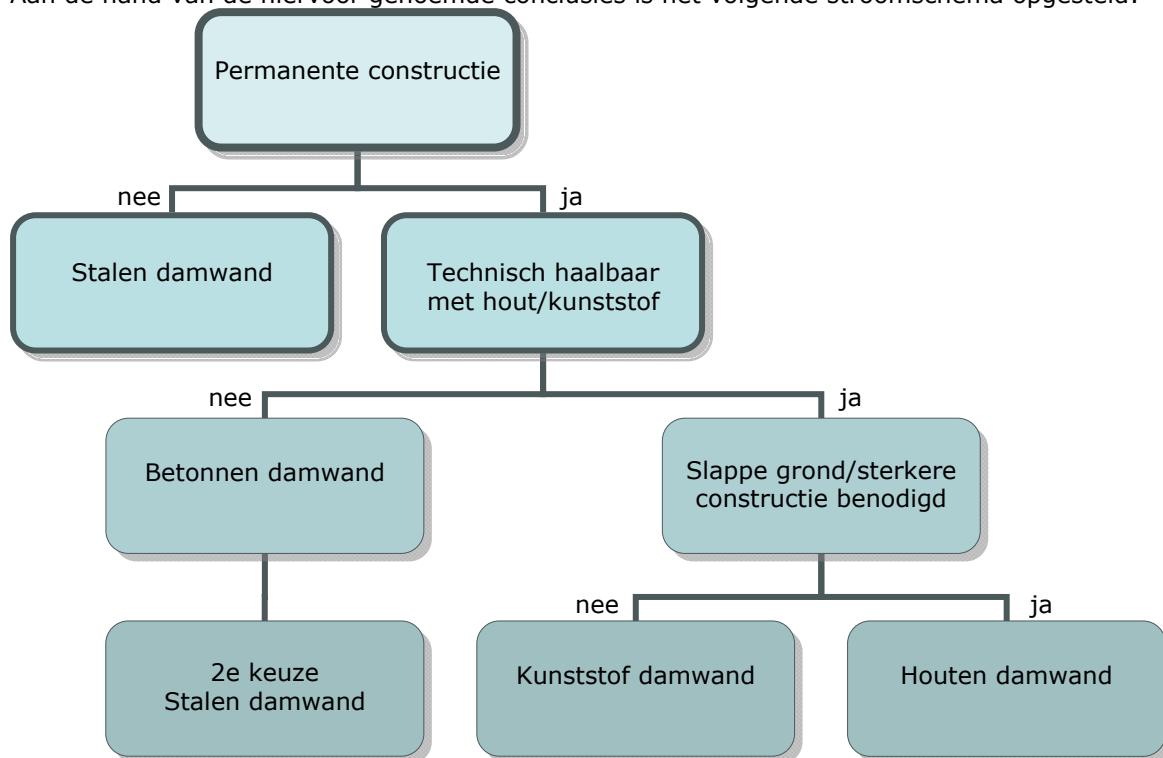
Naar het gebruik van damwanden in tijdelijke constructies is niet gekeken. Hiervoor worden in de praktijk altijd stalen damwanden toegepast. Dit is voor dit onderzoek een aanname.

Over alle materialen kan gezegd worden dat tijdens het produceren van de materialen de meeste CO₂ vrij komt. Bij het transporteren en inbrengen komt ook CO₂ vrij, maar dit is een aanzienlijk kleiner percentage. Door het gebruik van een ander inbrengsysteem kan de CO₂-uitstoot wel naar beneden gebracht worden, maar wanneer er bij het produceren de uitstoot verminderd kan worden, levert dit een grotere winst op.

Uit de resultaten van de CO₂-uitstoot vergelijking is te zien dat stalen damwanden de meeste uitstoot hebben. Voor permanente damwandconstructies is het gebruik van stalen damwanden altijd slechter op het gebied van CO₂-uitstoot dan betonnen, houten en kunststof damwanden. Het productieproces veroorzaakt veel meer CO₂-uitstoot dan wat bij de andere materialen wordt uitgestoten. Wanneer een damwand een grote hoogte moet keren en dit niet mogelijk is door hout of kunststof dan heeft beton de voorkeur. Tijdens het produceren van beton ontstaat er 3 tot 4 keer minder CO₂ dan bij staal.

Bij lichtere constructies, waar het mogelijk is om met kunststof en houten damwanden te werken, is het aanbevolen met hout of kunststof te werken. De uitstoot van CO₂ is in stevige gronden ongeveer gelijk, zoals in de resultaten af te lezen is. Hierbij moet opgemerkt worden dat er aannamen gedaan zijn in dit onderzoek en dat bij een nauwkeurigere benadering de uitkomsten anders kunnen zijn. De kunststof damwanden krijgen van de fabrikant een garantie mee dat ze 50 jaar mee gaan. Er zijn inmiddels onderzoeken waarbij verondersteld wordt dat kunststof damwanden tot 100 jaar meegaan. Wanneer dit zo blijkt te zijn, zullen kunststof damwanden minder CO₂ uitstoten in verhouding tot de levensduur dan hout. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het volgende. Kunststof damwanden zijn goed bruikbaar voor lichtere constructies. Bij iets zwaardere constructies wordt er gelijk veel meer kunststof toegepast, waardoor de CO₂-uitstoot tijdens het proces aanzienlijk wordt vergroot. Dit verschil is bij hout niet zo groot, waardoor er een omslagpunt ligt voor het gebruik van hout ten opzichte van kunststof.

Aan de hand van de hiervoor genoemde conclusies is het volgende stroomschema opgesteld:



Figuur 19: stroomschema keuze materiaaltype, gebaseerd op CO₂ uitstoot

Voor het berekenen van de CO₂ die uitgestoten wordt tijdens processen zijn veel verschillende waarden. Iedere bron geeft andere waarden. De onzekerheden van de uitgangspunten zijn groot. Hierdoor is het gevaarlijk hierop voort te borduren. Een onderzoek waar gekeken wordt naar CO₂-uitstoot is nooit volledig zeker, omdat er gewerkt wordt met onzekere uitgangspunten.

6.1 Kanttekening

De hiervoor genoemde conclusies zijn gebaseerd op de hoeveelheid CO₂-uitstoot in het gehele productie- en gebruiksproces en de levensduur. Dit omvat maar een klein deel van duurzaamheid. Duurzaamheid is een breed begrip. Duurzame ontwikkeling is ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen, zoals gezegd in het rapport 'Our Common Future' uit 1987. Een van de aspecten die een 'gevaar' vormt voor de toekomstige generaties is koolstofdioxide uitstoot. Koolstofdioxide is in dit onderzoek uitgelicht. Er moet rekening gehouden worden dat er niet is gekeken naar andere schadelijk gassen. Daarnaast is er geen rekening gehouden met uitputting van bronnen.

6.2 Aanbevelingen

Voor dit onderzoek zijn aannamen gedaan. Deze aannamen zijn gemaakt na aanleiding van de beschikbare gegevens. Nieuwe onderzoeken kunnen andere of gedetailleerdere informatie geven. Hierdoor zou er een verandering kunnen ontstaan in de uitgangspunten, wat een verandering oplevert in de voorkeur voor een bepaald materiaal. De groep Bouwtechniek & Constructies dient op de hoogte te blijven van deze ontwikkelingen. Dit kan door middel van het lezen van vakbladen en het onderhouden van contacten met leveranciers. Hierdoor kunnen de waarden worden aangepast waar nodig, zodat er een juist beeld blijft.

Het programma DuboCalc is een programma van Rijkswaterstaat. Zij willen dit programma langzaam op de markt gaan brengen. Dit programma berekent de milieueffecten van materiaal- en energiegebruik van infrastructurele werken. Met dit programma kunnen ontwerpalternatieven op het gebied van milieu vergeleken worden. Dit zal een goed hulpmiddel zijn om de ambitie te gaan bereiken om in 2030 een klimaatneutrale stad te zijn. De gemeente zal contact kunnen houden met Rijkswaterstaat, zodat de gemeente gelijk gebruik kan maken van het programma als het op de markt komt. Het verzoek naar Rijkswaterstaat is om DuboCalc zo snel mogelijk op de markt te brengen, zodat dit voor iedereen te gebruiken wordt.

Op dit moment hebben weinig bedrijven in de bouw en civiele sector de CO₂-uitstoot in kaart van het bedrijf, de activiteiten en de productie van wat ze produceren. Zodra dit gebeurt, kunnen er werkelijk uitspraken gedaan worden over de CO₂-uitstoot. Dan is er gelijk de mogelijkheid om de CO₂-uitstoot te verminderen.

7 Bronnen

Boeken:

- P. Nederhoed (achtste druk), *Helder rapporteren*, 2004, Bohn Stafleu van Loghum, Houten
- © CUR-publicatie 166 (vierde druk), *Damwandconstructies*, oktober 2005, Stichting Cur, Gouda CUR 166

Readers:

- Geotechniek I, U. Valkenier e.a., september 2001, Hogeschool van Utrecht
- Geotechniek II, U. Valkenier, september 2001, Hogeschool van Utrecht
- Grondmechanica, A. Verruijt, 2003, Technische Universiteit

Rapporten/folders/bladen:

- Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan, report no 1998-5, Steven Blanchard e.a., September 1998
- Environmental economic assessment of Plato products, TME, Maarten Nypels e.a., 1 oktober 1998
- MRPI 2.1/00019/002, Gietbouw Centrum, 01-12-2006, Veenendaal
- MRPI 20.1/00020/002, Gietbouw Centrum, 01-12-2006, Veenendaal
- Rapport: Scope 3 analyse 'in situ' beton, Van Hattum en Blankevoort, 15-03-2010
- MRPI 9.1/00010/001, Bouwen met staal, 14 juli 2003, Rotterdam
- Folder Haasnoot Composieten BV
- TNO rapport: Determination of mechanical properties of C-Loc sheet piles and derivation of design values, Ir J-W.G. van de Kuilen, june 1999
- STREAM, Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten, versie 2.0, F.P.E. Brouwer e.a., Delft, september 2008
- Our Common Future, Brundtland Report, 1987

Internetsite's

Organisatie;

- <http://www.utrecht.nl/ibu> februari 2010

Damwanden;

- http://www.arcelorprojects.nl/NL/sheet_piling.htm maart 2010
- http://www.spanbeton.nl/content.php?pagina_id=3 februari 2010
- <http://www.nigtevecht.com/waterbouw.html> maart 2010
- <http://www.houtinfo.nl/main.php?mn=0&id=823> februari 2010
- <http://www.reefhout.nl/> februari 2010
- http://www.cmisheetpiling.com/sheet_piling_engineering/cmi-vinyl.php februari 2010
- <http://www.espinternational.nl/> maart 2010

Inbrengmethoden;

- http://shoreguard-damwanden.nl/damwand/damwand_installation.php februari 2010

Dubocalc;

- <http://www.rws.nl/wegen/innovatie%5Fen%5Fonderzoek/schoner%5Fen%5Fduurzamer/duurzaam%5Finkopen/dubocalc/> mei 2010

CO₂ prestatieladder;

- http://www.prorail.nl/ZAKENPARTNERS/AANBESTEDEN%20EN%20INKOOP/Pages/CO2-Prestatie_ladder.aspx maart 2010

CO₂ gegevens;

- http://nl.wikipedia.org/wiki/Duurzaam_bouwen april 2010
- http://www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/life-cycle_energy_and_emissions.htm april 2010
- http://www.fnvcorus.nl/index.php?option=com_content&task=view&id=540&Itemid=1 april 2010
- <http://www.voka.be/vev/nieuws/Pages/1tonstaal19tonCO2.aspx> april 2010
- <http://www.milieukundigen.nl/file.php?id=983> april 2010
- http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf april 2010
- <http://www.pvc.org/Sustainability/Eco-profiles-and-LCA> april 2010

8 Afbeeldingverantwoording

Figuur 1: organigram Gemeente Utrecht

Auteur: J.G. Blom

Figuur 2: IBU logo

<http://www.utrecht.nl/smartsite.dws?id=72604>

Figuur 3: CO2 Desk

<http://www.wiki.bamco2desk.nl/carbonwiki/bin/download/Main/WebHome/PCClogo.jpg>

Figuur 4: principe damwand

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Damwand>

Figuur 5: warmgewalste damwand

http://www.arcelorprojects.com/NL/sheet_piling.htm

Figuur 6: heien

<http://www.dieseko.nl/nl/heihammers.html>

Figuur 7: trillen damwand

<http://www.gebrdekonig.nl/materieel/kranen/hitachi-kh-180.html>

Figuur 8: drukken damwand

<http://www.vanthek.nl/materieel/30/hek-quattro-piler.html>

Figuur 9: damwandplanken

<http://www.nigtevecht.com/producten/waterbouw/waterbouw4.html>

Figuur 10: spanwanden

Auteur: Expo duurzame waterbouw

Figuur 11: messing-groefverbinding

<http://www.bosch-do-it.nl/doe-het-zelfer/doe-het-zelf-kennis/tips-trucs/3086/tips-trucs.shtml>

Figuur 12: damwand dadfsfdddamwadamwand

http://www.devogel-beschoeiingen.nl/downloads/files/beschoeiing_zakelijk2.jpg

Figuur 13: gecombineerde damwand

folder De naadloze oplossing, Van Swaay H2H®

Figuur 14: kunststof damwand

Auteur: Expo duurzame waterbouw

Figuur 15: levenscyclus kunststof

<http://www.pvc.org/Sustainability/LCA>

Figuur 16: anker

http://www.jldinternational.nl/images/stories/documents/marine/anchor_sub/jldmarineoverviewofanchors.pdf

Figuur 17: CO2-uitstoot bulk, korte afstand (g/ton-km)

STREAM, Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten, versie 2.0, L.C. den Boer, F.P.E. Brouwer, H.P. van Essen, Delft, september 2008

Figuur 18: CO2-uitstoot bulk, lange afstand (g/ton-km)

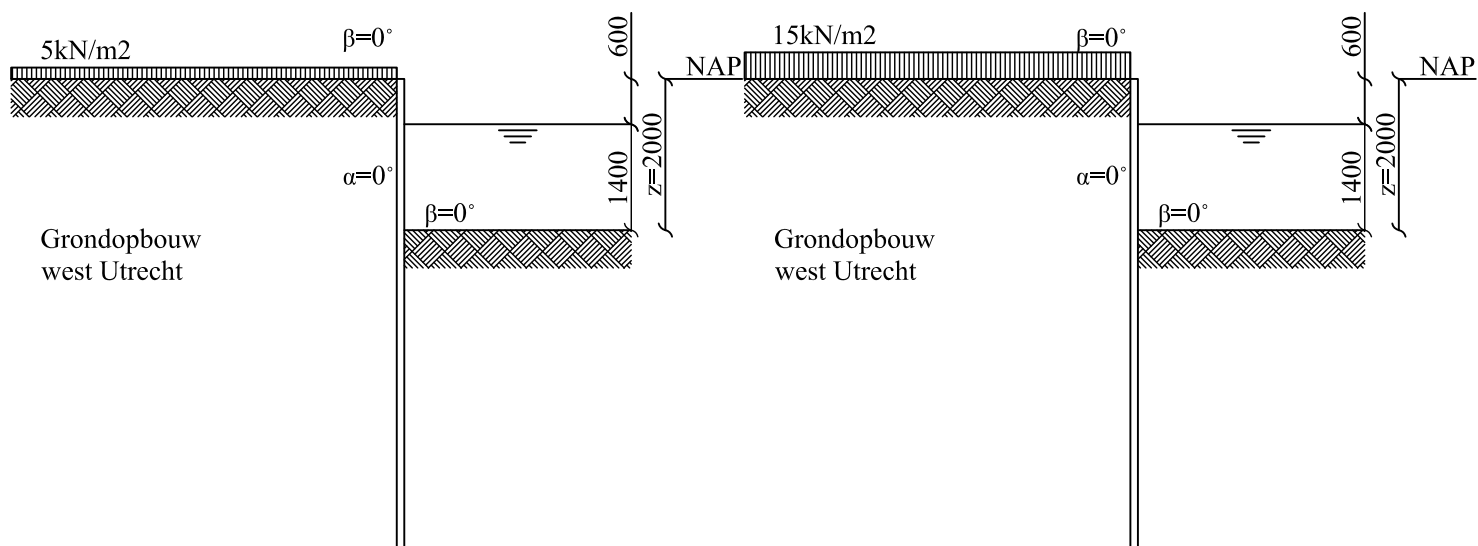
STREAM, Studie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten, versie 2.0, L.C. den Boer, F.P.E. Brouwer, H.P. van Essen, Delft, september 2008

