

HAALBAARHEIDSSTUDIE:

**BETONNEN DAMWANDEN,
VOORGESPANNEN MET ARAPREE,
TOEGEPAST ALS OEERVERDEDIGING.**

24 mei 1991

**Hollandsche Beton en Waterbouw
Gouda**

R.J. van Beek

VOORWOORD

Voor U ligt het verslag van de studie naar de haalbaarheid van betonnen damwanden, voorgespannen met ARAPREE. Deze studie is uitgevoerd in het kader van mijn afstuderen en is tot stand gekomen in samenwerking met de Hollandsche Beton en Waterbouw, afdeling Waterbouwkundig Ontwerp Bureau.

Dit verslag is het vervolg op het vooronderzoek dat gedaan is in het kader van deze studie. In dat vooronderzoek zijn de eigenschappen van ARAPREE en de verschillende typen oeververdediging aan de orde gekomen. In dit verslag zijn betonnen profielen, als oeververdediging, ontworpen en is bekeken in hoeverre deze alternatieven concurrerend zijn met de huidige oplossingen. Er is gekeken naar de mogelijkheid om de markt van betonnen damwanden uit te breiden met nieuwe vormen en een nieuw materiaal.

Ik dank de afdeling voor de samenwerking gedurende deze studie en in het bijzonder de heren ing. L.F. Hijna en ir. J.H.M. van Kleef voor hun begeleiding.

Verder wil ik mijn afstudeercommissie, prof. ir. Ch.J. Vos, prof. ir. K. d'Angremond en ir. J.A. den Uijl, dank zeggen voor hun kennis en begeleiding tijdens de laatste fase van mijn studie.

Gouda, 24 mei 1991

R.J. van Beek

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	6
2. TOEPASSINGSGEBIED BETONNEN DAMWANDEN	9
2.1. Algemeen	9
2.2. Het aangehouden grondprofiel	9
2.3. Andere grondprofielen	10
3. VOORWAARDEN EN CRITERIA	11
3.1. Algemeen	11
3.2. Uitgangspunten bij het ontwerp	11
3.3. Criteria	16
<u>FASE 1: GENEREREN EN SELECTEREN VAN ALTERNATIEVEN</u>	22
4. ALTERNATIEVEN	22
4.1. Algemeen	22
4.2. Beschrijving alternatieven	22
5. EERSTE SELECTIE VAN DE ALTERNATIEVEN	29
5.1. Multi-criteria-analyse	29
5.2. Gevoeligheid voor fouten	33
<u>FASE 2: UITWERKING EN UITEINDELIJKE KEUZE</u>	34
6. ONTWERP GEKOZEN PROFIELEN	34
6.1. Algemeen	34
6.2. Beschrijving van de ontwerpmethode	34
6.3. De Lotus spreadsheet	36
6.3.1. Opbouw van de spreadsheet	
6.3.2. De invoer	
6.3.3. De uitvoer	
6.4. Bespreking van de resultaten	38

7. UITEINDELIJKE KEUZE	40
7.1. Algemeen	40
7.2. Fabricagekosten	40
7.3. Keuze	46
7.4. Kentallen gekozen profielen	51
8. VERGELIJKING HUIDIGE OEVERVERDEDIGINGEN	53
8.1. Huidige oplossingen	53
8.1.1. Materialen	
8.1.1.1. Hout	
8.1.1.2. Staal	
8.1.1.3. GRC-schoeidelen	
8.1.2. Randvoorwaarden en afmetingen	
8.1.3. Fabricagekosten	
8.2. Vergelijking beton versus hout/staal/GRC	59
9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	62
9.1. Conclusies	62
9.1.1. Conclusies ten aanzien van damwanden	
9.2. Aanbevelingen	64
LITERATUUR	66
BIJLAGE 1: Aangehouden grondprofielen	B 1
BIJLAGE 2: Wegingsmethode criteria	B 11
BIJLAGE 3: Multi-criteria-analyse	B 17
BIJLAGE 4: Berekeningen bezwijkstadium	B 32
BIJLAGE 5: Lotus spreadsheet.	B 37
BIJLAGE 6: De geselecteerde alternatieven	B 41
BIJLAGE 7: Kosten betonnen profielen	B 62
BIJLAGE 8: Fabricagekosten huidige oplossingen	B 73

SAMENVATTING

ARAPREE is een voorspanelement op basis aramidevezels, ontwikkeld door de HBG en AKZO. Dit nieuwe materiaal heeft een aantal voordelen vergeleken met voorspan- en wapeningsstaal. Echter de hoge kostprijs van ARAPREE is een van de redenen dat het daar wordt toegepast waar de gunstige eigenschappen van ARAPREE tot uiting komen en een toepassing in staal speciale voorzieningen vergt.

Een van deze eigenschappen is de hoge chemische resistentie waardoor de vereiste betondekking klein is. Het voordeel hiervan komt vooral tot uiting in dunwandige elementen. Een toepassingsgebied van dergelijke elementen is de oeververdediging waar het als vervanging kan dienen voor het 'omstreden' tropisch hardhout of verduurzaamd naalddhout.

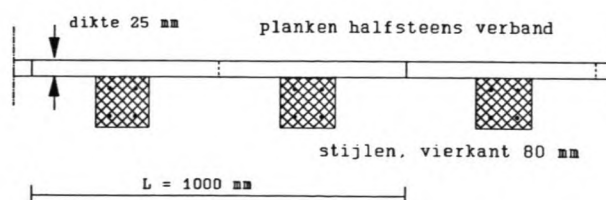
In de studie is de toepasbaarheid onderzocht van betonnen profielen voorgespannen met ARAPREE, bij vier verschillende oevers. Er zijn twee lage (0,5 en 1,0 meter kerende hoogte) en twee hoge oevers (3,0 en 6,0 meter) bekeken.

Allereerst zijn negen verschillende damwanden bepaald en onderling afgewogen aan de hand van diverse criteria. Door middel van een multi-criteria-analyse zijn bij elke oever de drie beste alternatieven gekozen, welke vervolgens zijn gedetailleerd en waarvan de fabricagekosten zijn berekend. Hierbij zijn materiaal-, arbeids-, mal- en transportkosten in rekening gebracht.

Bij elke kerende hoogte is het goedkoopste alternatief gekozen en vergeleken met de huidige oplossingen in hout, staal en een nieuwe beschoeiingsvorm (GRC-schoeidelen).

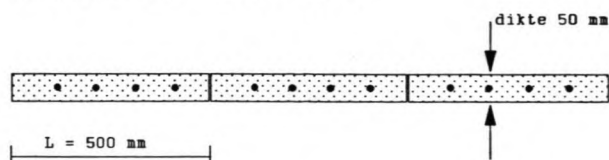
Bij de laagste oever is van de betonvarianten de beschoeiing het goedkoopste maar deze blijkt aanzienlijk duurder dan de houten beschoeiing.

Stijlen met beschoeiing; hoogte 0,5 m



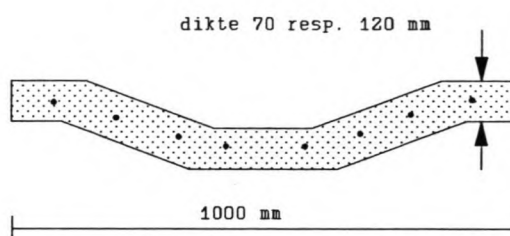
De damplank is bij een hoogte van 1,0 meter het goedkoopste betonalternatief en deze blijkt concurrerend met de houten variant.

Damplanken; hoogte 1,0 m



Bij beide hoge oevers is de betonnen damwandplank het goedkoopste beton-alternatief. Het blijkt dat bij een hoogte van 3,0 meter beton de laagste fabricagekosten heeft terwijl bij 6,0 meter staal het voordeligst is.

Damwandplanken; hoogte 3,0 en 6,0 m



Beton blijkt een goede vervanging van hout en is financieel aantrekkelijk bij middelhoge oevers. Bij zeer grote momenten is het aandeel van ARAPREE in de kostprijs te groot waardoor de stalen damwand goedkoper is. Bovendien is de dikte van een betonelement zodanig (120 mm bij 6,0 meter kerende hoogte) dat ARAPREE niet noodzakelijk is.

Bij de middelhoge oevers blijft de dikte van de betonelementen, door de toepassing van ARAPREE, beperkt. In vergelijking met traditioneel gewapend beton is deze aanzienlijk verminderd; bij planken, toegepast als beschoeiing, is de dikte terug te brengen tot 25 mm en bij de damplanken bedraagt deze 40 à 50 mm bij geringe momenten.

De gereduceerde dikte kan grote voordelen hebben bij het inbrengen van het profiel omdat de weerstand minder is dan bij grote dikte. Bovendien is de duurzaamheid van de damwand, bij eventueel optredende scheurvorming, gegarandeerd doordat ARAPREE niet corrodeert.