Figuur 19: stroomschema keuze materiaaltype, gebaseerd op CO2 uitstoot

Auteur: J.G. Blom

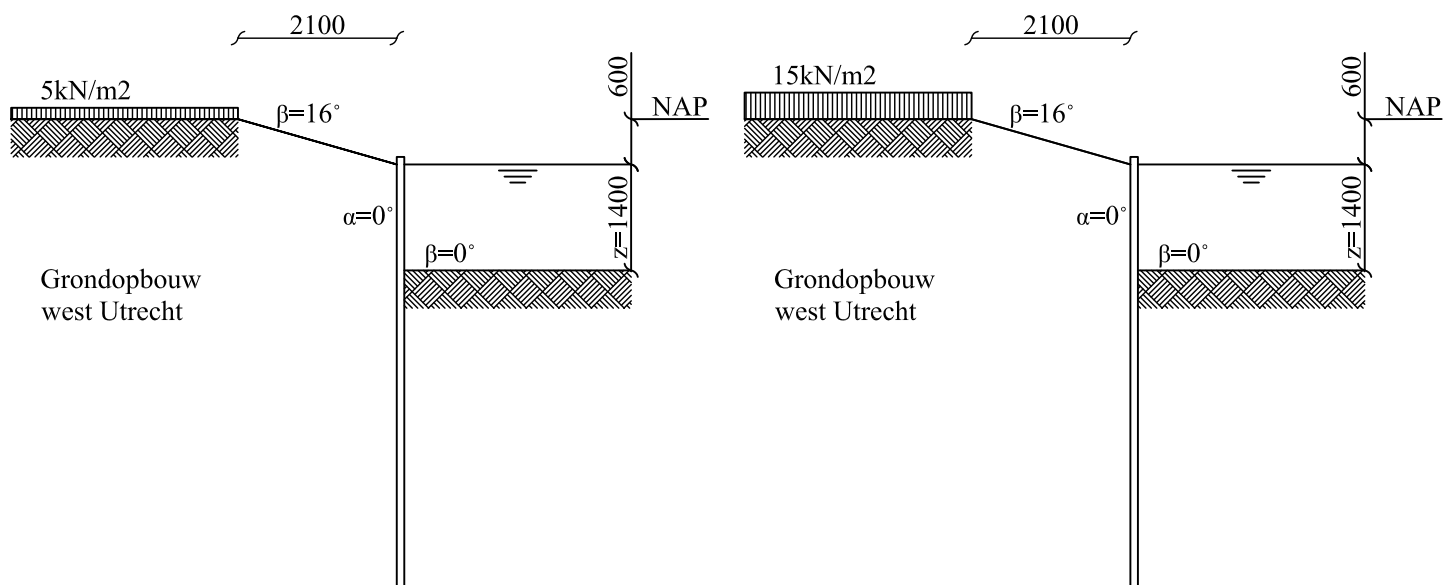
Bijlage 1

Situaties



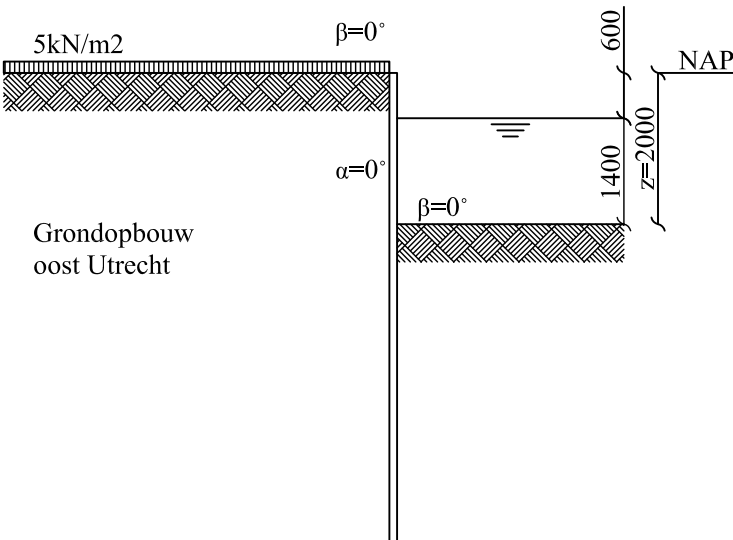
Variant 1a

Variant 1b

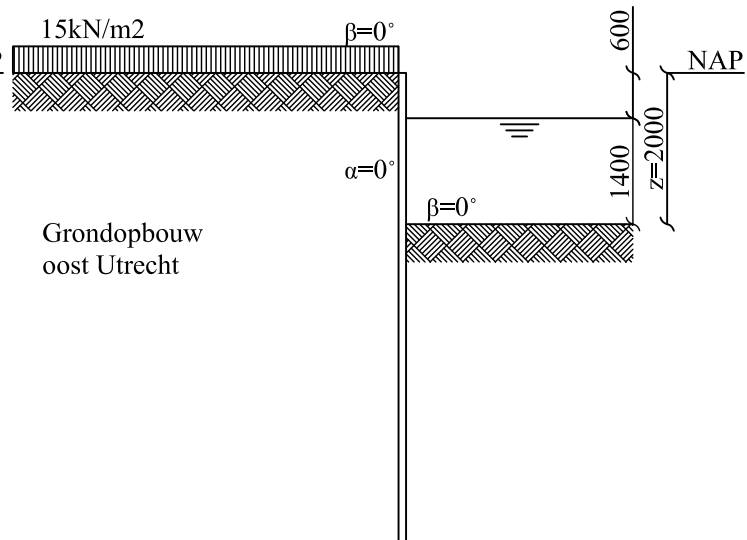


Variant 2a

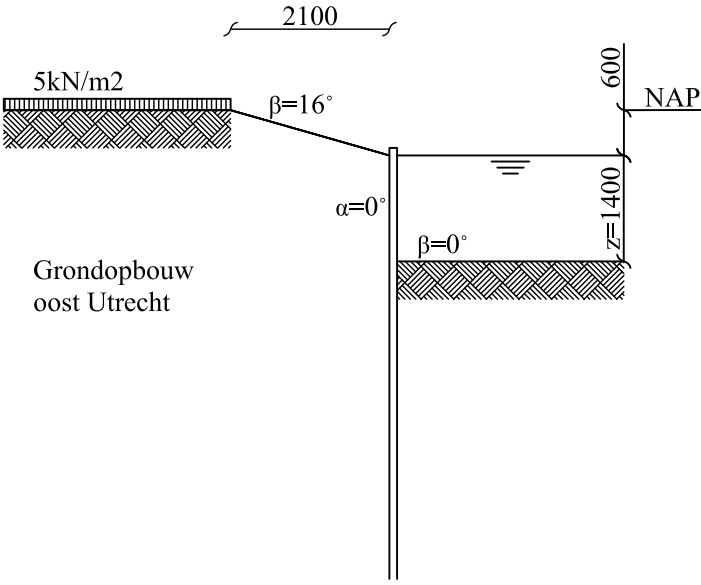
Variant 2b



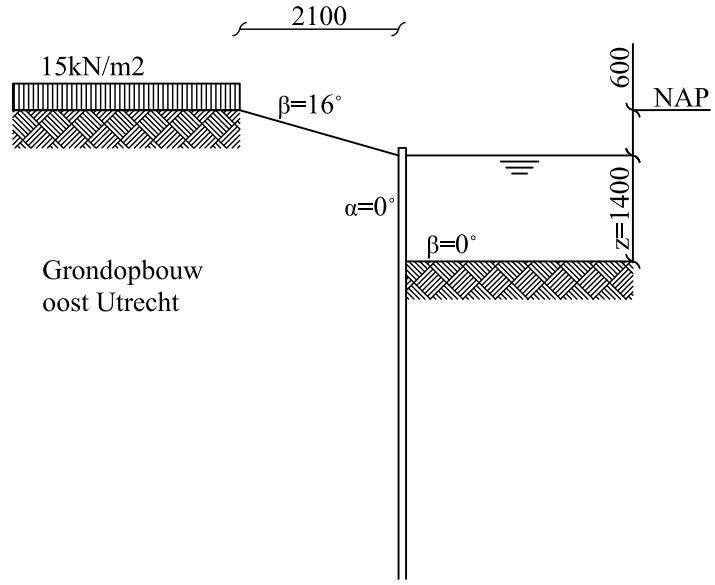
Variant 3a



Variant 3b



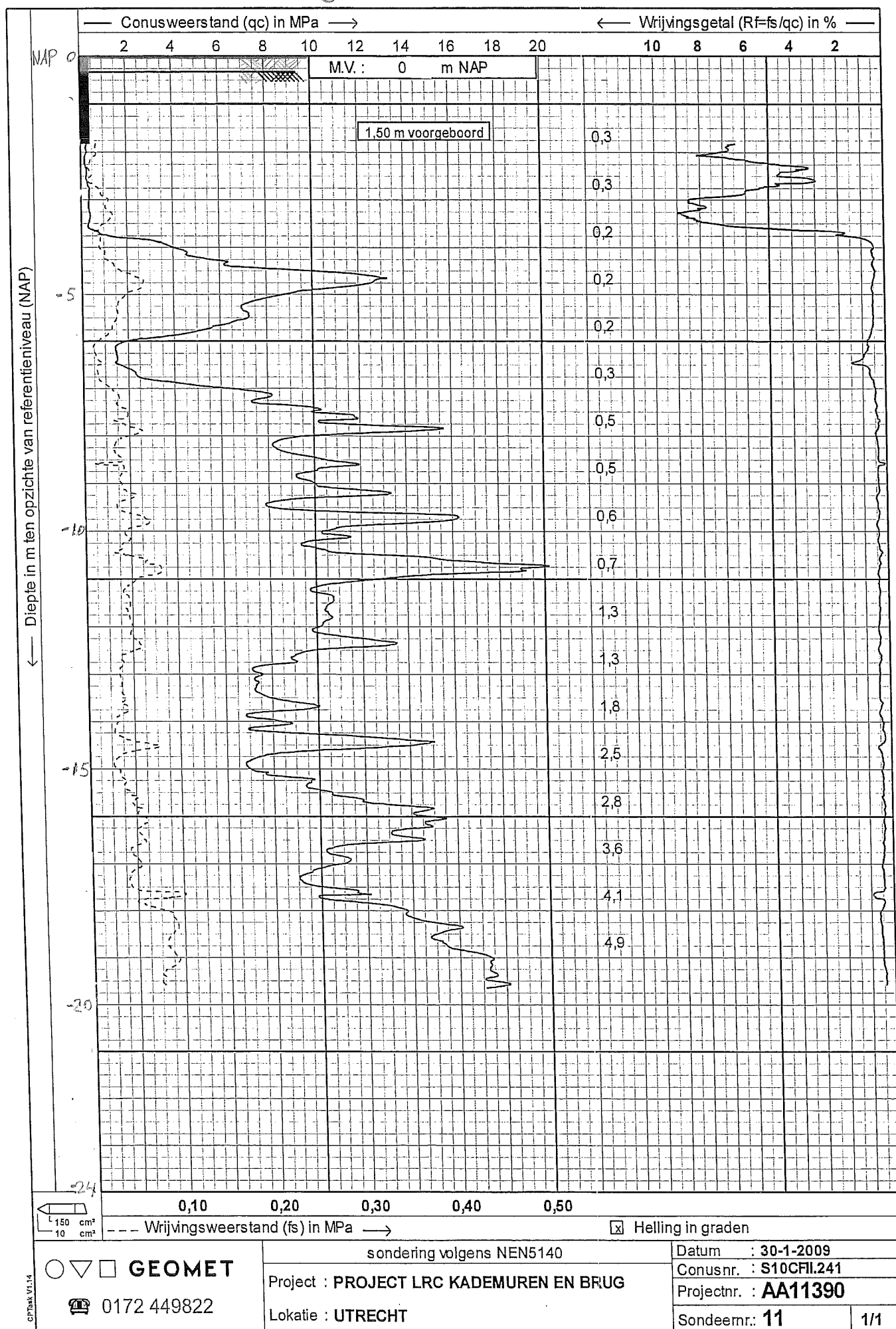
Variant 4a



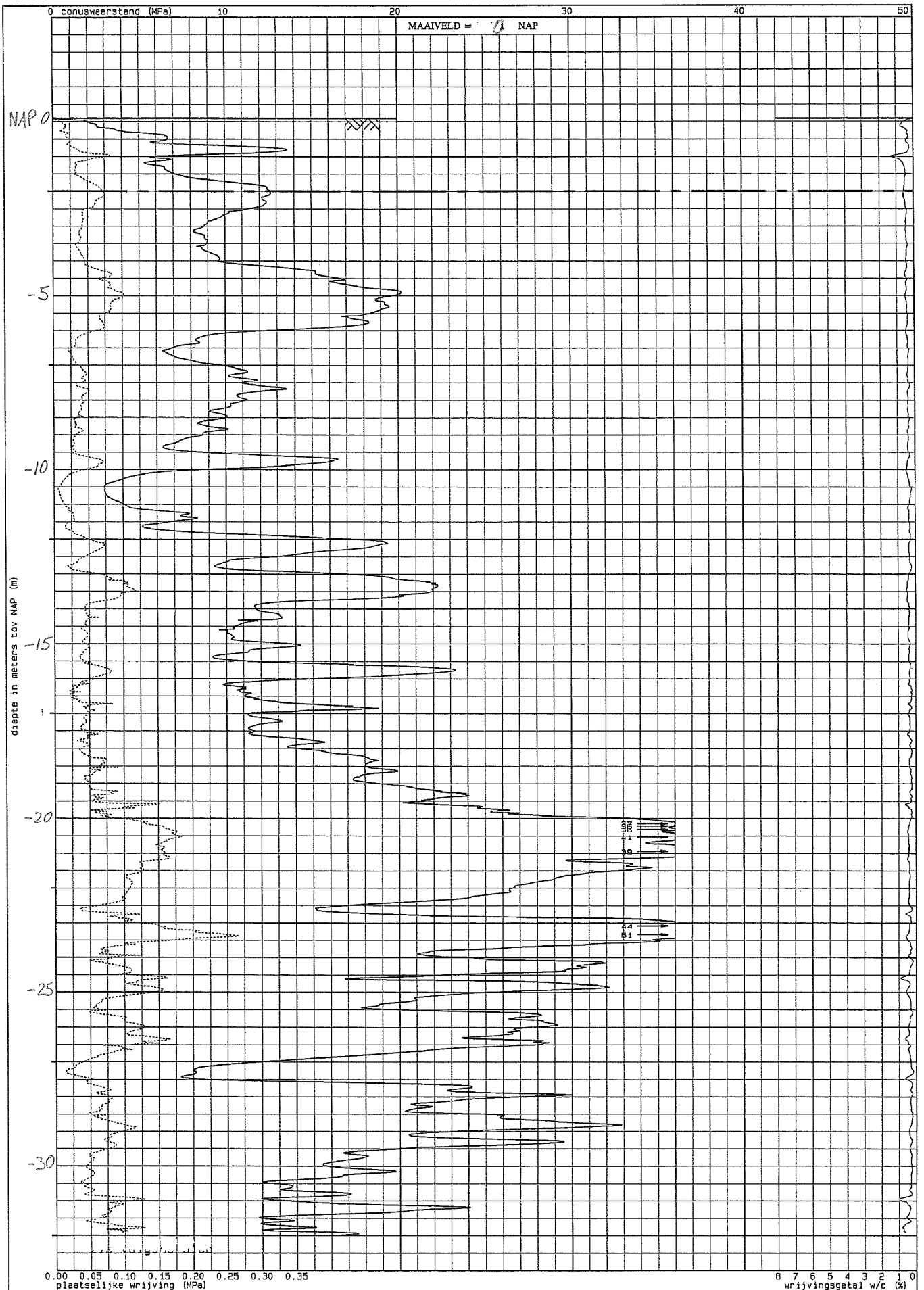
Variant 4b

Bijlage 2
Sonderingen

Sondering West Utrecht



Sondering Oost Utrecht



Transferium Uithof aan de Uppsalalaan te Utrecht

TYPE: elektr.
volgens NEN 5140
continue sondering

uitv.: HHG
mat.: S11

sondering: DKM-11, deel 1

INPIJN-BLOKPOEL Ingenieursbureau

datum: 22-06-2009

opdracht: VB-8141

Bijlage 3

Representatieve waarden voor grondeigenschappen

Representatieve waarden voor grondeigenschappen volgens NEN 6740

(bron: NEN 6740, Tabel 1)

grondsoort		representatieve gemiddelde waarde van de grondeigenschappen													
hoofd-naam	bijmengsel	consistentie ¹⁾	$\gamma^{2)}$	γ_{sat}	$q_c^{3)6)}$						$E^{6)}$	ϕ'	C'	f_{undr}	
			kN/m ³	kN/m ³	MPa	C'_p	C'_s	C_c	$C_a^{5)}$	C_{sw}	MPa	°	kPa	kPa	
grind	zwak siltig	los	17	19	15	500	-	0,008	0	0,003	75	32,5			
		matig	18	20	25	1000	-	0,004	0	0,002	125	35	n.v.t.	n.v.t.	
		vast	19 of 20	21 of 22	30	1200 of 1400	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	150 of 200	37,5 of 40			
	sterk siltig	los	18	20	10	400	-	0,009	0	0,003	50	30			
		matig	19	21	15	600	-	0,006	0	0,002	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.	
		vast	20 of 21	22 of 22,5	25	1000 of 1500	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40			
zand	schoon	los	17	19	5	200	-	0,021	0	0,007	25	30			
		matig	18	20	15	600	-	0,006	0	0,003	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.	
		vast	19 of 20	21 of 22	25	1000 of 1500	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40			
	zwak siltig kleilig		18 of 19	20 of 21	12	450 of 650	-	0,008 of 0,005	0	0,003 of 0,001	25 of 35	27 of 32,5	n.v.t.	n.v.t.	
	sterk siltig kleilig		18 of 19	20 of 21	8	200 of 400	-	0,019 of 0,009	0	0,006 of 0,001	20 of 30	25 of 30			
leem ⁴⁾	zwak zandig	slap	19	19	1	25	650	0,168	0,004	0,056	2	27,5 of 30	0	50	
		matig	20	20	2	45	1300	0,084	0,002	0,028	5	27,5 of 32,5	2	100	
		vast	21 of 22	21 of 22	3	70 of 100	1900 of 2500	0,049 of 0,030	0,001	0,017 of 0,005	10 of 20	27,5 of 35	5 of 7,5	200 of 300	
	sterk zandig		19 of 20	19 of 20	2	45 of 70	1300 of 2000	0,092 of 0,055	0,002	0,031 of 0,005	5 of 10	27,5 of 35	0 of 2	50 of 100	
klei	schoon	slap	14	14	0,5	7	80	1,357	0,013	0,452	1	17,5	0	25	
		matig	17	17	1	15	160	0,362	0,006	0,121	2	17,5	10	50	
		vast	19 of 20	19 of 20	2	25 of 30	320 of 500	0,168 of 0,126	0,004	0,056 of 0,042	4 of 10	17,5 of 25	25 of 30	100 of 200	
	zwak zandig	slap	15	15	0,7	10	110	0,759	0,009	0,253	1,5	22,5	0	40	
		matig	18	18	1,5	20	240	0,237	0,005	0,079	3	22,5	10	80	
		vast	20 of 21	20 of 21	2,5	30 of 50	400 of 600	0,126 of 0,069	0,003	0,042 of 0,014	5 of 10	22,5 of 27,5	25 of 30	120 of 170	
	sterk zandig		18 of 20	18 of 20	1	25 of 140	320 of 1680	0,190 of 0,027	0,004	0,063 of 0,025	2 of 5	27,5 of 32,5	0 of 2	0 of 10	
	organisch	slap	13	13	0,2	7,5	30	1,69	0,015	0,55	0,5	15	0 of 2	10	
		matig	15 of 16	15 of 16	0,5	10 of 15	40 of 60	0,760 of 0,420	0,012	0,250 of 0,140	1,0 of 2,0	15	0 of 2	25 of 30	
veen	niet voorbelast	slap	10 of 12	10 of 12	0,1	5 of 7,5	20 of 30	7,590 of 1,810	0,023	2,530 of 0,600	0,2 of 0,5	15	2 of 5	10 of 20	
	matig voorbelast	matig	12 of 13	12 of 13	0,2	7,5 of 10	30 of 40	1,810 of 0,900	0,016	0,600 of 0,300	0,5 of 1,0	15	5 of 10	20 of 30	
variatiecoëfficiënt			0,05		-	0,25						0,1		0,2	

De tabel geeft de lage representatieve waarde van gemiddelden van de betreffende grondsoort. Binnen een gebied, gedefinieerd door de rij van het bijmengsel en de kolom van de parameter (een "vakje"), geldt:

- voor γ , γ_{sat} , C_p , C_s , E , $\phi\phi'$, C' en f_{undr} : als een verhoging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie (grotere afmetingen fundering), dan moet de rechterwaarde op dezelfde regel zijn gebruikt of, indien er geen rechterwaarde is vermeld, de waarde op de regel eronder;
- voor C_c , C_a en C_{sw} : als een verhoging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie, dan moet de rechterwaarde op dezelfde regel zijn gebruikt of, indien er geen rechterwaarde is vermeld, de waarde op de regel daaronder.

1) los : $0 < R_n < 0,33$

matig : $0,33 < R_n < 0,67$

vast : $0,67 < R_n < 1,00$

2) bij natuurlijk vochtgehalte

3) hier gegeven q_c -waarden (conusweerstand) dienen als ingang in de tabel, en mogen niet worden gebruikt in berekeningen

4) gerekend wordt verzadigde leem

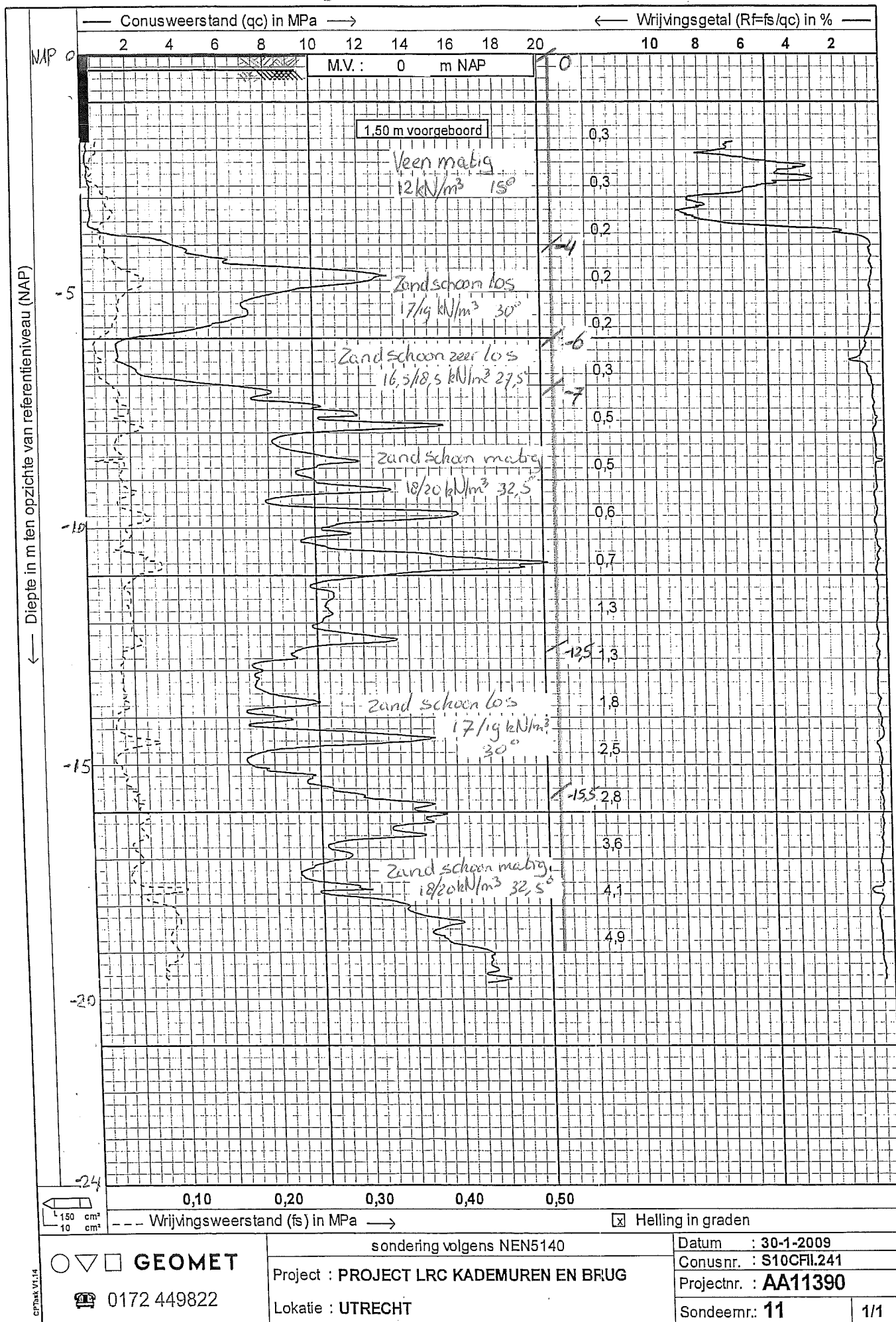
5) C_a -waarden zijn geldig voor een spanningsverhogingstraject van ten hoogste 100 %

6) q_c en E zijn genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa . Om een juiste ingang in de tabel via q_c te verkrijgen, zijn de gemeten waarden van q_c te converteren naar een effectief verticaal spanningsniveau van 100 kPa. De conversiefactor C_N moet worden bepaald met de grafiek in figuur 2A.

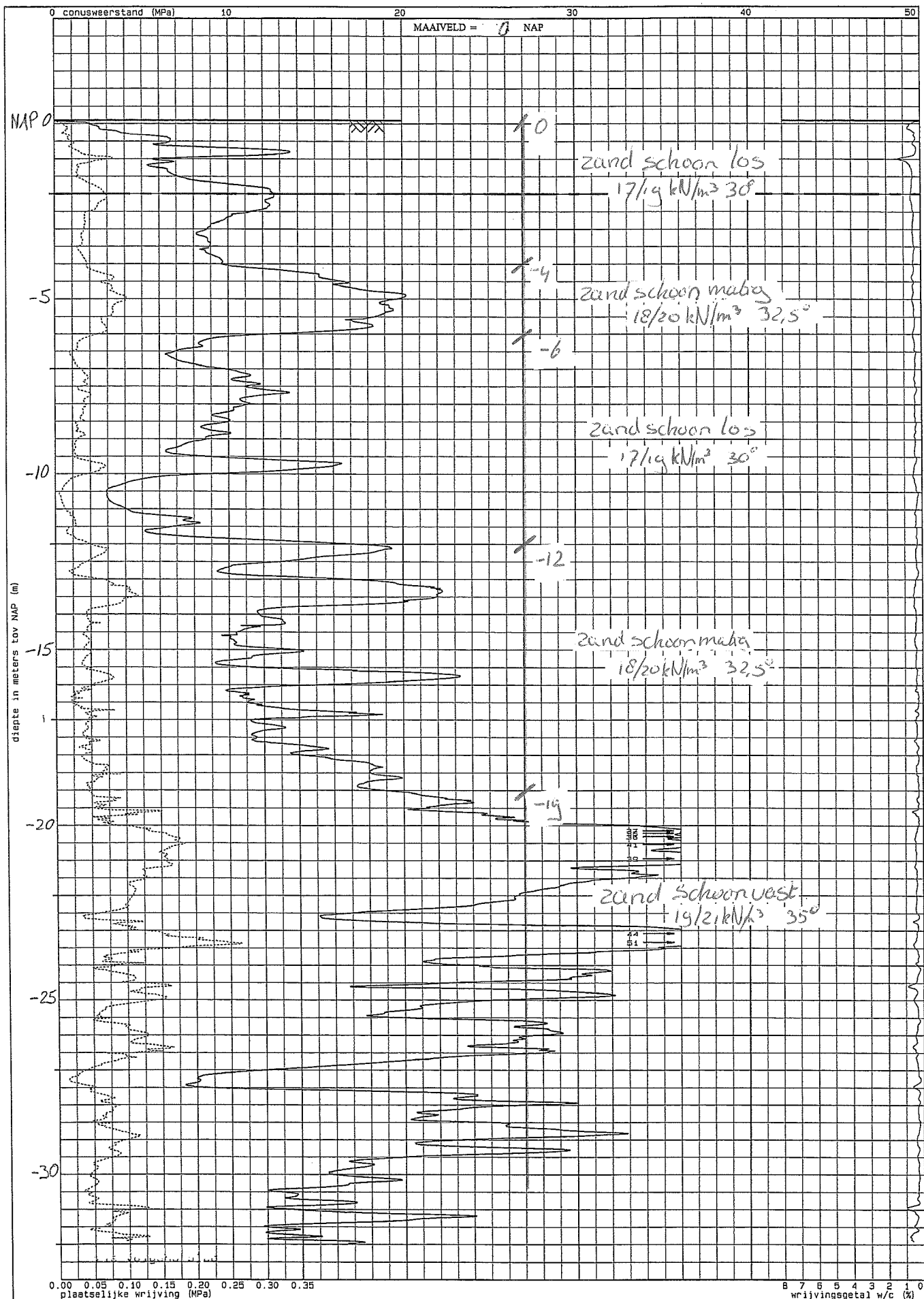
Bijlage 4

Interpretatie Sonderingen

Sondering West Utrecht



Sondering Oost Utrecht



Transferium Uithof aan de Uppsalalaan te Utrecht

TYPE: elektr.
volgens NEN 5140
continue sondering

uitv.: HHG
mat.: S11

sondering: DKM-11, deel 1

INPIJN-BLOKPOEL Ingenieursbureau

datum: 22-06-2009

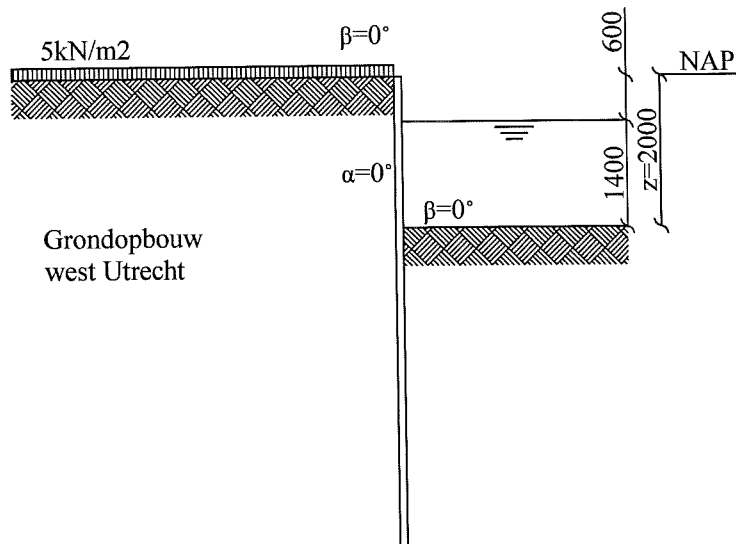
opdracht: VB-8141

Bijlage 5

Handmatige berekening variant 1a

Handberekening in combinatie met ProSheet

Variant 1a

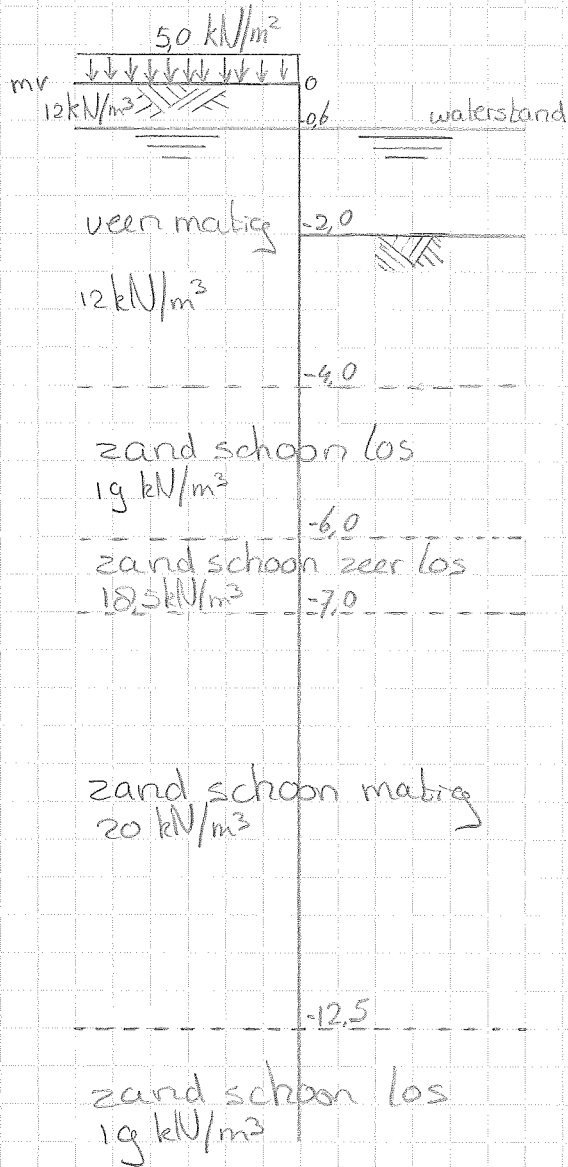


Variant 1a

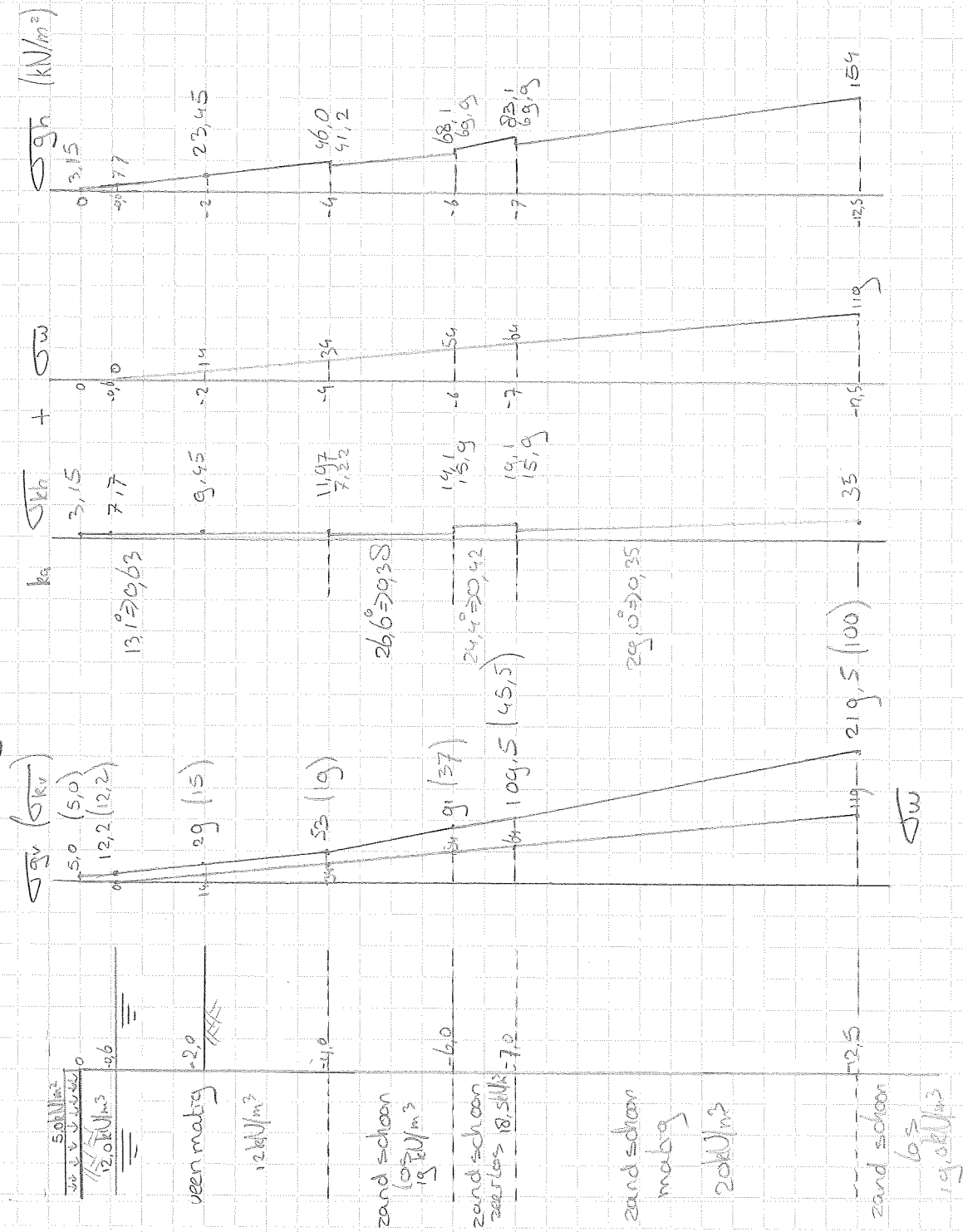
De grondanalyse staat in bijlage 5.