Dit kan bij middelhoge oevers de doorslaggevende factor zijn om voor beton, voorgespannen met ARAPREE, te kiezen.

1. INLEIDING

Vanwege het probleem van metaalcorrosie bij de toepassing van staal, als voorspan- of wapeningselement, in betonconstructies, zijn er nieuwe produkten ontwikkeld die dit probleem niet kennen (op basis van koolstof-, glas- en aramidevezels). Eén van deze nieuwe produkten is ARAPREE, ARAmide PREstressing Element, dat is ontwikkeld door de Hollandsche Beton Groep in samenwerking met AKZO. Dit voorspanelement bestaat uit aramidevezels die ingebed zijn in een epoxyhars. Verdere details omtrent de eigenschappen van aramide en ARAPREE zijn gegeven in het verslag van het voorbereidende onderzoek (literatuur [1]: "Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van betonnen damwanden, voorgespannen met ARAPREE, als oeverbescherming").

Uit dit onderzoek is gebleken dat een toepassing van ARAPREE alleen economisch is indien de gunstige eigenschappen van dit produkt ten opzichte van staal tot uiting komen. Het huidige prijsniveau van ARAPREE is zodanig dat een betonconstructie voorgespannen met staal veel goedkoper is. Door benutting van de gunstige eigenschappen van ARAPREE kunnen nieuwe produkten van beton worden gemaakt, die niet met staal te realiseren zijn of speciale maatregelen vergen. Met de vervaardiging van dergelijke produkten, gebruikmakend van de gunstige eigenschappen van ARAPREE, is het toepassingsgebied van beton uit te breiden.

Eén van deze toepassingsgebieden is de oeverbescherming in de vorm van een betonnen damwand. Deze studie is opgezet om die mogelijkheid te bekijken en aan te geven wanneer en waar een toepassing van ARAPREE economisch is. Hieruit volgt direct de doelstelling van deze studie:

Doelstelling: Het ontwerpen van een betonnen oeverbescherming, voorgespannen met ARAPREE, en bepalen of deze economisch haalbaar is en onder welke condities (grondprofiel, fabricage-proces) deze kan worden toegepast.

Er is gekozen voor oeverbescherming in de vorm van een betonnen damwand vanwege de nadelige aspecten bij de gangbare oplossingen (hout, staal of gewapend beton).

Vanwege het behoud van de tropische regenwouden is er vraag naar produkten die het hardhout kunnen vervangen. Ook bij de toepassingen van verduurzaamd naalddhout zijn kanttekeningen te maken. De verduurzamingsmiddelen (bijvoorbeeld creosootolie, zoutmengsels) die gebruikt worden om de levensduur van het hout in water te vergroten, komen na verloop van tijd in het water en tasten op die manier de kwaliteit daarvan aan.

Het nadeel van de betonnen damwanden is het grote eigen gewicht (grote dikte vanwege de noodzakelijke betondekking op staal) en de schade tijdens heien (onder andere veroorzaakt door de grote dikte), zie ook hoofdstuk 2. Het voornaamste bezwaar bij staal is de corrosie, echter door coating van de wand kan dit worden verminderd.

Voor meer details omtrent de gangbare oplossingen wordt verwezen naar de bovengenoemde literatuur [1].

De studie is onderverdeeld in de onderstaande drie fasen. Alvorens aan de eerste fase te beginnen is een verdeling gemaakt in verschillende kerende hoogten en zijn de criteria en voorwaarden vastgesteld waarmee de alternatieven zijn bepaald.

- fase 1:
 - het genereren van verschillende alternatieven voor de diverse kerende hoogten,
 - toetsing van de alternatieven aan de criteria met behulp van een multi-criteria-analyse,
 - selectie van drie alternatieven per hoogte;
- fase 2:
 - dimensionering van de profielen,
 - bepalen van de fabricagekosten,
 - definitieve keuze op basis van deze kosten;
- fase 3:
 - vergelijking van de gekozen oplossing met de gangbare oplossingen.

Het geheel is afgerond met conclusies en aanbevelingen ten aanzien van de toepassing van de gekozen oplossing.

De studie is gedaan in het kader van het afstudeerwerk aan de Technische Universiteit Delft, faculteit der Civiele Techniek.

2. TOEPASSINGSGEBIED BETONNEN DAMWANDEN

2.1. Algemeen

In de inleiding is al aangegeven dat de studie zich toespitst op betonnen oeverbeschermingen. In het verleden zijn damwanden toegepast van traditioneel gewapend beton. Deze produkten hebben een aantal bezwaren die nauw met elkaar samenhangen. Door de *noodzakelijk dekking op het staal* (om corrosie te voorkomen) is de *dikte van de damwand groot*. Deze dikte had een *hoog eigen gewicht* tot gevolg alsmede een *slechte hanteerbaarheid* van het element. Door de grote dikte en het eigen gewicht was de damwand *moeilijk te heien* en ontstond onder andere *schade aan de kop* als gevolg van grote heispanningen. Al gauw werd afgezien van verdere toepassing van betonnen damwanden.

Er werd hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de houten damwand daar waar het de kleinere oeververdedigingen betrof (tot 3 meter kerende hoogte) en op de stalen damwand bij de grotere kerende hoogten (3 meter en groter).

Door de toepassing van ARAPREE als voorspanelement is minder dekking nodig vanwege de betere chemische resistentie ten opzichte van staal. Bovendien kan de damwand, door deze voor te spannen, de optredende heispanningen beter opnemen.

2.2. Het aangehouden grondprofiel

Bij het zoeken van een mogelijk toepassingsgebied van betonnen damwanden, is een verdeling gemaakt in vier verschillende "klassen" van oevers. Deze oevers variëren van laag tot hoog om een breed scala te bekijken waarbinnen een toepassing mogelijk kan zijn. De vier verschillende oevers zijn als volgt verdeeld met betrekking tot de kerende hoogte:

- tot 0,5 meter (zeer lage oevers langs singels in steden of nieuwbouw wijken).
- tot 1,0 meter (lage oevers langs kleine rivieren of kanalen).
- tot 3,0 meter (oevers langs grotere scheepvaartkanalen en rivieren).
- tot 6,0 meter (hoge oevers).

De eerste twee oevers worden op het ogenblik voornamelijk verdedigd met behulp van houten beschoeiingen (vlechtmaten achter perkoenpalen) of houten damwanden. Een nieuwe ontwikkeling voor deze lage oevers is het GRC-schoeideel (glasvezel versterkt beton) toegepast met houten palen. Dit zijn produkten die makkelijk met de hand of licht materieel zijn aan te leggen. Bij het ontwerp van een betonnen damwand moet worden getracht hanteerbare elementen te ontwerpen omdat dit een groot voordeel is bij de plaatsing van de oeververdediging.

De twee hoge oevers worden vooral verdedigd met stalen damwanden (verduurzaamd met een coating tegen corrosie).

Bij de toepassing als oeververdediging is uitgegaan van één grondprofiel voor elke kerende hoogte. Elk profiel geeft een andere krachtsverdeling in de damwand en daarom is het belangrijk een representatief geval te kiezen. Bij deze studie zijn grondprofielen bekeken die voorkomen in het gebied van Delfland (tot 1.0 meter kerende hoogte) en in Zuid-Holland in het algemeen. Bij het verkrijgen van de gegevens is contact opgenomen met het Hoogheemraadschap van Delfland en de Provinciale Waterstaat Zuid-Holland. Er zijn twee grondprofielen aangehouden, een voor de twee lage oevers en het ander voor de grotere hoogten. Deze grondprofielen en de bijbehorende eigenschappen zijn weergegeven in bijlage 1.

2.3. Andere grondprofielen

Elk grondprofiel geeft andere waarden voor momenten, dwarskrachten, vereiste inheidiepte en optredende grondspanningen. Bovendien worden de momenten bepaald door de uitvoeringsmethode (bijvoorbeeld: heien + ontgraven of heien + aanvullen) en de eventueel benodigde aanvulgrond. Daarom is het enerzijds belangrijk het aan te houden grondprofiel zorgvuldig te kiezen en anderzijds te bedenken dat een ander grondprofiel andere afmetingen van de damwand geeft.

Het gekozen profiel is representatief maar wel ongunstig (wat betreft de optredende krachten en momenten). Het geeft grote momenten in de damwand. Daarom wordt in het vervolg van de studie niet direkt gelet op het grondprofiel maar meer op het optredend moment waarbij de damwand is ontworpen.

3. VOORWAARDEN EN CRITERIA

3.1. Algemeen

Om tot een goed ontwerp te komen, zijn bepaalde voorwaarden in acht genomen. Deze voorwaarden zijn bepaald door eisen van buitenaf en door uitgangspunten die gesteld zijn om de studie te vereenvoudigen. Deze zijn onderverdeeld in materiaaltechnische en uitvoeringstechnische voorwaarden. Om, in de eerste fase, een selectie te maken uit de alternatieven gegeven in hoofdstuk 4, zijn deze afgewogen tegen bepaalde criteria met behulp van een multi-criteria-analyse. De criteria, in totaal tien, zijn in paragraaf 3.3 beschreven. De analyse is toegelicht in hoofdstuk 5.