Berekening onverankerde stalen damwand volgens de analytische methode Blum

Grondopbouw:



Variant 1a actieve zijkant



passieve zijde

σ_v (kN)

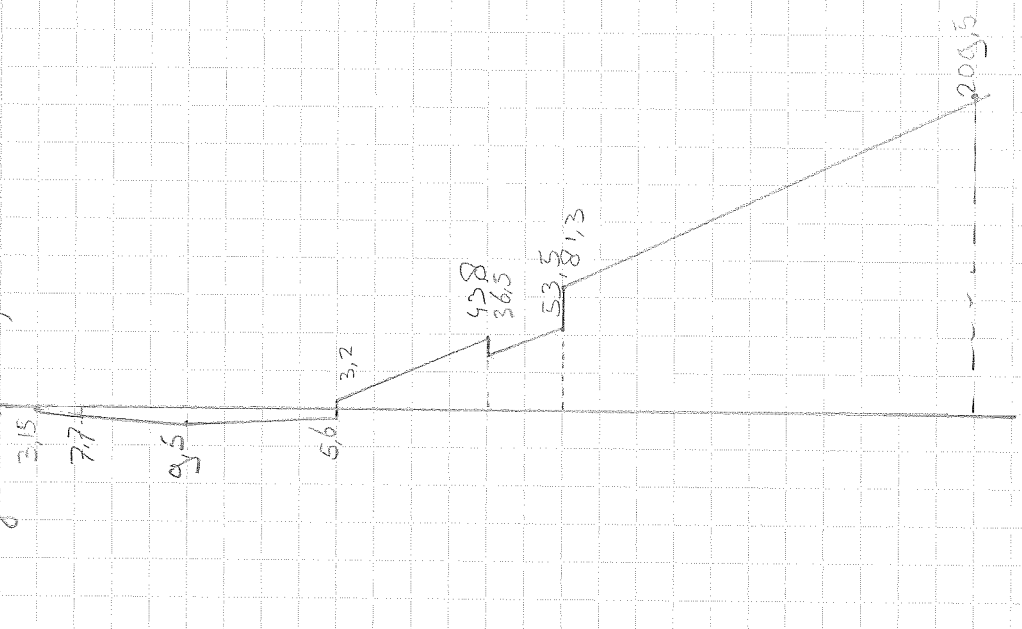
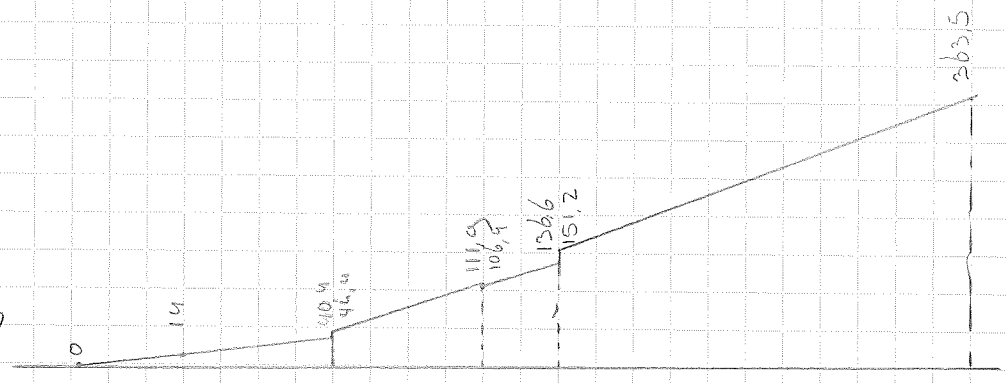
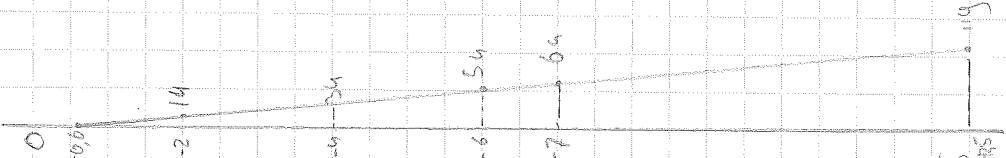
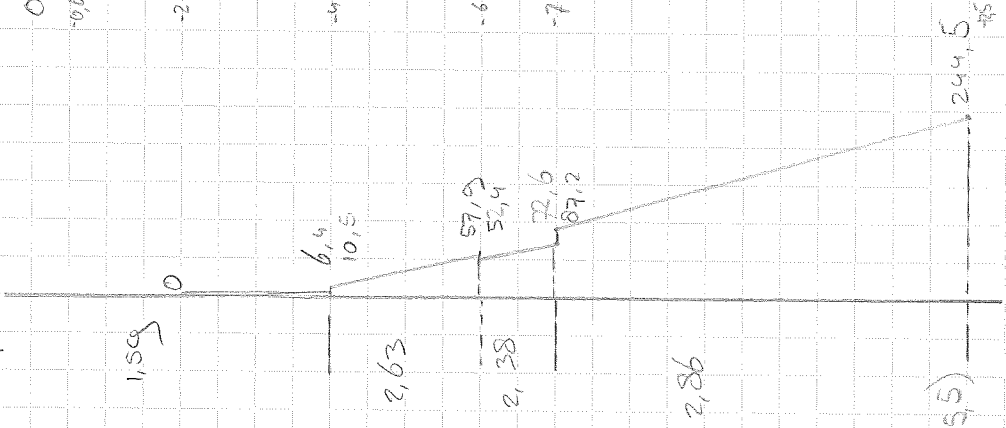
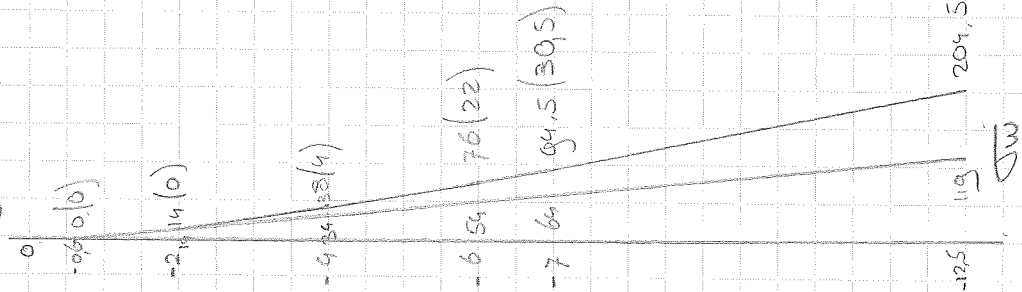
p

+

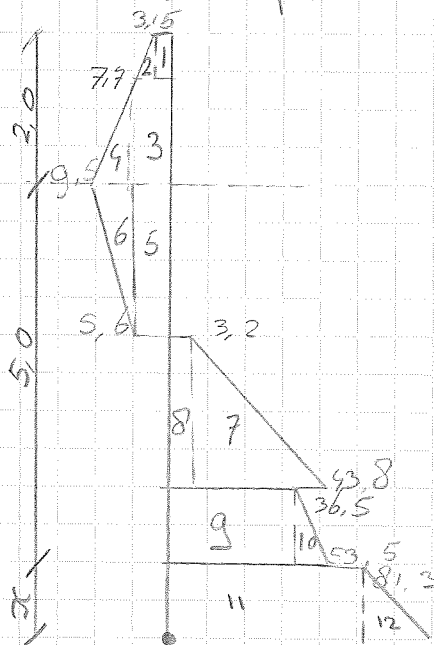
σ_w

$= \sigma_{gh}$

belasting σ_{gh} (kN/m²)



Inheidrepte



$F_1 = 3,15 \cdot 0,6 = 1,89 \text{ kN}$	bijbehorende arm
$F_2 = \frac{1}{2} \cdot 4,55 \cdot 0,6 = 1,37 \text{ kN}$	$6,7+x$
$F_3 = 7,7 \cdot 1,4 = 10,78 \text{ kN}$	$6,6+x$
$F_4 = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 1,4 = 1,26 \text{ kN}$	$5,7+x$
$F_5 = 5,6 \cdot 2 = 11,20 \text{ kN}$	$5,3+x$
$F_6 = \frac{1}{2} \cdot 3,9 \cdot 2 = 3,90 \text{ kN}$	$4,0+x$
$F_7 = -3,2 \cdot 2 = -6,4 \text{ kN}$	$4,3+x$
$F_8 = -\frac{1}{2} \cdot 4,98 \cdot 2 = -4,98 \text{ kN}$	$2,0+x$
$F_9 = -36,5 \cdot 1 = -36,5 \text{ kN}$	$1,33+x$
$F_{10} = -\frac{1}{2} \cdot 17 = -8,5 \text{ kN}$	$0,5+x$
$F_{11} = 81,3 \cdot x = 81,3x \text{ kN}$	$0,33+x$
$F_{12} = x \cdot 23,3 \cdot x \cdot \frac{1}{2} = 11,65x^2 \text{ kN}$	$0,5x$
	$\frac{1}{3}x$

$\sum M = 0 \Rightarrow x = 0,7$ inheidrepte = $5,0 + 0,7 = 5,7 \text{ m}$

lengte dam wand = $7,7 \text{ m}$

SHEET PILE DESIGN
ACCORDING TO BLUM-METHOD

Date: 6-5-2010

User-Name: H. Blom

Project: Variant 1a

File-Name: \\gufil111\usersb\$\blom205\variant 1a.spc

Comment:

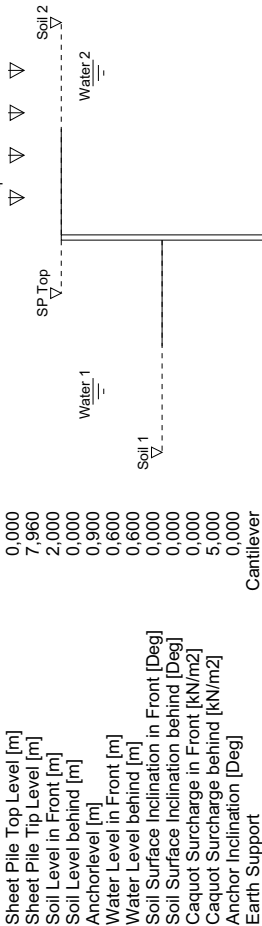
Project: Variant 1a

Section1 - Headwall

Date: 6-5-2010

File Name: \\gufil111\usersb\$\blom205\variant 1a.spc

GEODATA



LAYERS IN FRONT

	Layer Tip [m]	Density Moist [kN/m3]	Density Submerged [kN/m3]	Kph	Phi [Deg]	Delta [Deg]	Cohesion [kN/m2]
Layer 1	4,000	12,000	2,000	1,586	13,100	0,000	0,000
Layer 2	6,000	17,000	9,000	2,626	26,600	0,000	0,000
Layer 3	7,000	16,500	8,500	2,407	24,400	0,000	0,000
Layer 4	12,500	18,000	10,000	2,888	29,000	0,000	0,000
Layer 5	50,000	17,000	9,000	2,626	26,600	0,000	0,000

LAYERS BEHIND

	Layer Tip [m]	Density Moist [kN/m3]	Density Submerged [kN/m3]	Kah	Phi [Deg]	Delta [Deg]	Cohesion [kN/m2]
Layer 1	4,000	12,000	2,000	0.630	13,100	0,000	0,000
Layer 2	6,000	17,000	9,000	0.381	26,600	0,000	0,000
Layer 3	7,000	16,500	8,500	0.415	24,400	0,000	0,000
Layer 4	12,500	18,000	10,000	0.347	29,000	0,000	0,000
Layer 5	50,000	17,000	9,000	0.381	26,600	0,000	0,000

PILE SECTION

Name
Inertia [cm4/m]
Modulus [cm3/m]
Area [cm2/m]
Mass [kg/m2]
Steelgrade [N/mm2]
Requested Safety

AZ26
55509,998
2600,000
198,000
155,000
240,000
1,000

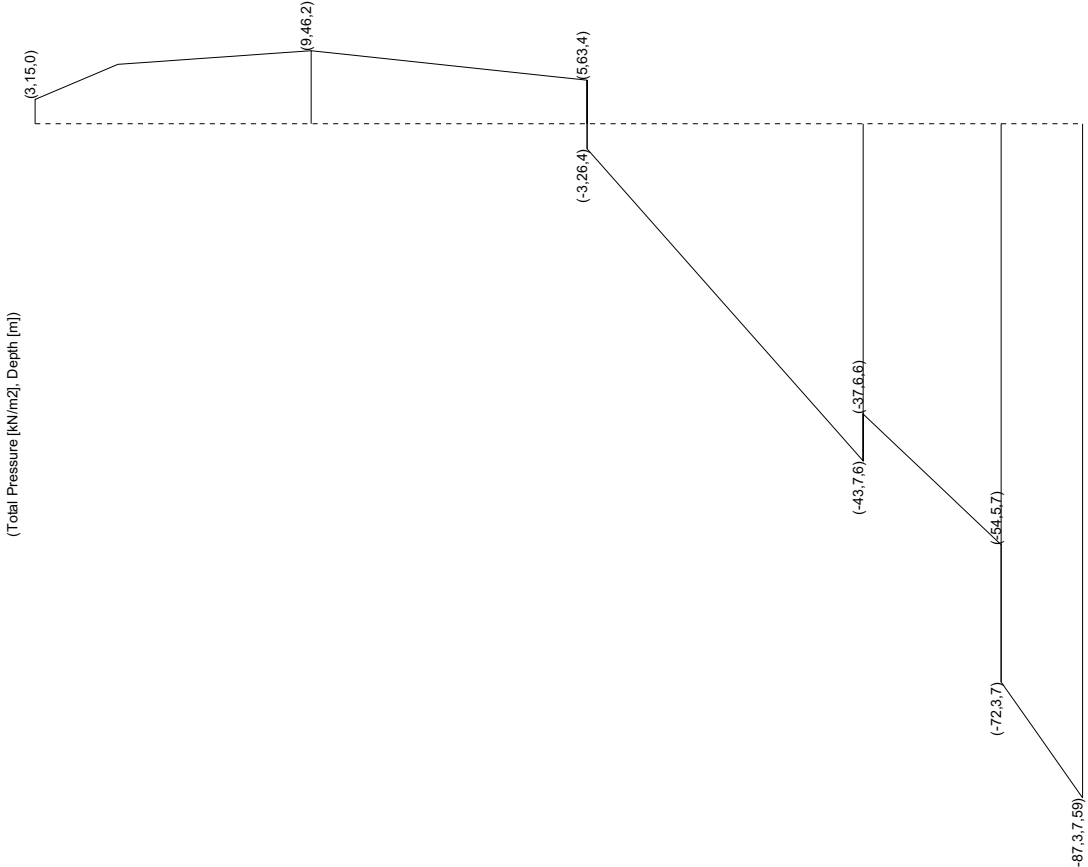
EXTREMAL VALUES

	z Min [m]	Min	z Max [m]	Max
Deflection [m]	0,000	-0,015	7,590	0,000
Cross Force [kN/m]	7,590	-109,712	4,000	30,348
Moment [kNm/m]	7,600	-2,074	5,500	90,880

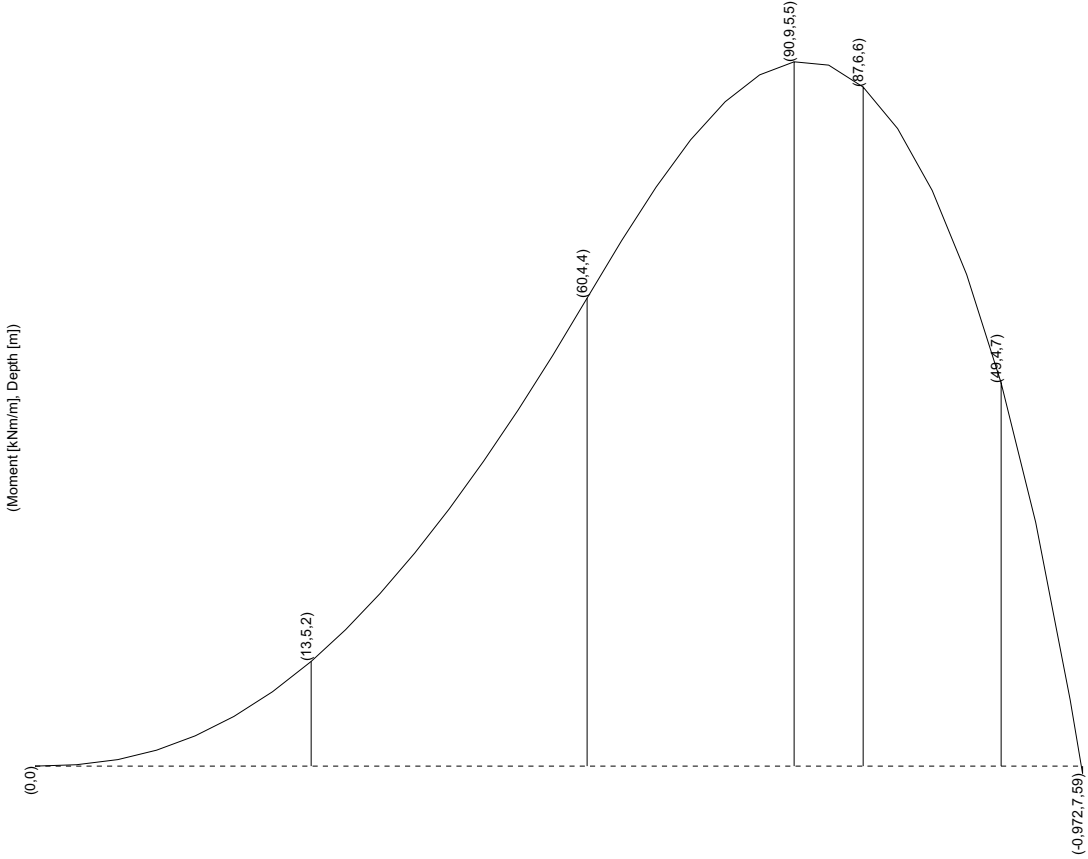
PILE CHECK

	Chosen Sheet Pile Section	Depth [m]
Moment of Inertia [cm4/m]	AZ26	
Section Modulus [cm3/m]	55509,998	
Area [cm2/m]	2600,000	
Mass [kg/m2]	198,000	
Steel Grade [N/mm2]	155,000	
Minimal Moment [kNm/m]	240,000	7,600
Maximal Moment [kNm/m]	-2,074	5,500
Normal Forces at Min. Moment [kN/m]	90,880	7,600
Normal Forces at Max. Moment [kN/m]	0,000	5,500
Deflection at Min. Moment [m]	0,000	7,600
Deflection at Max. Moment [m]	-0,001	5,500
Min. Stress at Min. Moment [N/mm2]	-0,798	7,600
Max. Stress at Min. Moment [N/mm2]	0,798	7,600
Min. Stress at Max. Moment [N/mm2]	-34,954	5,500
Max. Stress at Max. Moment [N/mm2]	34,954	5,500
Safety > Req. Safety = 1,000	6,866	
Pile Top [m]		0,000
Pile Tip [m]		7,960
Vertical Equilibrium [kN/m]	0,000	
Anchor Force (horiz.) [kN/m]	0,000	0,900

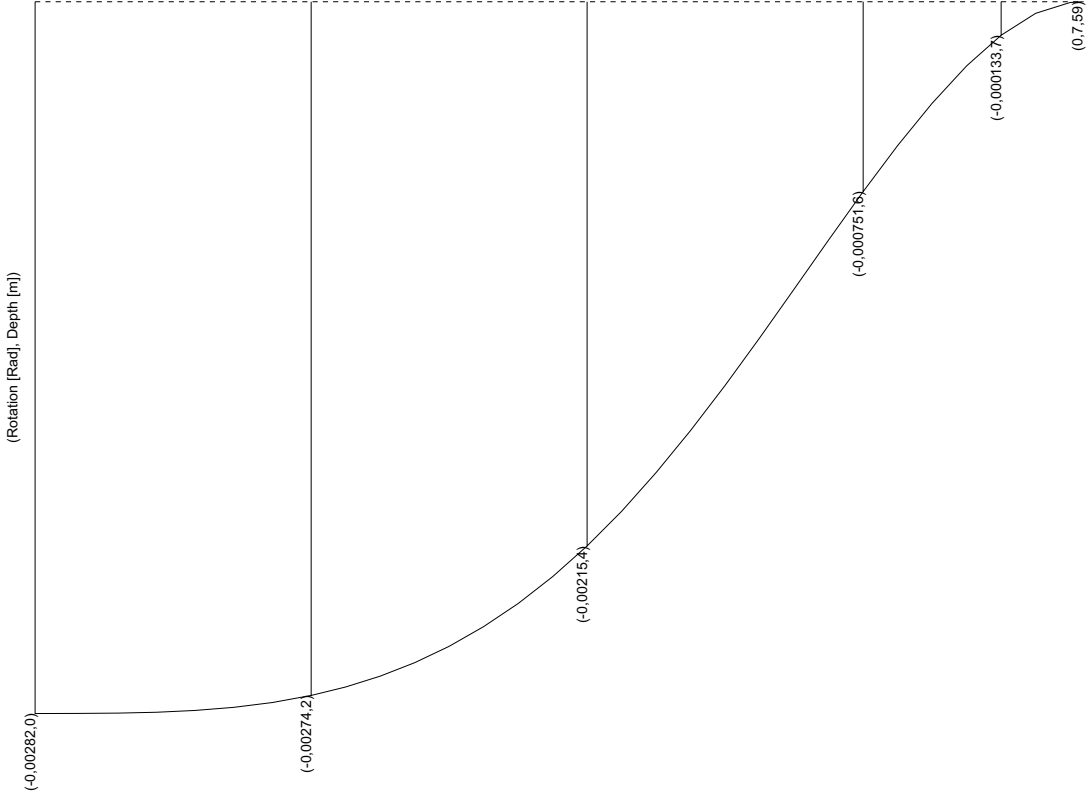
TOTAL PRESSURE DIAGRAM



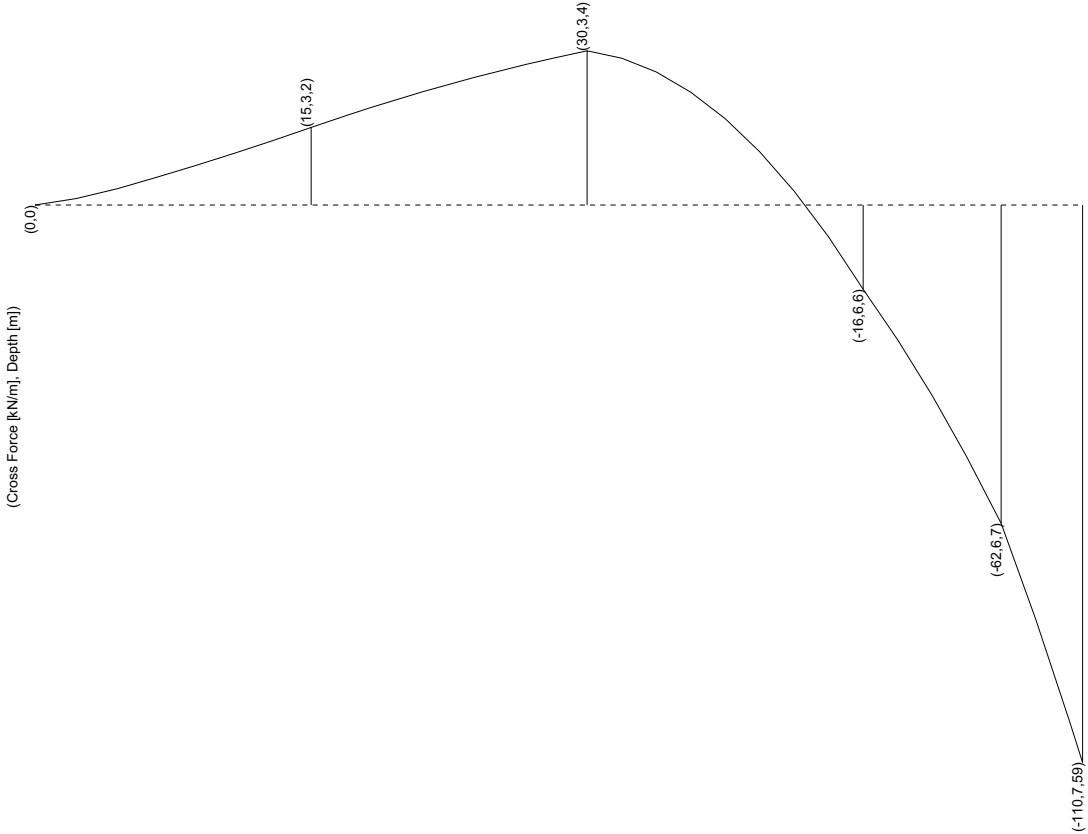
MOMENT DIAGRAM



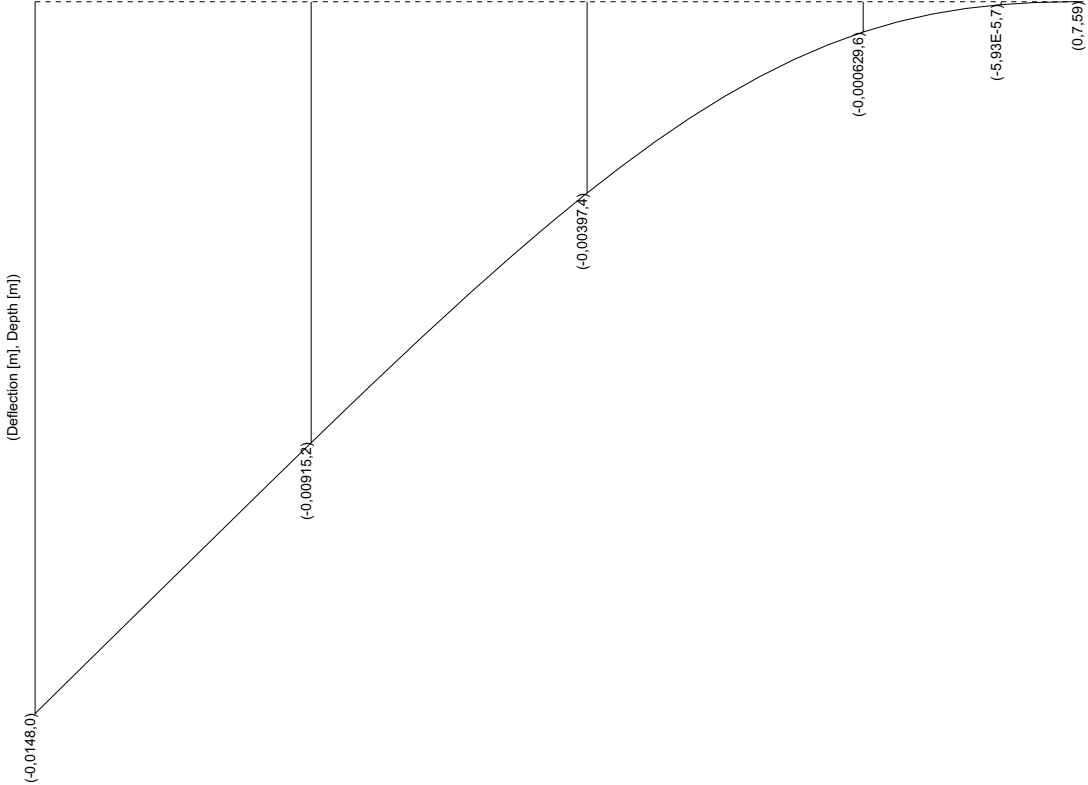
ROTATION DIAGRAM



CROSS FORCE DIAGRAM



DEFLECTION DIAGRAM



Bijlage 6

MSheet berekening variant 1a

- **staal**
- **beton**
- **hout**
- **kunststof**

Rapport voor MSheet 7.9

Ontwerp van Damwanden
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Gemeente Utrecht Stadswerken
IBU Stadsingenieurs

Datum van rapport: 26-5-2010
Tijd van rapport: 13:42:27

Datum van berekening: 26-5-2010
Tijd van berekening: 13:41:29

Bestandsnaam: \\blom205\afstudeerwerk\Stukken\Berekeningen\variant 1\1a.staal

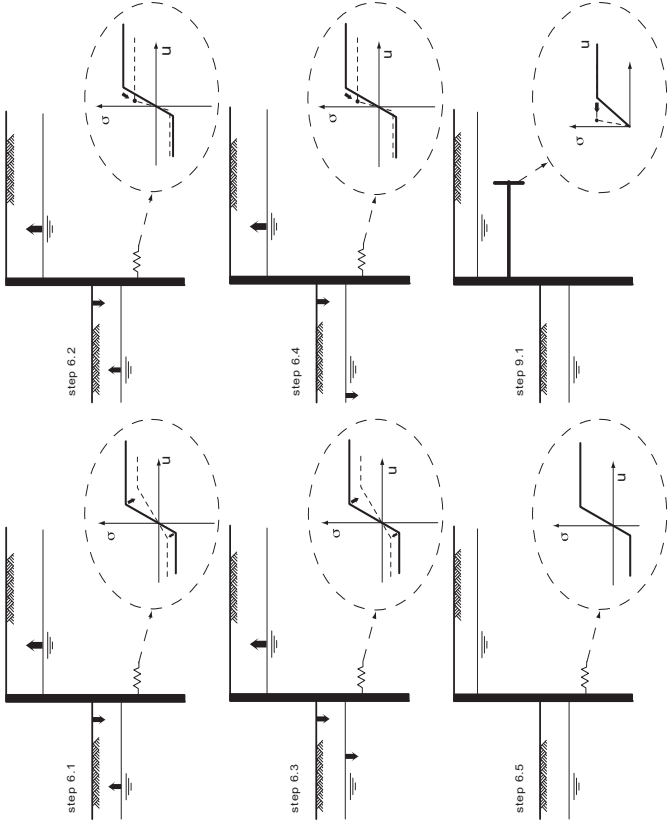
Verificatie volgens CUR 166

1 Overzicht

1.1 Overzicht per Fase en Toets

Fase nr.	Verificatie type	Verplaat-sing [mm]	Moment [kNm]	Dwars-Kracht [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. weerstand [%]	Verticaal evenwicht
1	Step 6.3		-105,6	63,1	0,0	39,2	---
1	Step 6.4		-107,1	65,6	0,0	42,6	---
1	Step 6.5	20,2	-71,2	35,9	0,0	20,2	---
1	Step 6.5 * 1,20		-85,4	43,0			
Max		20,2	-107,1	65,6	0,0	42,6	---

1.2 CUR Verificatiestappen



2 Invoergegevens voor alle Bouwfasen

2.1 Algemene Invoergegevens

Verificatie volgens CUR 166

Model	Damwand
Check verticaal evenwicht	Ja
Aantal bouwfasen	1
Soortelijk gewicht van water	9,81 kN/m³
Aantal takken van de veer karakteristiek	3
Ontlastak van de veer karakteristiek	Nee

2.2 Damwandeigenschappen

Lengte	8,00 m
Bovenkant	0,00 m
Aantal secties	1
Pr,max;punt	0,00 MPa
Ksifactor	0,75

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Stijfheid EI [kNm²/m³]	Werkende breedte [m]	Maximum moment [kNm/m³]
AZ 28	-8,00	0,00	1,2377E+05	1,00	744,00

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Red.factor EI [-]	Red.factor max. moment [-]	Toelichting op reductiefactor
AZ 28	-8,00	0,00	1,00	0,91	

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Gecorrig. stijfheid EI [kNm²]	Gecorrig. max. moment [kNm]
AZ 28	-8,00	0,00	1,2370E+05	677,04

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Hoogte [mm]	Verf. oppervlak [m²/m² wall]	Doorsnede [cm²]
AZ 28	-8,00	0,00	428,00	1,41	211,00

2.3 Rekenopties

Eerste fase beschrijft initiële situatie	Nee
Fijnheid berekening	Grof
Reduceren delta('s) volgens CUR	Ja
Verificatie	CUR methode A: Partiele factoren (ontwerpwaarden) in alle fasen

Gebruikte partiele factor set

II

Factoren op maaiveldbelastingen

- Permanente belasting, ongunstig	1,00
- Permanente belasting, gunstig	1,00
- Variabele belasting, ongunstig	1,00
- Variabele belasting, gunstig	0,00

Materiaal factoren

- Cohesie	1,00
- Tangens phi	1,15
- Delta (wandwrijvingshoek)	1,15
- Beddingsconstanten	1,30

Aanpassing geometrie

- Verlaging maaiveldhoogte, passieve zijde	- 0,30 m
--	----------

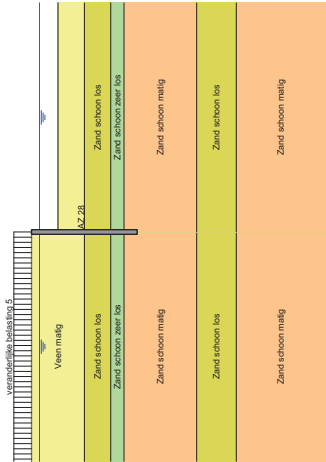
- Verlaging grondwaterniveau, passieve zijde - 0,20 m
- Verhoging grondwaterniveau, passieve zijde - 0,20 m
- Verhoging grondwaterniveau, actieve zijde 0,05 m

Factoren op vertikale evenwicht

- Gamma m:b4	1,25
--------------	------

3 Overzicht Fase 1: 5kN/m²

Overzicht - Fase 1: 5kN/m²



4.2.5 Beddingsconstanten (Secant)

Laag naam	Niveau [m]	Tak 1		Tak 2	
		Boven [kN/m²]	Onder [kN/m²]	Boven [kN/m²]	Onder [kN/m²]
Veen matig	0,00	2000,00	2000,00	800,00	800,00
Zand schoon los	-4,00	12000,00	12000,00	6000,00	6000,00
Zand schoon z...	-6,00	9000,00	9000,00	4500,00	4500,00
Zand schoon m...	-7,00	20000,00	20000,00	10000,00	10000,00
Zand schoon los	-12,50	12000,00	12000,00	6000,00	6000,00
Zand schoon m...	-15,50	20000,00	20000,00	10000,00	10000,00

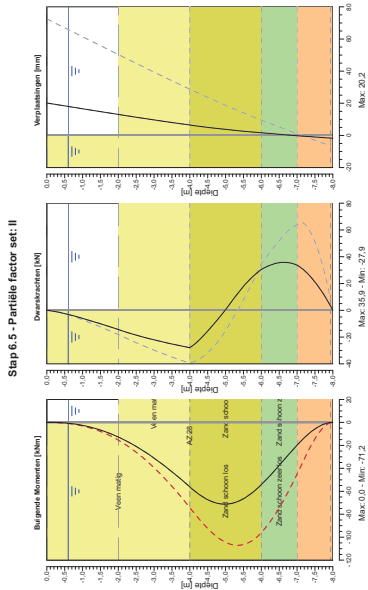
Laag naam	Niveau [m]	Tak 3	
		Boven [kN/m²]	Onder [kN/m²]
Veen matig	0,00	500,00	500,00
Zand schoon los	-4,00	3000,00	3000,00
Zand schoon z...	-6,00	2250,00	2250,00
Zand schoon m...	-7,00	5000,00	5000,00
Zand schoon los	-12,50	3000,00	3000,00
Zand schoon m...	-15,50	5000,00	5000,00

4.3 Berekeningsresultaten

Aantal iteraties: 5

4.3.1 Grafieken van Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Momenten/Krachten/Verplaatsingen - Fase 1: 5kN/m²



4.3.2 Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
1	0,00	0,0	0,0	20,2
1	-0,30	-0,2	-1,2	19,1
2	-0,30	-0,2	-1,2	19,1
2	-0,60	-0,8	-3,0	18,0
3	-0,60	-0,8	-3,0	18,0