3.2. Uitgangspunten bij het ontwerp

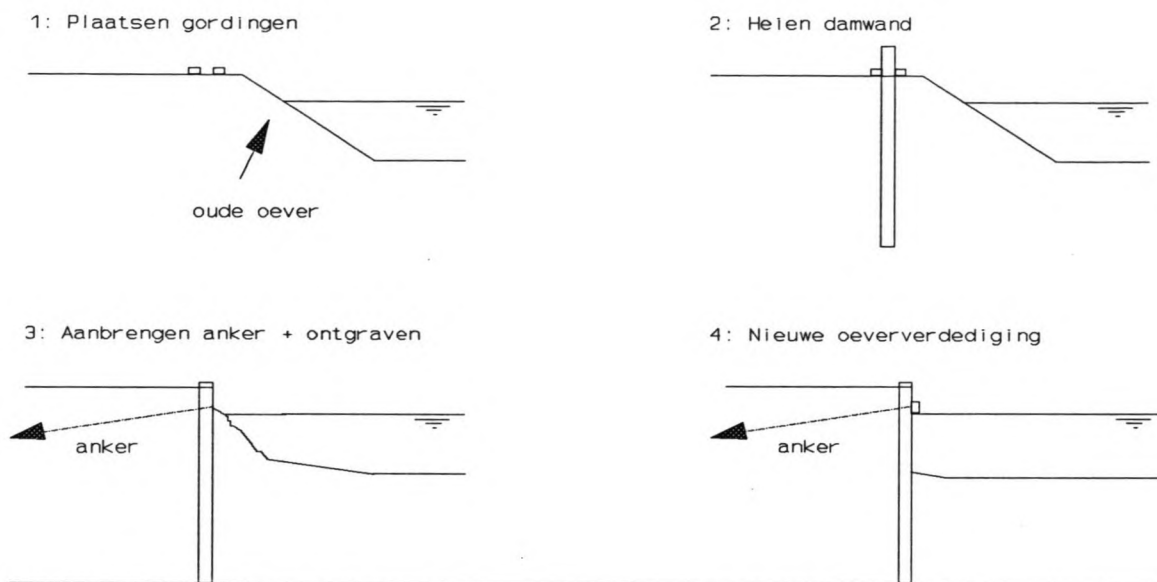
Bij het ontwerp van de verschillende alternatieven is een aantal uitgangspunten aangehouden. Dit is gedaan om enerzijds uitvoeringstechnische eisen op te leggen en anderzijds om het ontwerp te vergemakkelijken. Indien de eisen in een later stadium niet voldoen, is het ontwerp aangepast. In eerste instantie is het alleen noodzakelijk om de alternatieven te vergelijken en niet om een gedetailleerd ontwerp te bewerkstelligen.

De uitgangspunten zijn onderverdeeld in aparte groepen. De meeste van deze uitgangspunten zijn van toepassing op het globale ontwerp van de profielen, enkele (onder andere de materiaalwaarden) zijn gebruikt voor de uitwerking van de geselecteerde alternatieven.

Uitvoeringstechnische uitgangspunten:

- **Uitvoeringsmethode damwand (figuur 3.1).**
De damwand wordt eerst geheid langs heigordingen op maaiveld-niveau. Deze gordingen voorkomen grote uitwijkingen tussen de elementen onderling. Hierna kan de eventuele verankering worden aangebracht (na het weggraven van de grond tot noodzakelijke diepte. Is eenmaal het anker aangebracht, dan kan de grond voor de damwand (aan de waterkant) worden weggegraven tot kanaalbodem-diepte.

UITVOERINGSMETHODE DAMWAND

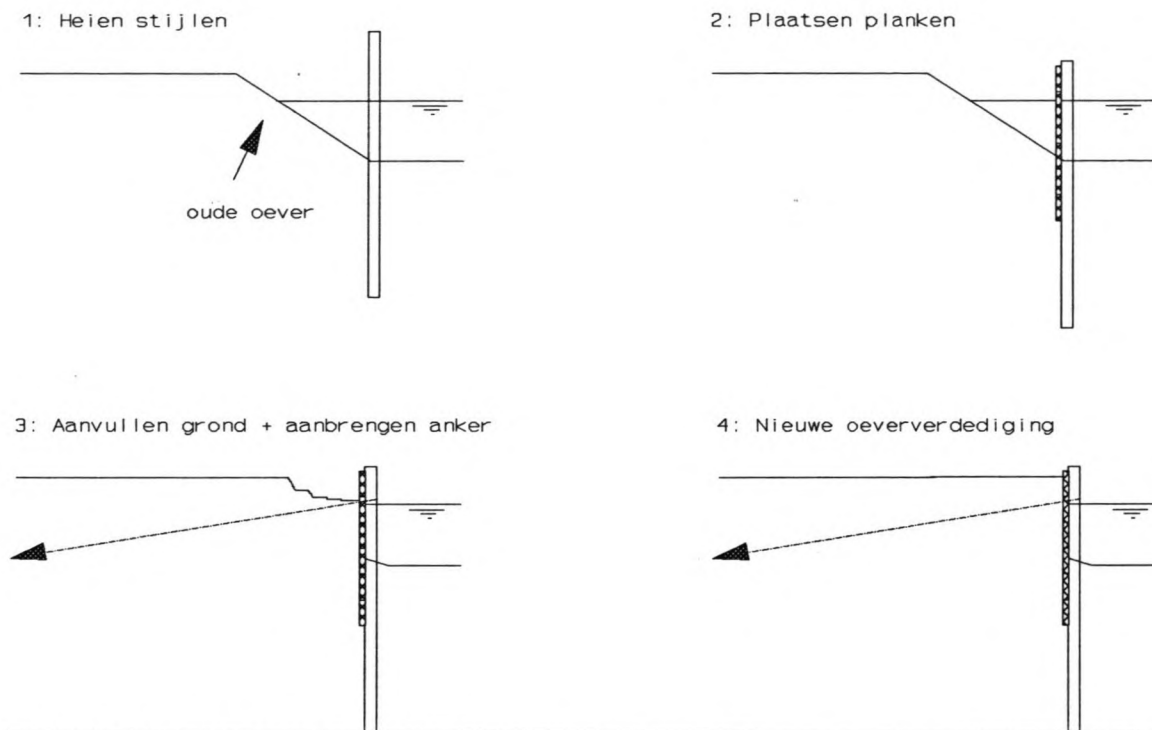


figuur 3.1. Uitvoeringsmethode damwand.

- Uitvoeringsmethode stijlen/planken (figuur 3.2).**
 Allereerst worden de stijlen geheid, dit gebeurt op de bodem van het kanaal (kan zowel "in den droge" of "in den natte"). Na controle op scheefstand in langs- en dwarsrichting, worden de planken tussen of achter de stijlen geplaatst. De planken worden op diepte in de bodem gedrukt om het graafwerk te beperken. Hierna wordt het anker aangebracht en kan de grond achter de wand worden aangevuld. Indien volledige grond dichtheid vereist is, kan een filterdoek achter de planken worden aangebracht voordat de grond wordt aangevuld.
- symmetrische profielen bij kleine hoogte (tot 1,0 m).**
 Om te voorkomen dat het omdraaien van een profiel catastrofale gevolgen zou hebben voor de damwand, zijn symmetrische profielen bepaald. Op deze wijze kan elk profiel een evengroot positief als negatief moment opnemen en is het mogelijk het profiel "om te draaien" (om de verticale as).
- centrisch voorgespannen bij alle hoogten.**
 Om dezelfde reden als hierboven beschreven zijn alle profielen centrisch voorgespannen. Bij de verankerde profielen werkt er een positief en negatief moment zodat centrische voorspanning altijd noodzakelijk is.

UITVOERINGSMETHODE STIJLEN/ PLANKEN

"in den natte"



figuur 3.2. Uitvoeringsmethode stijlen/planken.

- **hanteerbaarheid planken bij 0,5 en 1,0 meter.**

Dit uitgangspunt is reeds eerder uitgelegd. Aangezien een systeem wordt gezocht dat de oeverbescherming van tropisch hardhout moet vervangen, is gekeken naar alternatieven met dezelfde voordelen. De handmatigheid is één van deze voordelen en daarom is dit als uitgangspunt aangehouden. Wanneer bij latere analyse blijkt dat langere planken (zie verder in dit hoofdstuk) economischer zijn, kan dit uitgangspunt worden aangepast.