26-5-2010

\\..Berekeningen\variant 1\1a.staal

Pagina 8

Laag naam	Niveau [m]	Tak 3	
		Boven [kN/m²]	Onder [kN/m²]
Veen matig	0,00	500,00	500,00
Zand schoon los	-4,00	3000,00	3000,00
Zand schoon z...	-6,00	2250,00	2250,00
Zand schoon m...	-7,00	5000,00	5000,00
Zand schoon los	-12,50	3000,00	3000,00
Zand schoon m...	-15,50	5000,00	5000,00

4.1.6 Uniforme Belastingen

Naam	Belasting [kN/m²]
veranderlijke bel...	5,00

4.2 Invoergegevens Rechts

4.2.1 Berekeningsmethode

Rekenmethode: Ka, Ko, Kp

4.2.2 Waterniveau

Freatisch niveau: -0.60 [m]

4.2.3 Maalveld

X [m]	Y [m]
0,00	-2,00

4.2.4 Eigenschappen van de Grondlagen in Profiel: West

Laag naam	Niveau [m]	Volumegewicht		Cohesie [kN/m²]	Wrijvingshoek phi [grad]	Delta wrijvingshoek [grad]
		Onverz. [kN/m³]	Verz. [kN/m³]			
Veen matig	0,00	12,00	12,00	0,00	15,00	0,01
Zand schoon los	-4,00	17,00	19,00	0,00	30,00	20,00
Zand schoon z...	-6,00	16,50	18,50	0,00	27,50	18,50
Zand schoon m...	-7,00	18,00	20,00	0,00	32,50	16,60
Zand schoon los	-12,50	17,00	19,00	0,00	30,00	20,00
Zand schoon m...	-15,50	18,00	20,00	0,00	32,50	16,60

Laag naam	Niveau [m]	Schelpfactor [-]	OCR [-]		Korreltype
			Onverz. [-]	Verz. [-]	
Veen matig	0,00	1,00	1,00	1,00	Fijn
Zand schoon los	-4,00	1,00	1,00	1,00	Fijn
Zand schoon z...	-6,00	1,00	1,00	1,00	Fijn
Zand schoon m...	-7,00	1,00	1,00	1,00	Fijn
Zand schoon los	-12,50	1,00	1,00	1,00	Fijn
Zand schoon m...	-15,50	1,00	1,00	1,00	Fijn

Laag naam	Niveau [m]	Grondrukkoefficienten			Wateroverspanning	
		Actief [-]	Neutraal [-]	Passief [-]	Boven [kN/m²]	Onder [kN/m²]
Veen matig	0,00	0,59	0,74	1,70	0,00	0,00
Zand schoon los	-4,00	0,28	0,50	5,74	0,00	0,00
Zand schoon z...	-6,00	0,31	0,54	4,72	0,00	0,00
Zand schoon m...	-7,00	0,25	0,46	7,18	0,00	0,00
Zand schoon los	-12,50	0,28	0,50	5,74	0,00	0,00
Zand schoon m...	-15,50	0,25	0,46	7,18	0,00	0,00

26-5-2010

\\..Berekeningen\variant 1\1a.staal

Pagina 7

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
3	-0.95	-2.3	-5.6	16.8
4	-0.95	-2.3	-5.6	16.8
4	-1.30	-8.4	-8.4	15.5
5	-1.30	-4.7	-8.4	15.5
5	-1.65	-8.2	-11.3	14.3
6	-1.65	-8.2	-11.3	14.3
6	-2.00	-12.7	-14.4	13.1
7	-2.00	-12.7	-14.4	13.1
7	-2.33	-17.9	-17.2	11.9
8	-2.33	-17.9	-17.2	11.9
8	-2.67	-24.1	-19.8	10.8
9	-2.67	-24.1	-19.8	10.8
9	-3.00	-31.1	-22.1	9.6
10	-3.00	-31.1	-22.1	9.6
10	-3.33	-38.8	-24.2	8.5
11	-3.33	-38.8	-24.2	8.5
11	-3.67	-47.2	-26.1	7.5
12	-3.67	-47.2	-26.1	7.5
12	-4.00	-56.2	-27.9	6.5
13	-4.00	-56.2	-27.9	6.5
13	-4.33	-64.4	-20.3	5.5
14	-4.33	-64.4	-20.3	5.5
14	-4.67	-69.5	-10.4	4.6
15	-4.67	-69.5	-10.4	4.6
15	-5.00	-71.2	0.5	3.7
16	-5.00	-71.2	0.5	3.7
16	-5.33	-69.0	12.4	3.0
17	-5.33	-69.0	12.4	3.0
17	-5.67	-63.1	22.7	2.2
18	-5.67	-63.1	22.7	2.2
18	-6.00	-54.2	30.5	1.6
19	-6.00	-54.2	30.5	1.6
19	-6.33	-43.3	34.5	1.0
20	-6.33	-43.3	34.5	1.0
20	-6.67	-31.5	35.8	0.4
21	-6.67	-31.5	35.8	0.4
21	-7.00	-19.8	33.8	-0.2
22	-7.00	-19.8	33.7	-0.2
22	-7.33	-9.6	26.4	-0.7
23	-7.33	-9.6	26.4	-0.7
23	-7.67	-2.6	15.0	-1.2
24	-7.67	-2.6	15.0	-1.2
24	-8.00	0.0	0.0	-1.7
Max		-71.2	35.8	20.2
Max incl. tussenknopen		-71.2	35.9	20.2

4.3.3 Spanningen

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
1	0.00	2.94	0.00	A	0.00	0.00	-
1	-0.30	5.06	0.00	A	0.00	0.00	-
2	-0.30	5.06	0.00	A	0.00	0.00	-
2	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.95	7.63	3.43	A	0.00	3.43	-
4	-0.95	7.63	3.43	A	0.00	3.43	-
4	-1.30	8.08	6.87	A	0.00	6.87	-
5	-1.30	8.08	6.87	A	0.00	6.87	-
5	-1.65	8.54	10.30	A	0.00	10.30	-
6	-1.65	8.54	10.30	A	0.00	10.30	-
6	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	-
7	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	P
7	-2.33	9.42	17.00	A	1.24	17.00	P

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
8	-2.33	9.42	17.00	A	1.24	17.00	P
8	-2.67	9.85	20.27	A	2.48	20.27	P
9	-2.67	9.85	20.27	A	2.48	20.27	P
9	-3.00	10.28	23.54	A	3.72	23.54	P
10	-3.00	10.28	23.54	A	3.72	23.54	P
10	-3.33	10.71	26.81	A	4.90	26.81	3 99
11	-3.33	10.71	26.81	A	4.90	26.81	3 99
11	-3.67	11.14	30.08	A	5.49	30.08	3 89
12	-3.67	11.14	30.08	A	5.49	30.08	3 89
12	-4.00	11.57	33.35	A	6.08	33.35	3 82
13	-4.00	11.57	33.35	A	6.08	33.35	3 82
13	-4.33	11.57	33.35	A	23.41	33.35	3 93
14	-4.33	11.57	33.35	A	23.41	33.35	3 93
14	-4.67	11.57	33.35	A	34.28	36.62	3 80
15	-4.67	11.57	33.35	A	34.28	36.62	3 80
15	-5.00	11.57	33.35	A	38.39	39.89	2 64
16	-5.00	11.57	33.35	A	38.39	39.89	2 64
16	-5.33	11.57	33.35	A	42.43	43.16	2 54
17	-5.33	11.57	33.35	A	42.43	43.16	2 54
17	-5.67	11.57	33.35	A	43.90	46.43	1 46
18	-5.67	11.57	33.35	A	43.90	46.43	1 46
18	-6.00	11.57	33.35	A	36.78	49.70	1 33
19	-6.00	11.57	33.35	A	36.78	49.70	1 33
19	-6.33	11.57	33.35	A	30.33	52.97	1 23
20	-6.33	11.57	33.35	A	30.33	52.97	1 23
20	-6.67	11.57	33.35	A	26.46	56.24	1 19
21	-6.67	11.57	33.35	A	26.46	56.24	1 19
21	-7.00	11.57	33.35	A	22.47	59.51	1 14
22	-7.00	11.57	33.35	A	22.47	59.51	1 14
22	-7.33	11.57	33.35	A	18.84	62.78	1 14
23	-7.33	11.57	33.35	A	18.84	62.78	1 14
23	-7.67	11.57	33.35	A	15.45	66.05	A
24	-7.67	11.57	33.35	A	15.45	66.05	A
24	-8.00	11.57	33.35	A	8.73	69.32	A
25	-8.00	11.57	33.35	A	8.73	69.32	A
26	-8.00	11.57	33.35	A	10.43	72.59	A

* Stat Status (A=actief, P=passief, Nummer is tak, 0 is ontlasting)
Mob Percentage passief gemobiliseerd

4.3.4 Grondbreuk

Horizontale gronddruk	Links [kN]	Rechts [kN]
Effectief	111.6	111.6
Water	268.6	268.6
Totaal	380.2	380.2

Beschouwd als passieve zijde
Maximale passieve effectieve weerstand 553.44 kN
Gemobiliseerde passieve eff. weerstand 111.60 kN
Percentage gemobiliseerde weerstand 20.2 %

4.3.5 Verticaal Evenwicht

Ksifactor 0.75
Partiële materiaalfactor 1.25
Maximale punt weerstand 0.00 [MPa]
Als de maximale puntweerstand nul is, is ook het puntdraagvermogen nul

Verticaal evenwicht niet pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-40,77
Verticale kracht passief	53,30
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	12,53
Opneembare verticale kracht F _{oe;d}	0,00
Resultante is omhoog	

Verticaal evenwicht pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-28,91
Verticale kracht passief	37,80
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	8,89
Opneembare verticale kracht F _{oe;d}	0,00
Resultante is omhoog	

4.3.6 Verticaal Evenwicht Bijdrage per Laag

Links			Rechts		
Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]	Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]
0,00	Veen matig	-0,01	-2,00	Veen matig	0,00
-4,00	Zand schoon los	-8,27	-4,00	Zand schoon los	38,26
-6,00	Zand schoon z...	-8,25	-6,00	Zand schoon z...	9,78
-7,00	Zand schoon m...	-24,24	-7,00	Zand schoon m...	5,26

Einde Rapport

Rapport voor MSheet 7.9

Ontwerp van Damwanden
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Gemeente Utrecht Stadswerken
IBU Stadsingenieurs

Datum van rapport: 26-5-2010
Tijd van rapport: 13:45:13

Datum van berekening: 26-5-2010
Tijd van berekening: 13:43:55

Bestandsnaam: \\.blom205\afstudeerwerk\Stukken\Berekeningen\variant 1\1abeton

Verificatie volgens CUR 166

1 Overzicht

1.1 Overzicht per Fase en Toets

Fase nr.	Verificatie type	Verplaat-sing [mm]	Moment [kNm]	Dwars-Kracht [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. weerstand [%]	Verticaal evenwicht
1	Slap 6.3		-105,6	63,1	0,0	39,2	---
1	Slap 6.4		-107,1	65,7	0,0	42,7	---
1	Slap 6.5	19,5	-71,3	35,9	0,0	20,2	---
1	Slap 6.5 * 1,20		-85,5	43,1			
Max		19,5	-107,1	65,7	0,0	42,7	---

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
12	-4.00	-56.2	-28.0	6.4
13	-4.00	-56.2	-28.0	6.4
13	-4.00	-56.2	-28.0	6.4
14	-4.33	-64.4	-20.3	5.4
14	-4.33	-64.4	-20.3	5.4
14	-4.67	-69.5	-10.5	4.6
15	-4.67	-69.5	-10.5	4.6
15	-5.00	-71.3	0.4	3.7
16	-5.00	-71.3	0.4	3.7
16	-5.33	-69.2	12.3	3.0
17	-5.33	-69.2	12.3	3.0
17	-5.67	-63.3	22.6	2.3
18	-5.67	-63.3	22.6	2.3
18	-6.00	-54.3	30.5	1.6
19	-6.00	-54.3	30.5	1.6
19	-6.33	-43.5	34.6	1.0
20	-6.33	-43.5	34.6	1.0
20	-6.67	-31.6	35.9	0.4
21	-6.67	-31.6	35.9	0.4
21	-7.00	-19.9	33.9	-0.2
22	-7.00	-19.9	33.9	-0.2
22	-7.33	-9.7	26.5	-0.7
23	-7.33	-9.7	26.5	-0.7
23	-7.67	-2.6	15.1	-1.2
24	-7.67	-2.6	15.1	-1.2
24	-8.00	0.0	0.0	-1.8
Max		-71.3	35.9	19.5
Max incl. tussenknopen		-71.3	35.9	19.5

3.1.3 Spanningen

Knoop nummer	Niveau [m]	Links		Rechts	
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]
1	0.00	2.94	0.00	0.00	0.00
1	-0.30	5.06	0.00	0.00	0.00
2	-0.30	5.06	0.00	0.00	0.00
2	-0.60	7.18	0.00	0.00	0.00
3	-0.60	7.18	0.00	0.00	0.00
3	-0.95	7.63	3.43	0.00	3.43
4	-0.95	7.63	3.43	0.00	3.43
4	-1.30	8.08	6.87	0.00	6.87
5	-1.30	8.08	6.87	0.00	6.87
5	-1.65	8.54	10.30	0.00	10.30
6	-1.65	8.54	10.30	0.00	10.30
6	-2.00	8.99	13.73	0.00	13.73
7	-2.00	8.99	13.73	0.00	13.73
7	-2.33	9.42	17.00	1.24	17.00
8	-2.33	9.42	17.00	1.24	17.00
8	-2.67	9.85	20.27	2.48	20.27
9	-2.67	9.85	20.27	2.48	20.27
9	-3.00	10.28	23.54	3.72	23.54
10	-3.00	10.28	23.54	3.72	23.54
10	-3.33	10.71	26.81	4.87	26.81
11	-3.33	10.71	26.81	4.87	26.81
11	-3.67	11.14	30.08	5.46	30.08
12	-3.67	11.14	30.08	5.46	30.08
12	-4.00	11.57	33.35	6.06	33.35
13	-4.00	11.57	33.35	6.06	33.35
13	-4.33	6.34	36.62	34.22	36.62
14	-4.33	6.34	36.62	34.22	36.62
14	-4.67	7.20	39.89	38.28	39.89
15	-4.67	7.20	39.89	38.28	39.89
15	-5.00	8.06	43.16	42.39	43.16
16	-5.00	8.06	43.16	42.39	43.16
16	-5.33	8.91	46.43	43.93	46.43

Knoop nummer	Niveau [m]	Links		Rechts	
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]
17	-5.33	8.91	46.43	43.93	46.43
17	-5.67	9.77	49.70	36.92	49.70
18	-5.67	9.77	49.70	36.92	49.70
18	-6.00	10.62	52.97	30.52	52.97
19	-6.00	11.81	52.97	26.61	52.97
19	-6.33	13.22	56.24	22.61	56.24
20	-6.33	13.22	56.24	22.61	56.24
20	-6.67	20.02	59.51	18.94	59.51
21	-6.67	20.02	59.51	18.94	59.51
21	-7.00	26.58	62.78	15.49	62.78
22	-7.00	24.80	62.78	11.37	62.78
22	-7.33	37.17	66.05	8.73	66.05
23	-7.33	37.17	66.05	8.73	66.05
23	-7.67	49.37	69.32	9.58	69.32
24	-7.67	49.37	69.32	9.58	69.32
24	-8.00	61.53	72.59	10.43	72.59

*

Stat Status (A=actief, P=passief, Nummer is tak, 0 is ontlasting)
Mob Percentage passief gemobiliseerd

3.1.4 Grondbreuk

Horizontale gronddruk	Links [kN]	Rechts [kN]
Effectief	111.7	111.7
Water	268.6	268.6
Totaal	380.3	380.3

Beschouwd als passieve zijde
Maximale passieve effectieve weerstand 553.44 kN
Gemobiliseerde passieve eff. weerstand 111.68 kN
Percentage gemobiliseerde weerstand 20.2 %

3.1.5 Verticaal Evenwicht

Ksfactor 0.75
Partiële materiaalfactor 1.25
Maximale punt weerstand 0.00 [MPa]
Als de maximale puntweerstand nul is, is ook het puntdraagvermogen nul

Verticaal evenwicht niet pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-40.53
Verticale kracht passief	52.97
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	12.44
Opneembare verticale kracht F _{oe;d}	0.00
Resultante is omhoog	

Verticaal evenwicht pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-28.95
Verticale kracht passief	37.84
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	8.89
Opneembare verticale kracht F _{oe;d}	0.00
Resultante is omhoog	

3.1.6 Verticaal Evenwicht Bijdrage per Laag

Links		Rechts	
Niveau [m]	Bijdrage [kN]	Niveau [m]	Bijdrage [kN]
0.00	-0.01	-2.00	0.00
0.00	Veen matig	-2.00	Veen matig
-4.00	Zand schoon los	-8.21	Zand schoon los

Links			Rechts		
Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]	Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]
-6,00	Zand schoon z...	-8,16	-6,00	Zand schoon z...	9,76
-7,00	Zand schoon m...	-24,15	-7,00	Zand schoon m...	5,23

Einde Rapport

Rapport voor MSheet 7.9

Ontwerp van Damwanden
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Gemeente Utrecht Stadswerken
IBU Stadsingenieurs

Datum van rapport: 26-5-2010
Tijd van rapport: 13:46:47

Datum van berekening: 26-5-2010
Tijd van berekening: 13:46:07

Bestandsnaam: \\.blom205\afstudeerwerk\Stukken\Berekeningen\variant 1\1ahout

Verificatie volgens CUR 166

1 Overzicht

1.1 Overzicht per Fase en Toets

Fase nr.	Verificatie type	Verplaat-sing [mm]	Moment [kNm]	Dwars-Kracht [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. weerstand [%]	Verticaal evenwicht
1	Slap 6.3		17,6	-18,9	45,0	49,4	---
1	Slap 6.4		17,0	-19,3	51,3	55,9	---
1	Slap 6.5		10,3	-13,2	23,4	27,2	---
1	Slap 6.5 * 1,20	28,8	12,4	-15,8			
Max		28,8	17,6	-19,3	51,3	55,9	---