- **Aansluitingen later ontwerpen.**

Bij het bepalen van het eerste ontwerp van de damwanden is niet gekeken naar de aansluitingen tussen de damwanden (of planken) onderling. Bij het detaileren van de geselecteerde alternatieven (hoofdstuk 6) zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Een gedetailleerde aansluiting met betrekking tot de grondichtheid is bij deze studie achterwege gelaten omdat dit de keuze waarschijnlijk niet zal beïnvloeden. Dit zal in een studie, waarbij ook de uitvoeringstechnische aspecten aan bod komen, moeten worden uitgewerkt.

In dit voorlopige ontwerp is uitgegaan van een goede aansluiting en de lengte van de voegen is aangehouden als maat voor de gronddichtheid.

Uitgangspunten voor de materialen:

• **ARAPREE:**

- * voorspanstaven in verband met de splijtspanningen.
Het is gebleken dat voorspanstaven lagere splijtspanningen tot gevolg hebben dan -*strippen*. Aangezien deze spanningen bij dunne elementen de doorslag kunnen geven voor de dikte, is gekozen voor voorspanstaven.
- * dekking van 5 keer de diameter van de wapening.
Uit onderzoek is gebleken dat bij te kleine dekking, om dezelfde reden als hierboven, de betondoorsnede splijt. Er zijn methoden bedacht om deze splijtspanningen te verminderen (afplakken van een gedeelte van de wapening) maar voor deze studie wordt de bovengenoemde dekking voorlopig aangehouden als zekerheid.
- * aantal vezels is een veelvoud van 5000.
De meest voorkomende staven of strippen hebben 100000 en 200000 filamenten (aanduiding f100000 en f200000). Dit aantal is opgebouwd uit units van 5000. Om dunne, lichte elementen die weinig moment moeten opnemen economisch te wapenen, is afgeweken van het gangbare aantal filamenten. Wel is één type staaf per profiel aangehouden. Indien het een niet gangbaar aantal filamenten betreft, is één type per alternatief aangehouden (dus niet f30000 voor de stijl en f20000 voor de plank bij hetzelfde alternatief).
- * minimaal 2 voorspanstaven per doorsnede.
Deze eis houdt verband met het gevaar dat bestaat, dat een staaf kan bezwijken. Indien er één staaf als voorspanning is aangebracht, heeft het bezwijken van die staaf ernstige gevolgen (ongewapend beton).
- * bezwijkspanning: 2400 N/mm^2 .
De bezwijkspanning is bepaald door de treksterkte van ARAPREE en de reststerkte na langdurige belasting. Uit onderzoek en door extrapolatie in de tijd, is gebleken dat ARAPREE, zelfs na 95 jaar continue belasting, een reststerkte overhoudt van 95% ten opzichte van de korteduur sterkte. Daarom is 2400 N/mm^2 aangehouden voor de bezwijkspanning bij de berekening van de benodigde hoeveelheid ARAPREE.
- * werkspanning: 1150 N/mm^2 .
Voor de werkspanning is een veel lagere waarde aangehouden in

vergelijking met de bezwijkspanning. De reden hiervoor is enerzijds de veiligheid (nieuw produkt, lage aanvangsvoorspanning) en anderzijds de reductie ten gevolge van voorspanverliezen. Men is nog niet volledig bekend met het gedrag van de voorspanning en daarom is de aanvangsvoorspanning laag (55%) gehouden ten opzichte van de treksterkte. Daarna is deze waarde gereduceerd met de voorspanverliezen (25%) en wordt de werkspanning gevonden (1150 N/mm^2). Indien men, na een aantal toepassingen, meer vertrouwd raakt met het materiaal kan de aanvangsvoorspanning worden verhoogd (60 à 65%, hieruit volgt een werkspanning van $\approx 1300 \text{ N/mm}^2$).

- * materiaalcoëfficiënt: $\gamma_a = 1,1$

Voor de materiaalcoëfficiënt van ARAPREE is 1,1 aangehouden.

- **Beton:**

- * B45

Deze betonkwaliteit wordt veelvuldig toegepast bij de prefab-elementen. Een lage waarde komt niet ten goede aan de kwaliteitsverhouding beton/ARAPREE en een hoge waarde drukt teveel op de kwaliteitszorg bij de fabricage.

- * materiaalcoëfficiënt: γ_m

Aangehouden is de materiaalcoëfficiënt volgens de nieuwe Voorchriften Beton (ontwerp NEN 6721). Er is in deze voorschriften onderscheid gemaakt tussen de druk- en de treksterkte. De coëfficiënt bij trek is hoger vanwege de grotere spreiding bij deze sterkte. Bij de treksterkte zijn tevens verschillende waarden gegeven voor dwarskracht, scheurvorming en buiging (conform de NEN 6721).

- * Voor de druksterkte geldt (met $\gamma_m = 1,2$; $f'_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$):

$$f'_{brep} = 0,72 * f'_{ck} = 32,4 \text{ N/mm}^2;$$

$$f'_b = f'_{brep} / 1,2 = 27,0 \text{ N/mm}^2.$$

- * Voor de treksterkte geldt (met $\gamma_m = 1,4$):

$$f_{brep} = 0,7 * (1,05 + 0,05 * f'_{ck}) = 2,3 \text{ N/mm}^2;$$

$$f_b = f_{brep} / 1,4 = 1,65 \text{ N/mm}^2 \text{ {langeduur, dwarskracht/wringing}};$$

$$f_{bm} = 2 * f_b = 3,30 \text{ N/mm}^2 \text{ {langeduur, scheurvorming}};$$

$$f_{br} = 1,2 * f_{bm} = 3,95 \text{ N/mm}^2 \text{ {langeduur, doorbuiging}}.$$

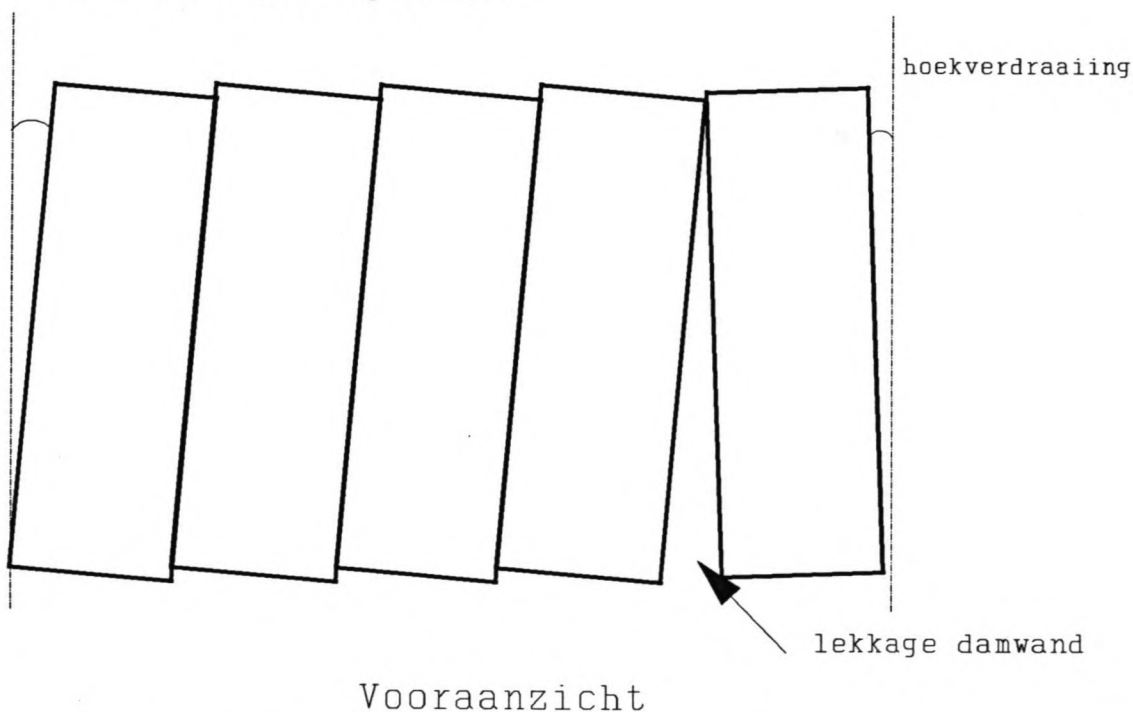
Bij de berekeningen in het gebruiksstadium (zie hoofdstuk 6) is uitgegaan van f_{bm} voor de treksterkte tegen scheurvorming.

3.3. Criteria

Bij elk criterium is gegeven hoe de profielen zijn beoordeeld en hoe deze beoordeling varieert met de kerende hoogte. Er is getracht de criteria zoveel mogelijk te kwantificeren daar dat de basis is voor een goede multi-criteria-analyse. Sommige criteria zijn echter moeilijk in cijfers uit te drukken zodat bij deze criteria aangegeven is waarop de alternatieven beoordeeld zijn.

1. "Plaatsing" van de profielen

Hiermee is bedoeld de gevoeligheid van de alternatieven voor fouten in de uitvoering (scheefstand en inheidiepte). Hierbij is gelet op afwijkingen bij scheefstand in langs- en dwarsrichting (zie figuur 3.3 en figuur 3.4) en de gevolgen van verschillen in de inheidiepte (zie figuur 3.5).

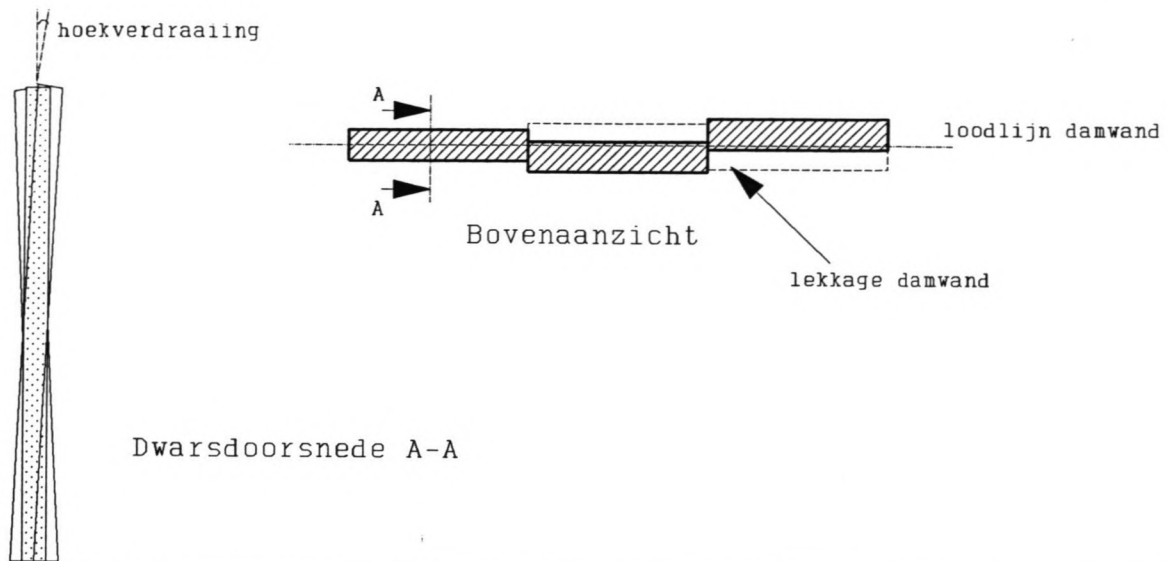


figuur 3.3. Scheefstand in langsrichting.

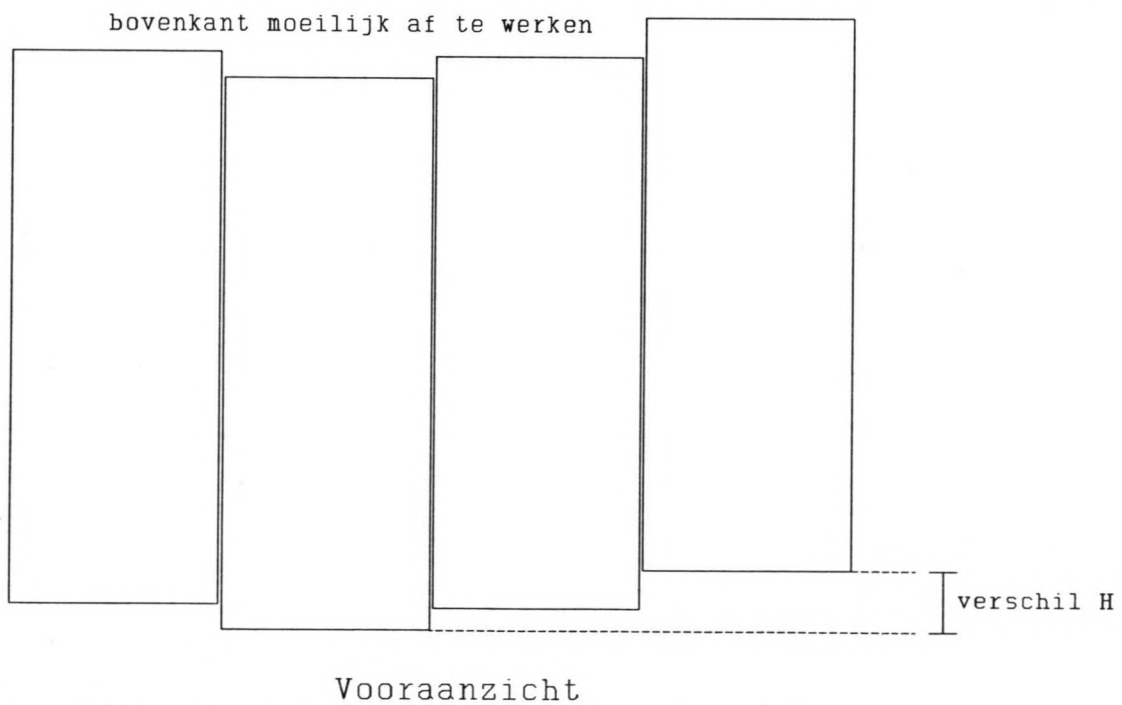
2. Vervaardiging van de profielen

Hier wordt bedoeld de complexiteit van het profiel wat betreft de fabricage. Als kwantificatie voor dit criterium gelden de kosten voor de arbeid en de mal benodigd om de profielen te vervaardigen.

Een eenvoudig rechthoekig profiel is goedkoper dan een profiel met schuine zijden en veel hoeken of een gebogen profiel. Hierbij speelt



figuur 3.4. Scheefstand in dwarsrichting.



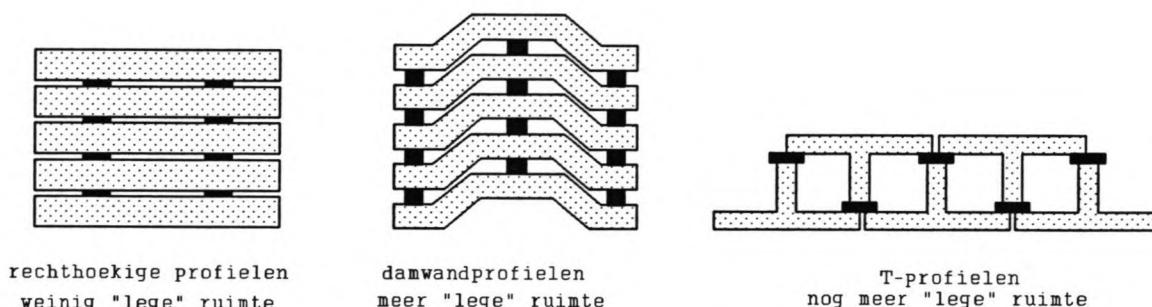
figuur 3.5. Verschil in inheidiepte.

het bovenoppervlak van de profielen bij vervaardiging een grote rol. Hoe kleiner het bovenvlak hoe minder arbeid nodig is en hoe goedkoper de fabricage-kostprijs is.

Bij grotere hoogte is het aandeel van het ARAPREE bij de kostprijs per m^2 bovenvlak aanzienlijk groter zodat de arbeids- en malkosten een kleinere rol spelen.

3. Transport/opslagruimte

Bij transport gaat het om de hoeveelheid "lege ruimte" tussen de gestapelde profielen (zie figuur 3.6) aangezien dat grotere transportkosten met zich meebrengt. Ook bij de opslag van de elementen van de damwand kan dit een te beoordelen maat zijn. Vooral bij de kleine hoogten (0,5 en 1,0 meter) is dit belangrijk omdat hier grote aantallen in één keer vervoerd worden. Bij grotere hoogte is het profiel vaak zo zwaar dat er slechts enkele tegelijk vervoerd kunnen worden. Het gewicht is bij deze hoogte veelal bepalend voor het aantal te vervoeren elementen, niet de ruimte die elk profiel inneemt.



figuur 3.6. "Lege"-ruimte bij transport en opslag.