1.2 Ankers en Stempels

Fase	Verificatie type	Anker/stempel ø16- 3000	
		Kracht [kN]	Toestand
1	Slap 6.3	23,68	Elastisch
1	Slap 6.4	23,29	Elastisch
1	Slap 6.5 * 1,20	19,90	Elastisch

2 Invoergegevens voor alle Bouwfases

2.1 Algemene Invoergegevens

Verificatie volgens CUR 166

Model	Damwand
Check verticaal evenwicht	Ja
Aantal bouwfasen	1
Soortelijk gewicht van water	9,81 kN/m³
Aantal takken van de veer karakteristiek	3
Ontlastak van de veer karakteristiek	Nee

2.2 Damwandeigenschappen

Lengte	6,00 m
Bovenkant	0,00 m
Aantal secties	1
Pr,max;punt	0,00 MPa
Ksfactor	0,75

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Stijfheid EI [kNm²/m³]	Werkende breedte [m]	Maximum moment [kNm/m³]
90mm	-6,00	0,00	6,8000E+02	1,00	34,00

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Red.factor EI [-]	Red.factor max. moment [-]	Toelichting op reductiefactor
90mm	-6,00	0,00	1,00	1,00	

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Gecorrig. stijfheid EI [kNm²]	Gecorrig. max. moment [kNm]
90mm	-6,00	0,00	6,8000E+02	34,00

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Hoogte [mm]	Verf. oppervlak [m²/m² wall]	Doorsnede [cm²]
90mm	-6,00	0,00	90,00	1,35	900,00

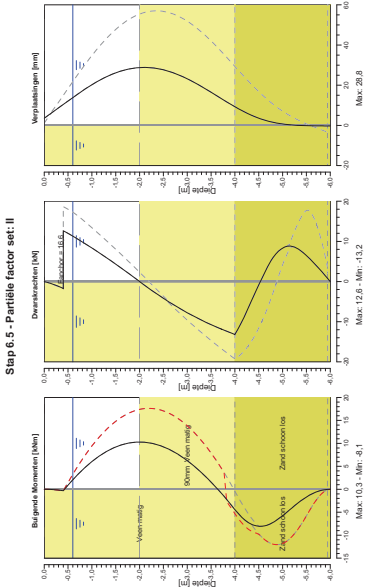
3 Stap 6.5 Fase 1: 5kN/m²

3.1 Berekeningsresultaten

Aantal iteraties: 5

3.1.1 Grafieken van Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Momenten/Krachten/Verplaatsingen - Fase 1: 5kN/m²



3.1.2 Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
1	0,00	0,0	0,0	3,6
1	-0,20	-0,1	-0,7	7,0
2	-0,20	-0,1	-0,7	7,0
2	-0,40	-0,3	-1,7	10,4
3	-0,40	-0,3	12,6	10,4
3	-0,60	2,1	11,3	13,9
4	-0,60	2,1	11,3	13,9
4	-0,88	5,0	9,3	18,4
5	-0,88	5,0	9,3	18,4
5	-1,16	7,3	7,1	22,5
6	-1,16	7,3	7,1	22,5
6	-1,44	8,9	4,8	25,6
7	-1,44	8,9	4,8	25,6
7	-1,72	10,0	2,5	27,8
8	-1,72	10,0	2,5	27,8
8	-2,00	10,3	0,0	28,8
9	-2,00	10,3	0,0	28,8
9	-2,29	10,0	-2,5	28,6
10	-2,29	10,0	-2,5	28,6
10	-2,57	8,9	-4,7	27,2
11	-2,57	8,9	-4,7	27,2
11	-2,86	7,3	-6,8	24,8
12	-2,86	7,3	-6,8	24,8

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
12	-3.14	5.0	-8.7	21.4
13	-3.14	5.0	-8.7	21.4
13	-3.14	5.0	-8.7	21.4
13	-3.43	2.3	-10.4	17.5
14	-3.43	2.3	-10.4	17.5
14	-3.71	-0.9	-11.8	13.4
15	-3.71	-0.9	-11.8	13.4
15	-4.00	-4.4	-13.2	9.3
16	-4.00	-4.4	-13.2	9.3
16	-4.29	-7.3	-6.5	5.7
17	-4.29	-7.3	-6.5	5.7
17	-4.57	-8.0	0.9	3.0
18	-4.57	-8.1	0.9	3.0
18	-4.86	-6.9	6.8	1.3
19	-4.86	-6.9	6.9	1.3
19	-5.14	-4.5	8.8	0.3
20	-5.14	-4.5	8.8	0.3
20	-5.43	-2.2	7.2	-0.1
21	-5.43	-2.2	7.2	-0.1
21	-5.71	-0.6	3.9	-0.2
22	-5.71	-0.6	3.9	-0.2
22	-6.00	0.0	0.0	-0.3
Max		10.3	-13.2	28.8
Max incl. tussenknopen		10.3	-13.2	28.8

3.1.3 Spanningen

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
1	0.00	2.94	0.00	A	0.00	0.00	-
1	-0.20	4.36	0.00	A	0.00	0.00	-
2	-0.20	4.36	0.00	A	0.00	0.00	-
2	-0.40	5.77	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.40	5.77	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
4	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
4	-0.88	7.54	2.75	A	0.00	2.75	-
5	-0.88	7.54	2.75	A	0.00	2.75	-
5	-1.16	7.90	5.49	A	0.00	5.49	-
6	-1.16	7.90	5.49	A	0.00	5.49	-
6	-1.44	8.27	8.24	A	0.00	8.24	-
7	-1.44	8.27	8.24	A	0.00	8.24	-
7	-1.72	8.63	10.99	A	0.00	10.99	-
8	-1.72	8.63	10.99	A	0.00	10.99	-
8	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	-
9	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	P
9	-2.29	9.36	16.54	A	1.06	16.54	P
10	-2.29	9.36	16.54	A	1.06	16.54	P
10	-2.57	9.72	19.34	A	2.13	19.34	P
11	-2.57	9.72	19.34	A	2.13	19.34	P
11	-2.86	10.09	22.14	A	3.19	22.14	P
12	-2.86	10.09	22.14	A	3.19	22.14	P
12	-3.14	10.46	24.95	A	4.25	24.95	P
13	-3.14	10.46	24.95	A	4.25	24.95	P
13	-3.43	10.83	27.75	A	5.31	27.75	P
14	-3.43	10.83	27.75	A	5.31	27.75	P
14	-3.71	11.20	30.55	A	6.38	30.55	P
15	-3.71	11.20	30.55	A	6.38	30.55	P
15	-4.00	11.57	33.35	A	6.64	33.35	P
16	-4.00	11.57	33.35	A	6.64	33.35	89
16	-4.29	6.22	36.16	A	32.80	36.16	3
17	-4.29	6.22	36.16	A	32.80	36.16	82
17	-4.57	6.96	38.96	A	31.27	38.96	2
18	-4.57	6.96	38.96	A	31.27	38.96	57
18	-4.86	7.69	41.76	A	21.20	41.76	1
18	-4.86	7.69	41.76	A	21.20	41.76	30

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
19	-4.86	7.69	41.76	A	21.20	41.76	1
19	-5.14	11.33	44.57	1	11.19	44.57	1
20	-5.14	11.33	44.57	1	11.19	44.57	1
20	-5.43	17.44	47.37	1	7.70	47.37	1
21	-5.43	17.44	47.37	1	7.70	47.37	1
21	-5.71	20.34	50.17	1	7.43	50.17	1
22	-5.71	20.34	50.17	1	7.43	50.17	1
22	-6.00	22.30	52.97	1	8.09	52.97	1

*

Stat Status (A=actief, P=passief, Nummer is tak, 0 is ontlasting)
Mob Percentage passief gemobiliseerd

3.1.4 Grondbreuk

Horizontale gronddruk	Links [kN]	Rechts [kN]
Effectief	58.8	44.4
Water	143.0	143.0
Totaal	201.8	187.4

Beschouwd als passieve zijde
Maximale passieve effectieve weerstand 163.15 kN
Gemobiliseerde passieve eff. weerstand 44.37 kN
Percentage gemobiliseerde weerstand 27.2 %
Positie enkelvoudige ondersteuning -0.40 m
Maximale passieve moment 773.19 kNm
Gemobiliseerd passief moment 180.74 kNm
Percentage gemobiliseerd moment 23.4 %

3.1.5 Verticaal Evenwicht

Ksifactor 0.75
Partiële materiaalfactor 1.25
Maximale punt weerstand 0.00 [MPa]
Als de maximale puntweerstand nul is, is ook het puntdraagvermogen nul

Verticaal evenwicht niet pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-11.73
Verticale kracht passief	18.19
Verticale anker kracht	-8.29
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	-1.83
Opneembare verticale kracht Floor	0.00
Verticale draagkracht voldoet niet (2 > 0)	

Verticaal evenwicht pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-8.69
Verticale kracht passief	13.47
Verticale anker kracht	-8.29
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	-3.51
Opneembare verticale kracht Floor	0.00
Verticale draagkracht voldoet niet (4 > 0)	

3.1.6 Verticaal Evenwicht Bijdrage per Laag

Links			Rechts		
Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]	Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]
0.00	Veen matig	-0.01	-2.00	Veen matig	0.00
-4.00	Zand schoon los	-11.72	-4.00	Zand schoon los	18.18

3.1.7 Ankers/Stempels

Anker/stempel naam	Niveau [m]	E-Modulus [kN/m ²]	Kracht [kN]	Toestand	Zijde	Type
ø16- 3000	-0.40	2.100E+08	16.58	Elastisch	Links	Anker

Einde Rapport

Rapport voor MSheet 7.9

Ontwerp van Damwanden
Ontwikkeld door Deltares



Bedrijfsnaam: Gemeente Utrecht Stadswerken
IBU Stadsingenieurs

Datum van rapport: 26-5-2010
Tijd van rapport: 13:47:25

Datum van berekening: 26-5-2010
Tijd van berekening: 13:47:17

Bestandsnaam: \..blom205\afstudeerwerk\Stukken\Berekeningen\variant 1\1akunststof

Verificatie volgens CUR 166

1 Overzicht

1.1 Overzicht per Fase en Toets

Fase nr.	Verificatie type	Verplaat-sing [mm]	Moment [kNm]	Dwars-Kracht [kN]	Mob. perc. moment [%]	Mob. perc. weerstand [%]	Verticaal evenwicht
1	Slap 6.3		17,8	-18,8	44,5	49,0	---
1	Slap 6.4		17,1	-19,2	51,1	55,7	---
1	Slap 6.5		10,4	-13,2	23,3	27,1	---
1	Slap 6.5 * 1,20	25,2	12,4	-15,9			
Max		25,2	17,8	-19,2	51,1	55,7	---

1.2 Ankers en Stempels

Fase	Verificatie type	Anker/stempel ø16-3000	
		Kracht [kN]	Toestand
1	Slap 6.3	23,80	Elastisch
1	Slap 6.4	23,34	Elastisch
1	Slap 6.5 * 1,20	19,94	Elastisch

2 Invoergegevens voor alle Bouwfasen

2.1 Algemene Invoergegevens

Verificatie volgens CUR 166

Model	Damwand
Check verticaal evenwicht	Ja
Aantal bouwfasen	1
Soortelijk gewicht van water	9,81 kN/m³
Aantal takken van de veer karakteristiek	3
Ontlastak van de veer karakteristiek	Nee

2.2 Damwandeigenschappen

Lengte	6,00 m
Bovenkant	0,00 m
Aantal secties	1
Pr,max;punt	0,00 MPa
Ksfactor	0,75

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Stijfheid EI [kNm²/m³]	Werkende breedte [m]	Maximum moment [kNm/m³]
SG-950	-6,00	0,00	8,2400E+02	1,00	67,00

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Red.factor EI [-]	Red.factor max. moment [-]	Toelichting op reductiefactor
SG-950	-6,00	0,00	1,00	1,00	

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Gecorrig. stijfheid EI [kNm²]	Gecorrig. max. moment [kNm]
SG-950	-6,00	0,00	8,2400E+02	67,00

Snede naam	Van [m]	Tot [m]	Hoogte [mm]	Verf-oppervlak [m²/m² wall]	Doorsnede [cm²]
SG-950	-6,00	0,00	305,00	1,35	315,00

3 Stap 6.5 Fase 1: 5kN/m²

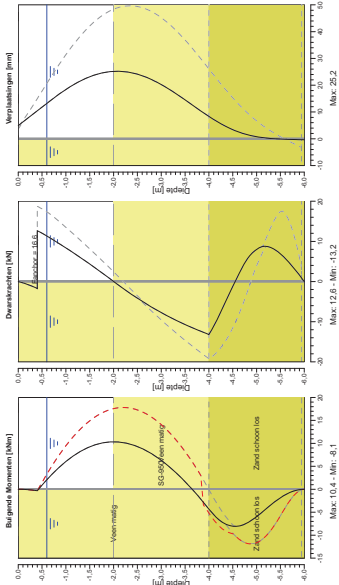
3.1 Berekeningsresultaten

Aantal iteraties: 5

3.1.1 Grafieken van Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Momenten/Krachten/Verplaatsingen - Fase 1: 5kN/m²

Stap 6.5 - Partiele factor set: II



3.1.2 Momenten, Krachten en Verplaatsingen

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
1	0,00	0,0	0,0	4,9
1	-0,20	-0,1	-0,7	7,7
2	-0,20	-0,1	-0,7	7,7
2	-0,40	-0,3	-1,7	10,5
3	-0,40	-0,3	12,6	10,5
3	-0,60	2,1	11,4	13,3
4	-0,60	2,1	11,4	13,3
4	-0,88	5,0	9,3	17,0
5	-0,88	5,0	9,3	17,0
5	-1,16	7,3	7,1	20,2
6	-1,16	7,3	7,1	20,2
6	-1,44	9,0	4,9	22,7
7	-1,44	9,0	4,9	22,7
7	-1,72	10,0	2,5	24,4
8	-1,72	10,0	2,5	24,4
8	-2,00	10,4	0,0	25,2
9	-2,00	10,4	0,0	25,2
9	-2,29	10,0	-2,4	24,9
10	-2,29	10,0	-2,4	24,9
10	-2,57	9,0	-4,7	23,7
11	-2,57	9,0	-4,7	23,7
11	-2,86	7,3	-6,8	21,6
12	-2,86	7,3	-6,8	21,6

Segment nummer	Niveau [m]	Moment [kNm]	Dwarskracht [kN]	Verplaatsing [mm]
12	-3.14	5.1	-8.7	18.8
13	-3.14	5.1	-8.7	18.8
13	-3.43	2.4	-10.3	15.4
14	-3.43	2.4	-10.3	15.4
14	-3.71	-0.8	-11.8	11.8
15	-3.71	-0.8	-11.8	11.8
15	-4.00	-4.3	-13.2	8.3
16	-4.00	-4.3	-13.2	8.3
16	-4.29	-7.2	-6.7	5.3
17	-4.29	-7.2	-6.7	5.3
17	-4.57	-8.1	0.5	2.9
18	-4.57	-8.1	0.5	2.9
18	-4.86	-7.0	6.4	1.3
19	-4.86	-7.0	6.4	1.3
19	-5.14	-4.8	8.7	0.4
20	-5.14	-4.8	8.7	0.4
20	-5.43	-2.4	7.6	0.0
21	-5.43	-2.4	7.6	0.0
21	-5.71	-0.6	4.3	-0.2
22	-5.71	-0.6	4.3	-0.2
22	-6.00	0.0	0.0	-0.4
Max		10.4	-13.2	25.2
Max incl. tussenknopen		10.4	-13.2	25.2

3.1.3 Spanningen

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
1	0.00	2.94	0.00	A	0.00	0.00	-
1	-0.20	4.36	0.00	A	0.00	0.00	-
2	-0.40	5.77	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.40	5.77	0.00	A	0.00	0.00	-
3	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
4	-0.60	7.18	0.00	A	0.00	0.00	-
4	-0.88	7.54	2.75	A	0.00	2.75	-
5	-0.88	7.54	2.75	A	0.00	2.75	-
5	-1.16	7.90	5.49	A	0.00	5.49	-
6	-1.16	7.90	5.49	A	0.00	5.49	-
6	-1.44	8.27	8.24	A	0.00	8.24	-
7	-1.44	8.27	8.24	A	0.00	8.24	-
7	-1.72	8.63	10.99	A	0.00	10.99	-
8	-1.72	8.63	10.99	A	0.00	10.99	-
8	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	-
9	-2.00	8.99	13.73	A	0.00	13.73	P
9	-2.29	9.36	16.54	A	1.06	16.54	P
10	-2.29	9.36	16.54	A	1.06	16.54	P
10	-2.57	9.72	19.34	A	2.13	19.34	P
11	-2.57	9.72	19.34	A	2.13	19.34	P
11	-2.86	10.09	22.14	A	3.19	22.14	P
12	-2.86	10.09	22.14	A	3.19	22.14	P
12	-3.14	10.46	24.95	A	4.25	24.95	P
13	-3.14	10.46	24.95	A	4.25	24.95	P
13	-3.43	10.83	27.75	A	5.31	27.75	P
14	-3.43	10.83	27.75	A	5.31	27.75	P
14	-3.71	11.20	30.55	A	6.38	30.55	P
15	-3.71	11.20	30.55	A	6.38	30.55	P
15	-4.00	11.57	33.35	A	6.46	33.35	P
16	-4.00	11.57	33.35	A	25.13	33.35	3 87
16	-4.29	6.22	36.16	A	32.36	36.16	3 81
17	-4.29	6.22	36.16	A	32.36	36.16	3 81
17	-4.57	6.96	38.96	A	30.88	38.96	2 56
18	-4.57	6.96	38.96	A	30.88	38.96	2 56
18	-4.86	7.69	41.76	A	21.73	41.76	1 31