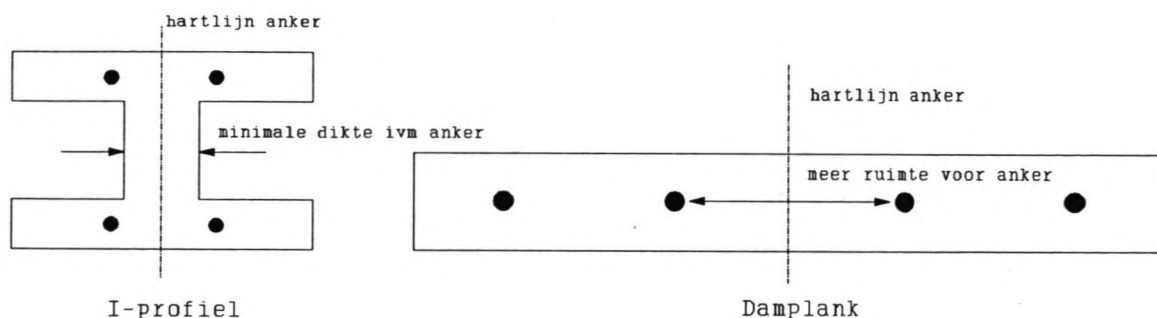
4. Gewicht/afmetingen

Dit criterium is vooral belangrijk bij de kleine hoogte. Aangezien beton hier moet concurreren met onder andere hout, wat zeer licht is, is het belangrijk de afmetingen klein en het gewicht laag te houden. Voor de planken (als onderdeel van de alternatieven 1 tot en met 4) geldt als grens 20 kilogram. Voor de stijlen is dit niet realiseerbaar maar krijgt het lichtste element de grootste waardering. Bij grotere hoogten is dit minder belangrijk maar niet te verwaarlozen. Bij een laag eigen gewicht kunnen meer profielen tegelijk worden vervoerd.

5. Verankeringsmogelijkheden

Met name bij grote kerende hoogte is een verankering van de damwand noodzakelijk om zeer grote afmetingen te voorkomen.

Voor het doorvoeren van de wapening van het anker, moet ruimte worden vrijgehouden. Dit heeft een minimale afstand tussen de wapeningsstaven tot gevolg. Bij I- en T-stijlen geeft dit tevens een minimale maat voor de dikte van het lijf (zie figuur 3.7).



figuur 3.7. Doorvoeren van het anker.

6. Esthetische waarde

De waardering van de esthetische waarde is niet precies vast te leggen aangezien een ieder hier andere normen voor heeft. In stedelijke gebieden (kleine kerende hoogte) is dit criterium belangrijker dan in industriële gebieden en havens. Een alternatief krijgt een hoge waardering voor dit criterium indien het een onderbroken vlak is of indien het goede mogelijkheden bezit om voorzien te worden van "gekleurd" of "geprofileerd" beton. De onderlinge waardering tussen de alternatieven is een persoonlijke keuze en kan daarom heel verschillend zijn.

7. Grondichtheid

De grondichtheid is voor iedere damwand belangrijk, echter voor grote hoogte is dit strikt noodzakelijk vanwege de stabiliteit van de wand. Bij kleine hoogte is een eventuele "leke" damwand makkelijker te vervangen dan bij een wand van 3 tot 6 meter.

Als maat voor grondichtheid is de totale lengte van "verbindingen" per strekkende meter oever genomen.

8. Gevoeligheid voor mechanische schade

Hieronder wordt verstaan de gevoeligheid van de damwand voor schade als gevolg van recreatie, aanvaringen (vooral bij de hoge oevers) en de mogelijkheden voor het vervangen van een kapot profiel.

9. Schadegevoeligheid bij transport

Indien er schade optreedt aan een zwaar, groot en kostbaar profiel, is het kapitaalverlies groter dan bij een klein en minder kostbaar profiel. Dit criterium heeft dan ook een groter gewicht bij de hoge dan bij de lage oevers. Tevens is gekeken naar de kans op schade bij de profielen. Een geknikt of gebogen profiel zal een grotere kans op schade hebben dan een eenvoudig rechthoekig profiel.

Als kwantificatie zijn bij dit criterium de fabricagekosten aangehouden.

10. Opnamecapaciteit momenten/krachten

Ook dit criterium is vooral van belang bij de hogere oevers omdat daar de grote momenten optreden. Bij een hoogte van 0,5 meter is het moment circa 0,5 kNm, terwijl bij een hoogte van 6 meter dit 200 kNm bedraagt.

Het weerstandsmoment in relatie tot de oppervlakte van de doorsnede geldt hier als maat.

Deze criteria gelden voor elke hoogte, maar krijgen per hoogte een ander gewicht omdat bij elke oever andere eigenschappen belangrijk zijn.

De gewichten van deze criteria zijn bij iedere hoogte bepaald door middel van een "wegingstabel-methode".

Bij deze methode zijn alle criteria in een tabel geplaatst. Door de criteria onderling te vergelijken is de volgorde van waardering bepaald en zijn punten toebedeeld naar ratio van de onderlinge verhoudingen. De uitkomsten van deze methode zijn in de onderstaande tabel weergegeven. De details van deze methode en de onderlinge verhoudingen van de criteria zijn vermeld in bijlage 2.

Criterium:	H=0.5m	H=1.0m	H=3.0m	H=6.0m
1. Tolerantie bij uitvoering	6.1	5.7	5.7	5.3
2. Tolerantie bij fabricage	4.6	4.1	2.4	2.0
3. Transport en opslagruimte	3.8	3.3	2.2	2.1
4. Gewicht en afmetingen	7.2	6.1	4.3	3.3
5. Aanbrengen anker	1.4	2.3	5.3	6.8
6. Esthetische waarde	5.3	4.8	3.0	2.1
7. Grond dichtheid	7.7	8.2	8.9	9.1
8. Mechanisch schadegevoelig	6.4	7.6	7.8	8.2
9. Transport schadegevoelig	3.4	3.7	4.1	4.4
10. Opname moment en krachten	4.0	4.2	6.2	6.6

tabel 3a: Gewichten van de criteria per kerende hoogte.

FASE 1: GENEREREN EN SELECTEREN VAN ALTERNATIEVEN

4. ALTERNATIEVEN

4.1. Algemeen

Bij het bepalen van de alternatieven is uitgegaan van damwandprofielen welke in het verleden zijn toegepast. Ook zijn enkele nieuwe vormen bedacht, die op het principe van houten beschoeiingen berusten. In totaal zijn 9 verschillende damwanden bepaald, die in de volgende paragraaf zijn beschreven en weergegeven.

Aangezien in het verdere verloop van de studie een aantal profielen nog nader uitgewerkt is, is in eerste instantie elke vorm globaal bepaald aan de hand van voorbeelden uit de literatuur en op basis van globale berekeningen. Bij elk profiel is aangegeven waardoor de afmetingen bepaald zijn en hoe deze kunnen variëren (voor zover dat niet algemeen geldt).

4.2. Beschrijving alternatieven

De kerende breedte van de profielen varieert en is bepaald door het gewicht en de problemen die te verwachten zijn bij het inbrengen. Ook de verhouding ARAPREE-/betonddoorsnede kan in dit geval maatgevend zijn (indien een 2* zo brede plank slechts 1,5* zoveel wapening nodig heeft, kan dit gunstiger zijn voor de kostprijs).

Verder is vrijwel elk alternatief zowel met als zonder grondanker uitgevoerd. Bij elk profiel is bekeken of een anker eenvoudig aan te brengen is. De getekende profielen hebben globaal de afmetingen welke zich voordoen bij een hoogte variërend van 0,75 tot 1,5 meter hoogte. Het anker en een eventuele gording zijn niet getekend vanwege de overzichtelijkheid.

1. I-stijlen met gebogen planken.

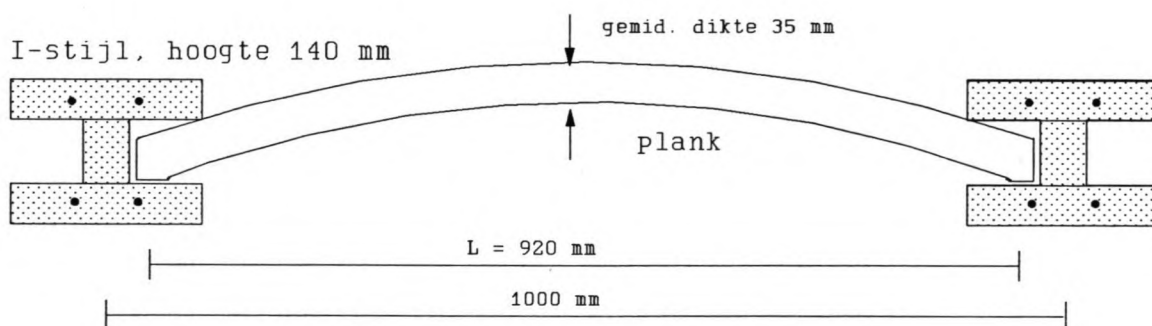
Deze vorm berust op het principe van de houten beschoeiingen achter perkoenpalen, echter in dit geval worden de schalen tussen de palen geplaatst.

Het grote voordeel van deze variant (en van de volgende 3 alternatieven) is dat de plankjes met de hand aangebracht kunnen worden, indien dit is gewenst (de plankjes kunnen zeer dun uitgevoerd worden, waarmee het gewicht minimaal gehouden wordt). De stijlen moeten het moment

opnemen terwijl de plankjes voor de grondkering zorg dragen. De planken moeten daartoe tot onder de 'kanaal'-bodem aangebracht worden (ontgraving, zie uitgangspunt in hoofdstuk 3).

Het nadeel hiervan is dat de gronddruk tegen een dergelijke damwand groter is dan bij een geheide wand, omdat de aangevulde grond achter de wand grotere grondspanningen tot gevolg heeft (bij het aangehouden grondprofiel, voor een ander grondprofiel kan het tegenovergestelde optreden). Door de ontgraving en het aanvullen van de grond moeten de stijlen bij de hoge oevers zeer forse momenten opnemen en bovendien zijn diepe ontgravingen voor het aanbrengen van de planken noodzakelijk.

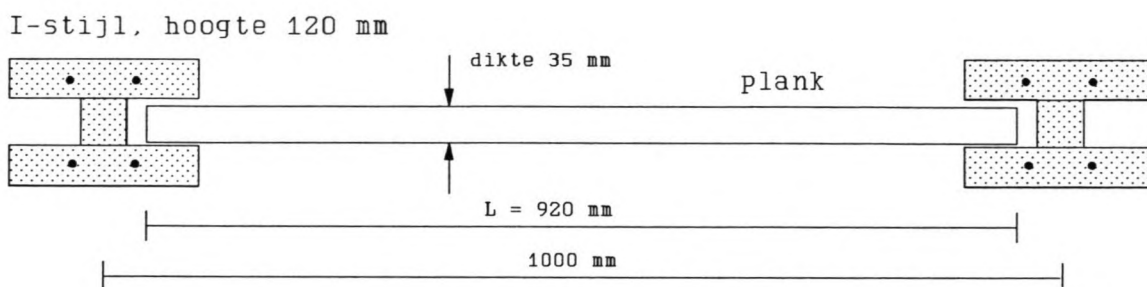
Het gebogen karakter van de schalen draagt bij aan de esthetische waarde van dit alternatief maar tevens aan de gevoeligheid voor afwijkingen bij de uitvoering (tolerantie bij de uitvoering niet groot).



figuur 4.1. Alternatief 1: I-stijlen met gebogen planken.

2. I-stijlen met rechte planken.

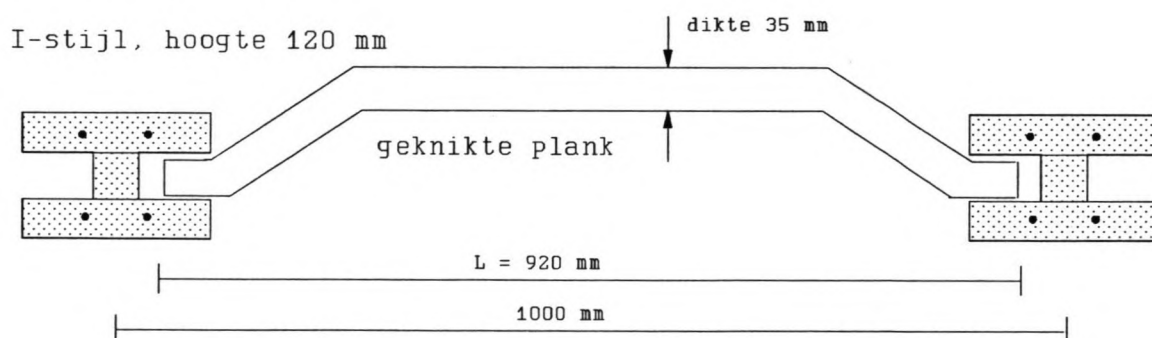
Dit alternatief is vrijwel gelijk aan het voorgaande. De rechte planken zorgen in dit geval voor minder problemen bij de uitvoering en fabricage (qua tolerantie). De rechte plankjes moeten op een groter moment berekend worden, maar bij kleine hoogten blijven deze momenten beperkt. Ook voor transport en opslag zijn rechte planken gunstiger in vergelijking tot geknikte en gebogen vormen omdat ze compakter te stapelen zijn. De esthetische waarde van dit alternatief is kleiner dan bij een gebogen vorm.



figuur 4.2. Alternatief 2: *I-stijlen met rechte planken.*

3. I-stijlen met geknikte planken.

Ook hier geldt weer hetzelfde als onder alternatief 1, met als uitzondering dat de tolerantie qua uitvoering hier groter is.



figuur 4.3. Alternatief 3: *I-stijlen met geknikte planken.*

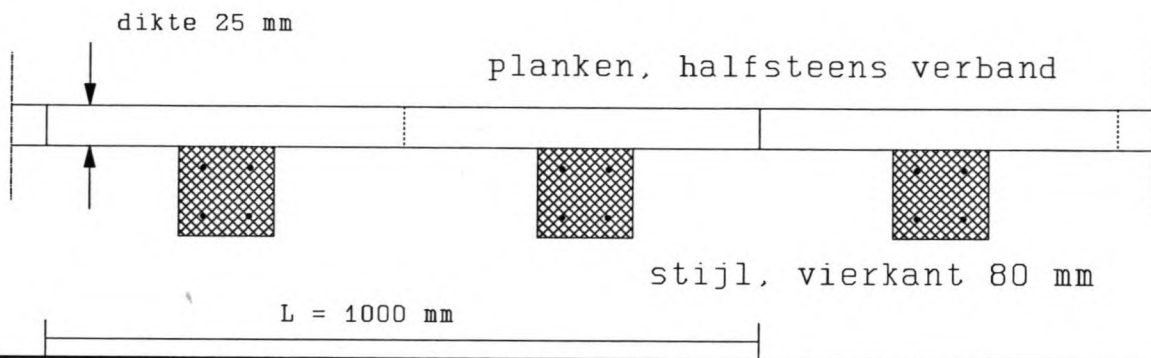
4. Stijlen met planken erachter.

Dit alternatief is in de vorm van traditioneel gewapende planken al vaker toegepast. Door de dekking op de wapening konden deze planken en stijlen niet dunner uitgevoerd worden dan circa 6 cm. Bij de toepassing van ARAPREE is de dikte van de planken teruggebracht naar 3 cm bij een lengte van 1 meter.

Indien de planken en stijlen zwaarder worden uitgevoerd, kan de hart op hart afstand worden vergroot. In dat geval kan worden gekozen voor dikkere planken of meer voorspanning in de planken. Dit geldt ook voor

de alternatieven 1, 2 en 3. In het algemeen kan gesteld worden dat bij grote hoogte (meer dan 1 meter) de planken niet meer met de hand aangebracht worden (boven deze hoogte worden geen GRC- of houten schoeidelen gebruikt).

Beschoeiing achter stijlen



figuur 4.4. Alternatief 4: Stijlen met beschoeiing erachter.

5. Grote T-stijlen.

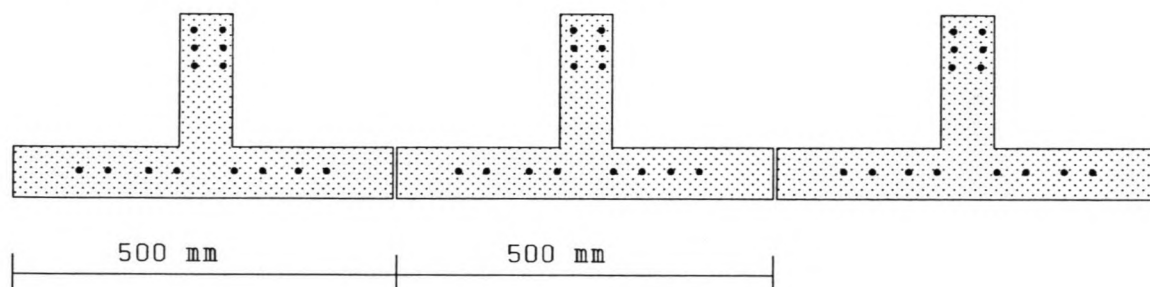
Een variant op de eerste drie alternatieven is een T-stijl, waarbij de grondkerende functie wordt vervuld door de flenzen. Een zware damwand, welke alleen toepasbaar is bij grote hoogte. Aangezien de grondkering op een zekere diepte niet meer noodzakelijk is, zouden de flenzen na die diepte weggelaten kunnen worden. Dit bespaart gewicht en bovendien kan het profiel makkelijker ingebracht worden.

Als variant kan een dubbele T-stijl, met een breedte van 1,0 meter, worden genomen. Dit is echter vanwege het grote gewicht voorlopig achterwege gelaten. Indien dit alternatief in fase 2 gekozen wordt, kan worden bekeken of deze variant betere uitkomsten biedt.