Knoop nummer	Niveau [m]	Links			Rechts		
		Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Stat* [%]	Eff. spanning [kN/m²]	Water span. [kN/m²]	Mob* [%]
19	-4.86	7.69	41.76	A	21.73	41.76	1 31
19	-5.14	10.37	44.57	1	12.14	44.57	1 14
20	-5.14	10.37	44.57	1	12.14	44.57	1 14
20	-5.43	16.94	47.37	1	8.20	47.37	1
21	-5.43	16.94	47.37	1	8.20	47.37	1
21	-5.71	20.63	50.17	1	7.14	50.17	1
22	-5.71	20.63	50.17	1	7.14	50.17	1
22	-6.00	23.46	52.97	1	6.93	52.97	1

*

Stat Status (A=actief, P=passief, Nummer is tak, 0 is ontlasting)
Mob Percentage passief gemobiliseerd

3.1.4 Grondbreuk

Horizontale gronddruk	Links [kN]	Rechts [kN]
Effectief	58.6	44.2
Water	143.0	143.0
Totaal	201.7	187.2

Beschouwd als passieve zijde
Maximale passieve effectieve weerstand 163.15 kN
Gemobiliseerde passieve eff. weerstand 44.21 kN
Percentage gemobiliseerde weerstand 27.1 %
Positie enkelvoudige ondersteuning -0.40 m
Maximale passieve moment 773.19 kNm
Gemobiliseerd passief moment 180.25 kNm
Percentage gemobiliseerd moment 23.3 %

3.1.5 Verticaal Evenwicht

Ksifactor 0.75
Partiële materiaalfactor 1.25
Maximale punt weerstand 0.00 [MPa]
Als de maximale puntweerstand nul is, is ook het puntdraagvermogen nul

Verticaal evenwicht niet pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-11.67
Verticale kracht passief	18.13
Verticale anker kracht	-8.31
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	-1.85
Opneembare verticale kracht Floor	0.00
Verticale draagkracht voldoet niet (2 > 0)	

Verticaal evenwicht pluggend	Kracht [kN]
Verticale kracht actief	-8.64
Verticale kracht passief	13.43
Verticale anker kracht	-8.31
Totaal verticale kracht (geen eigengewicht)	-3.52
Opneembare verticale kracht Floor	0.00
Verticale draagkracht voldoet niet (4 > 0)	

3.1.6 Verticaal Evenwicht Bijdrage per Laag

Links			Rechts		
Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]	Niveau [m]	Laag naam	Bijdrage [kN]
0.00	Veen matig	-0.01	-2.00	Veen matig	0.00
-4.00	Zand schoon los	-11.66	-4.00	Zand schoon los	18.13

3.1.7 Ankers/Stempels

Anker/stempel naam	Niveau [m]	E-Modulus [kN/m²]	Kracht [kN]	Toestand	Zijde	Type
ø16- 3000	-0.40	2.100E+08	16.61	Elastisch	Links	Anker

Einde Rapport

Bijlage 7

CO₂-uitstoot productieproces materialen

Productie**Stalen damwanden**

CO2 uitstoot (kg) per kg staal

		grondstofwinning	transport	materiaal	transport	profilering	transport	inbrengen	onderhoud	afbraak
DHV ⁷	Eco-invent	2,3								
DHV ⁷	algemeen	1,5-4,5								
Carbon trust ⁸		?	0,3-1,9							
Bouwen met staal ⁹		0,94								
Arcelor Gent ¹⁰		1,8-1,9								
Corus ¹¹		1,8								
IPCC ¹²		1,5								
Umich ¹³		2,1								

Gehanteerde waarde: 1,9 kg CO₂ per kg staal (grondstofwinning t/m profilering & afbraak)⁷ Dhr. R. Spriensma, DHV BV, Amersfoort⁸ http://www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/life-cycle_energy_and_emissions.htm⁹ MRPI 9.1/00010/001, Bouwen met staal, 14 juli 2003, Rotterdam¹⁰ <http://www.voka.be/vev/nieuws/Pages/1tonstaal19tonCO2.aspx>¹¹ www.milieukundigen.nl/file.php?id=983¹² http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf¹³ Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan, report no 1998-5, Steven Blanchard, Peter Reppe, September 1998

Productie**Betonnen damwanden**

CO2 uitstoot (kg) per kg beton

		grondstofwinning	transport	materiaal	n.v.t.	profilering	transport	inbrengen	onderhoud	afbraak
Platowood ¹⁷	geen specificatie	0,41								
DHV ⁷	beton CEM III	0,05								
Gietbouw centrum ¹⁴	C20/25 & C28/35	0,063					0,0014			0,020
Gietbouw centrum ¹⁵	C20/25	0,058								
Gietbouw centrum ¹⁵	C28/35	0,067								
Van Hattum en Blankevoort ¹⁶	gemiddeld beton	0,034								0,017
Umich ¹³						0,2				

Gehanteerde waarde: 0,3 kg CO2 per kg beton (grondstofwinning t/m profilering & afbraak)

⁷ Dhr. R. Spriensma, DHV BV, Amersfoort¹³ Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan, report no 1998-5, Steven Blanchard, Peter Reppe, September 1998¹⁷ Environmental economic assessment of Plato products, TME, Maarten Nypels, Joram Krozer, Jochem Jantzen, 1 oktober 1998¹⁴ MRPI 2.1/00019/002, Gietbouw Centrum, 01-12-2006, Veenendaal¹⁵ MRPI 20.1/00020/002, Gietbouw Centrum, 01-12-2006, Veenendaal¹⁶ Rapport: Scope 3 analyse 'in situ' beton, Van Hattum en Blankevoort, 15-03-2010

Productie**Houten damwanden**

CO2 uitstoot (kg) per kg hout

		grondstofwinning	transport	materiaal	transport	profilering	transport	inbrengen	onderhoud	afbraak	CO2 reductie
DHV ⁷	algemeen	0,1-0,4									
DHV ⁷	Loofhout	0,2-0,4									
Platowood ¹⁷	Naaldhout	0,69								1,34	-1,50
DHV ⁷	Beh. Naaldhout	0,16									
Platowood ¹⁷	Beh. Naaldhout vacuum/druk	0,37								1,34	-1,50
Platowood ¹⁷	Beh. Naaldhout spray	1,19								1,34	-1,50
DHV ⁷	Onbeh. Naaldhout	0,14									

Gehanteerde waarde: 0,3 kg CO₂ per kg hout (grondstofwinning t/m profilering, afbraak & reductie)⁷ Dhr. R. Spriensma, DHV BV, Amersfoort¹⁷ Environmental economic assessment of Plato products, TME, Maarten Nypels, Joram Krozer, Jochem Jantzen, 1 oktober 1998

Productie**Kunststof damwanden**

CO2 uitstoot (kg) per kg kunststof

		grondstofwinning	transport	materiaal	transport	profilering	transport	inbrengen	onderhoud	afbraak
Plato ¹⁷	PVC & gerecycled plastic	1,75								0,17
DHV ⁷	polyester/glasvezel	5								
DHV ⁷	nylon	7,34								
DHV ⁷	polyamide	8,94								
DHV ⁷	gerec. Kunststof	0,5-1,0								
PVC.org ¹⁸	PVC	1,8								
Umich ¹³	glasvezel extrusie					1,5				
Umich ¹³	polyvinylchloride (PVC)	2,9								
Umich ¹³	vinyl extrusie					0,5				

Gehanteerde waarde: 1,8 kg CO2 per kg kunststof (grondstofwinning t/m profilering & afbraak)

⁷ Dhr. R. Spriensma, DHV BV, Amersfoort¹³ Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan, report no 1998-5, Steven Blanchard, Peter Reppe, September 1998¹⁷ Environmental economic assessment of Plato products, TME, Maarten Nypels, Joram Krozer, Jochem Jantzen, 1 oktober 1998¹⁸ <http://www.pvc.org/Sustainability/Eco-profiles-and-LCA>

Bijlage 8

CO₂-uitstoot productieproces per variant

CO₂ uitstoot productieproces per variant**Variant 1a**

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m ²)	Gewicht (kg/m ¹)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 28	8,00	166	1328	398.400	756.960	-	756960
Beton	SPW 450	8,00	460	3680	1.104.000	331.200	-	331200
Hout	90mm D50	6,00	58,5	351	105.300	31.590	4180	35770
Kunststof	SG 950	6,00	47,58	285,48	85.644	154.159	4180	158339

Variant 1b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m ²)	Gewicht (kg/m ¹)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ48	11,00	241	2651	795.300	1.511.070	-	1511070
Beton	SPW 600	10,00	540	5400	1.620.000	486.000	-	486000
Hout	-					doorbuiging te groot		
Kunststof	-					doorbuiging te groot		

Variant 2a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m ²)	Gewicht (kg/m ¹)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	7,00	99	693	207.900	395.010	-	395010
Beton	SPV 200	8,00	495	3960	1.188.000	356.400	-	356400
Hout	70mm D50	5,00	45,5	227,5	68.250	20.475	4180	24655
Kunststof	SG 950	4,50	47,58	214,11	64.233	115.619	4180	119799

Variant 2b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m ²)	Gewicht (kg/m ¹)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 19	8,50	129	1096,5	328.950	625.005	-	625005
Beton	SPW 450	8,00	460	3680	1.104.000	331.200	-	331200
Hout	90mm D50	5,00	58,5	292,5	87.750	26.325	4180	30505
Kunststof	SG 950	5,50	47,58	261,69	78.507	141.313	4180	145493

Variant 3a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m2)	Gewicht (kg/m1)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	5,25	99	519,75	155.925	296.258	-	296258
Beton	SPV 120	5,25	300	1575	472.500	141.750	-	141750
Hout	40mm D50	4,00	26	104	31.200	9.360	4180	13540
Kunststof	SG 425	3,50	17,08	59,78	17.934	32.281	4180	36461

Variant 3b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m2)	Gewicht (kg/m1)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	5,50	99	544,5	163.350	310.365	-	310365
Beton	SPV 200	5,50	370	2035	610.500	183.150	-	183150
Hout	50mm D50	4,50	32,5	146,25	43.875	13.163	4180	17343
Kunststof	SG 425	4,00	17,08	68,32	20.496	36.893	4180	41073

Variant 4a

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m2)	Gewicht (kg/m1)	Gewicht (kg)	Co2 uitstoot (kg)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	4,00	99	396	118.800	225.720	-	225720
Beton	SPV 120	4,00	300	1200	360.000	108.000	-	108000
Hout	30mm D50	3,00	19,5	58,5	17.550	5.265	4180	9445
Kunststof	SG 225	3,00	14,64	43,92	13.176	23.717	4180	27897

Variant 4b

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	Gewicht (kg/m2)	Gewicht (kg/m1)	Gewicht (kg)	Uitstoot (kg CO ₂)	Ankers (kg CO ₂)	Totaal (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	4,25	99	420,75	126.225	239.828	-	239828
Beton	SPV 120	4,25	300	1275	382.500	114.750	-	114750
Hout	30mm D50	3,00	19,5	58,5	17.550	5.265	4180	9445
Kunststof	SG 225	3,00	14,64	43,92	13.176	23.717	4180	27897

Bijlage 9

CO₂-uitstoot transport

CO₂ uitstoot transport

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	breedte (m)	Gewicht (kg/m1)	Aantal	Totaalgewicht (kg)	afstand (km) vrachtwagen	afstand (km) schip	Uitstoot (kg CO ₂)
Hout	30mm D50	3,00	0,25	4,9	1200	17.550	100		202
	30mm D50	3,00	0,25	4,9	1200	17.550	100		202
	40mm D50	4,00	0,25	6,5	1200	31.200	100		359
	50mm D50	4,50	0,25	8,1	1200	43.875	100		505
	70mm D50	5,00	0,25	11,4	1200	68.250	100		785
	90mm D50	5,00	0,25	14,6	1200	87.750	100		1009
	90mm D50	6,00	0,25	14,6	1200	105.300	100		1211
Staal	AZ 12	4,00	0,67	66,1	448	118.800	100		1366
	AZ 12	4,25	0,67	66,1	448	126.225	100		1452
	AZ 12	5,25	0,67	66,1	448	155.925	100		1793
	AZ 12	5,50	0,67	66,1	448	163.350	100		1879
	AZ 12	7,00	0,67	66,1	448	207.900	100		2391
	AZ 19	8,50	0,63	81,0	476	328.950	100		3783
	AZ 28	8,00	0,63	104,4	476	398.400	100		4582
	AZ 48	11,00	0,58	139,6	517	795.300	100		9146

Materiaal	Profiel	Lengte (m)	breedte (m)	Gewicht (kg/m1)	Aantal	Totaalgewicht (km)	afstand (km) vrachtwagen	afstand (km) schip	Uitstoot (kg CO2)
Kunststof	SG 225	3,00	0,46	6,7	656	13.176	100	6000	2523
	SG 225	3,00	0,46	6,7	656	13.176	100	6000	2523
	SG 425	3,50	0,61	10,4	492	17.934	100	6000	3434
	SG 425	4,00	0,61	10,4	492	20.496	100	6000	3925
	SG 950	4,50	0,46	21,7	656	64.233	100	6000	12301
	SG 950	5,50	0,46	21,7	656	78.507	100	6000	15034
	SG 950	6,00	0,46	21,7	656	85.644	100	6000	16401

Beton	SPV 120	4,00	0,50	150,0	600	360.000	100		4140
	SPV 120	4,25	0,50	150,0	600	382.500	100		4399
	SPV 120	5,25	0,50	150,0	600	472.500	100		5434
	SPV 200	5,50	0,50	185,0	600	610.500	100		7021
	SPV 200	8,00	0,50	185,0	600	888.000	100		10212
	SPW 450	8,00	1,00	460,0	300	1.104.000	100		12696
	SPW 450	8,00	1,00	460,0	300	1.104.000	100		12696
	SPW 600	10,00	1,00	540,0	300	1.620.000	100		18630

Bijlage 10

CO₂-uitstoot inbrengen

CO₂ uitstoot inbrengen m.b.v. Crawler

Variant 1a

Materiaal	Profiel	Oppervlak	Totale tijd (uur)	Uitstoot (kg CO ₂)
Staal	AZ 28	2400	120	4006
Beton	SPW 450	2400	120	4006
Hout	90mm D50	1800	72	2115
Kunststof	SG 950	1800	90	2643

Variant 1b

Staal	AZ48	3300	165	5508
Beton	SPW 600	3000	150	5007
Hout	-			
Kunststof	-			

Variant 2a

Staal	AZ 12	2100	105	3505
Beton	SPV 200	2400	120	4006
Hout	70mm D50	1500	60	1762
Kunststof	SG 950	1350	68	1982

Variant 2b

Staal	AZ 19	2550	128	4256
Beton	SPW 450	2400	120	4006
Hout	90mm D50	1500	60	1762
Kunststof	SG 950	1650	83	2423

Variant 3a

Materiaal	Profiel	Oppervlak	Totale tijd (uur)	Uitstoot (kg CO ₂)
Staal	AZ 12	1575	79	2629
Beton	SPV 120	1575	79	2629
Hout	40mm D50	1200	48	1410
Kunststof	SG 425	1050	53	1542

Variant 3b

Staal	AZ 12	1650	83	2754
Beton	SPV 200	1650	83	2754
Hout	50mm D50	1350	54	1586
Kunststof	SG 425	1200	60	1762

Variant 4a

Staal	AZ 12	1200	60	2003
Beton	SPV 120	1200	60	2003
Hout	30mm D50	900	36	1057
Kunststof	SG 225	900	45	1322

Variant 4b

Staal	AZ 12	1275	64	2128
Beton	SPV 120	1275	64	2128
Hout	30mm D50	900	36	1057
Kunststof	SG 225	900	45	1322

Bijlage 11

CO₂-uitstoot totaal

CO₂ uitstoot totaal

Variant 1a

Materiaal	Productie	Transport	Inbrengen	Totaal	Factor	Totaal (100 jaar)
Staal	756.960	4.582	4.006	765.547	2	1.531.094
Beton	331.200	12.696	4.006	347.902	1	347.902
Hout	35.770	1.211	2.115	39.096	5	195.478
Kunststof	158.339	16.401	2.643	177.383	2	354.767

Variant 1b

Staal	1.511.070	9.146	5.508	1.525.724	2	3.051.447
Beton	486.000	18.630	5.007	509.637	1	509.637
Hout	-					-
Kunststof	-					-

Variant 2a

Staal	395.010	2.391	3.505	400.906	2	801.812
Beton	356.400	10.212	4.006	370.618	1	370.618
Hout	24.655	785	1.762	27.202	5	136.010
Kunststof	119.799	12.301	1.982	134.082	2	268.165

Variant 2b

Staal	625.005	3.783	4.256	633.044	2	1.266.088
Beton	331.200	12.696	4.006	347.902	1	347.902
Hout	30.505	1.009	1.762	33.276	5	166.382
Kunststof	145.493	15.034	2.423	162.950	2	325.899

Variant 3a

Staal	296.258	1.793	2.629	300.679	2	601.359
Beton	141.750	5.434	2.629	149.812	1	149.812
Hout	13.540	359	1.410	15.309	5	76.543
Kunststof	36.461	3.434	1.542	41.437	2	82.875

Variant 3b

Staal	310.365	1.879	2.754	314.997	2	629.995
Beton	183.150	7.021	2.754	192.925	1	192.925
Hout	17.343	505	1.586	19.433	5	97.165
Kunststof	41.073	3.925	1.762	46.760	2	93.520

Variant 4a

Staal	225.720	1.366	2.003	229.089	2	458.178
Beton	108.000	4.140	2.003	114.143	1	114.143
Hout	9.445	202	1.057	10.704	5	53.521
Kunststof	27.897	2.523	1.322	31.742	2	63.483

Variant 4b

Staal	239.828	1.452	2.128	243.407	2	486.814
Beton	114.750	4.399	2.128	121.277	1	121.277
Hout	9.445	202	1.057	10.704	5	53.521
Kunststof	27.897	2.523	1.322	31.742	2	63.483