6. Damwandplanken, met stalen profielvorm.

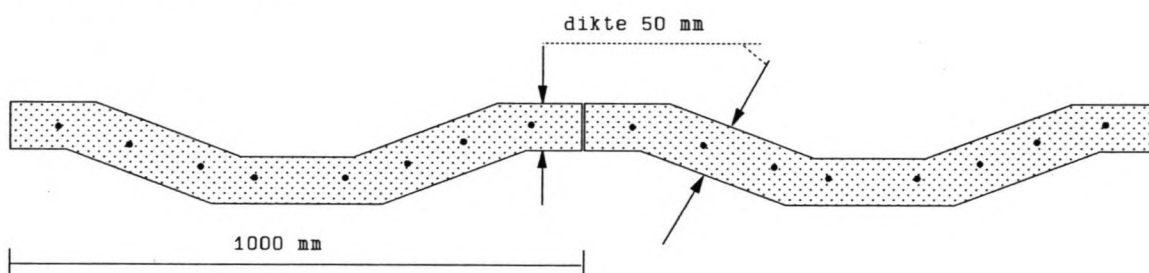
Indien een damplank de optredende momenten en krachten bij grotere hoogte niet kan opnemen, is een dergelijke vorm één van de oplossingen. Bij een kleine betondoorsnede heeft deze vorm een groot traagheids- en weerstandsmoment. Ook voor dit alternatief geldt dat het toepassing vindt bij grote kerende hoogte. Juist door de toepassing van ARAPREE is de dikte van de plank minimaal.

T-stijlen, hoogte 150 mm, dikte flens 50 mm



figuur 4.5. Alternatief 5: Grote T-stijlen.

Damwandplanken



figuur 4.6. Alternatief 6: Damwandplanken.

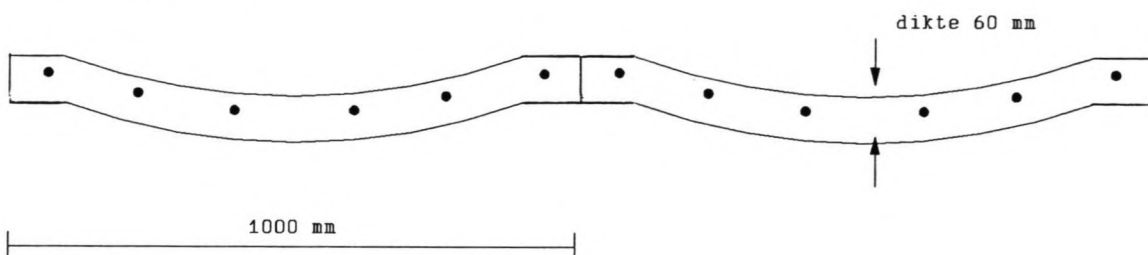
7. Schaalprofielen.

Ook voor dit alternatief geldt dat het bij grotere hoogte beter de krachten kan opnemen in vergelijking tot een damplank.

8. Rechthoekige damplanken.

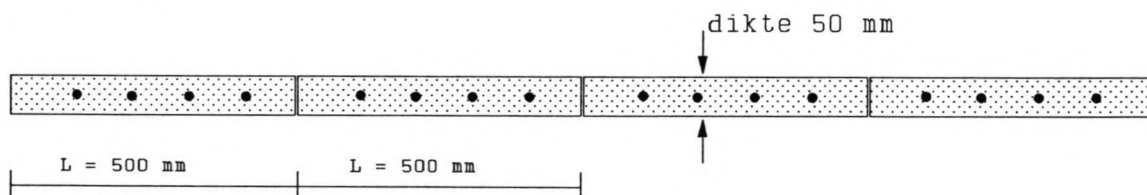
Dit alternatief is vaak toegepast, traditioneel gewapend, met een breedte van 0,3 en 0,5 meter. Door de problemen die er optraden bij het inbrengen (onder andere zwaar en log profiel, kapot slaan van de damplankkop) is de toepassing ervan afgenomen. Door de damplank voor te spannen met ARAPREE kunnen deze problemen verholpen worden. Bij kleine hoogte voldoet dit profiel om de momenten op te nemen, maar bij grote hoogte wordt de dikte te groot en het profiel te zwaar.

Schaalprofiel



figuur 4.7. Alternatief 7: *Schaalprofielen*.

Damplank



figuur 4.8. Alternatief 8: *Damplanken*.

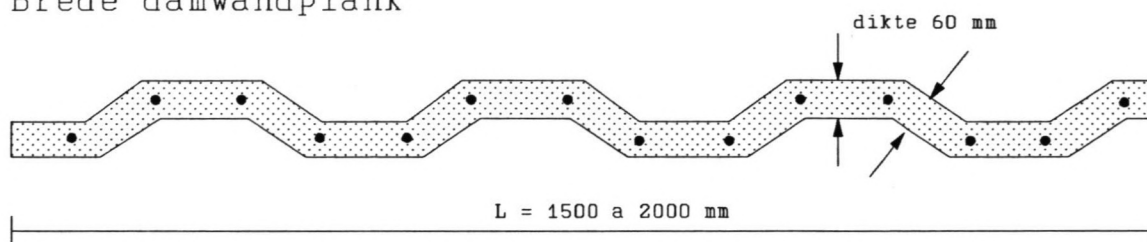
9. Brede Damwandplanken.

Een vorm die in het buitenland toepassing vond, is de verbrede vorm van alternatief 6. Een zeer zwaar profiel dat waarschijnlijk moeilijk in te brengen is. Het vraagt zeer specifieke grondcondities (slappe kleilagen op een vaste zandlaag). De breedte kan variëren maar bij een kleinere breedte dan 1 meter, is alternatief 6 een betere oplossing.

De aansluiting tussen de profielen bestaat uit grout, dat tussen beide wordt gespoten nadat deze geplaatst zijn.

De verschillende alternatieven zijn beoordeeld op de criteria uit hoofdstuk 3. Deze analyse en de uitkomsten zijn beschreven in het volgende hoofdstuk.

Brede damwandplank



figuur 4.9. Alternatief 9: Brede damwandplanken.

5. EERSTE SELECTIE VAN DE ALTERNATIEVEN

5.1. Multi-criteria-analyse

Per hoogte is voor elk alternatief met een cijfer aangegeven in welke mate het voldoet aan ieder criterium. Deze cijfers zijn vermenigvuldigd met de gewichten behorend bij de criteria. Door optelling volgt de totaalscore van elk alternatief. Het alternatief met de hoogste score voldoet bij die kerende hoogte het beste aan de gestelde criteria en is gekozen om verder te worden uitgewerkt. Deze methode is bekend als de multi-criteria-analyse. Voor deze studie zijn de beste drie alternatieven bij elke hoogte gekozen en in fase 2 verder uitgewerkt. Hiermee is getracht de keuze van de alternatieven minder gevoelig voor "fouten" of persoonlijke voorkeuren te maken. De definitieve keuze komt tot stand door de fabricagekosten van de geselecteerde alternatieven te berekenen (zie hoofdstuk 7).

De multi-criteria-analyse is voor elke kerende hoogte uitgewerkt in bijlage 3. De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in de figuren op bladzijde 31. In deze figuren is duidelijk overeenkomst te zien tussen dezelfde 'type' profielen.

De alternatieven 1 tot en met 4, "stijlen met planken"-type, hebben een aflopend karakter terwijl de alternatieven 5 tot en met 9 juist een stijgende lijn laten zien. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de eerste juist voor lage oevers geschikt zijn en de anderen bij grotere hoogte de beste oplossing zijn.

Een opmerking over het verloop van de lijnen tussen de punten 1 en 3 meter is hier op zijn plaats.

De waardering van de alternatieven (zie ook bijlage 3) is bepaald aan de hand van kenmerken van de profielen bij twee verschillende hoogten, te weten 1,0 en 3,0 meter (overeenkomstig een lage en een hoge oever). Deze waardering is bij de hoogten 0,5 en 1,0 meter gelijk gehouden alsmede die bij de hoogten 3,0 en 6,0 meter. Door het verschil in waardering voor de lage en de hoge oevers verschuiven de lijnen tussen de twee genoemde punten zodanig dat dit gedeelte van de lijnen niet het werkelijke verloop van de totaalscore is.

Dit is het beste te zien bij alternatief 8: voor de lage oever is dit profiel uitermate geschikt en is de score hoog, voor grote hoogte is de benodigde dikte dermate groot dat de kosten oplopen en de score veel lager is. Het karakter van de gehele lijn van alternatief 8 is oplopend maar ergens tussen de 1,0 en 3,0 meter is een "omzwaaipunt". De plaats en vorm

hiervan is met behulp van deze multi-criteria-analyse moeilijk in te schatten. De weergegeven lijn tussen deze punten is niet geheel juist maar geeft de plaats van dit "omzwaaipunt" weer. Bij de andere alternatieven geldt een soortgelijke redenering voor het verloop van de lijn, echter het verschil in score tussen de lage en hoge oever is minder extreem.

De beste drie alternatieven, welke in fase 2 zijn uitgewerkt, zijn in de tabellen op bladzijde 32 weergegeven. Voor meer details omtrent deze analyse wordt verwezen naar bijlage 3.

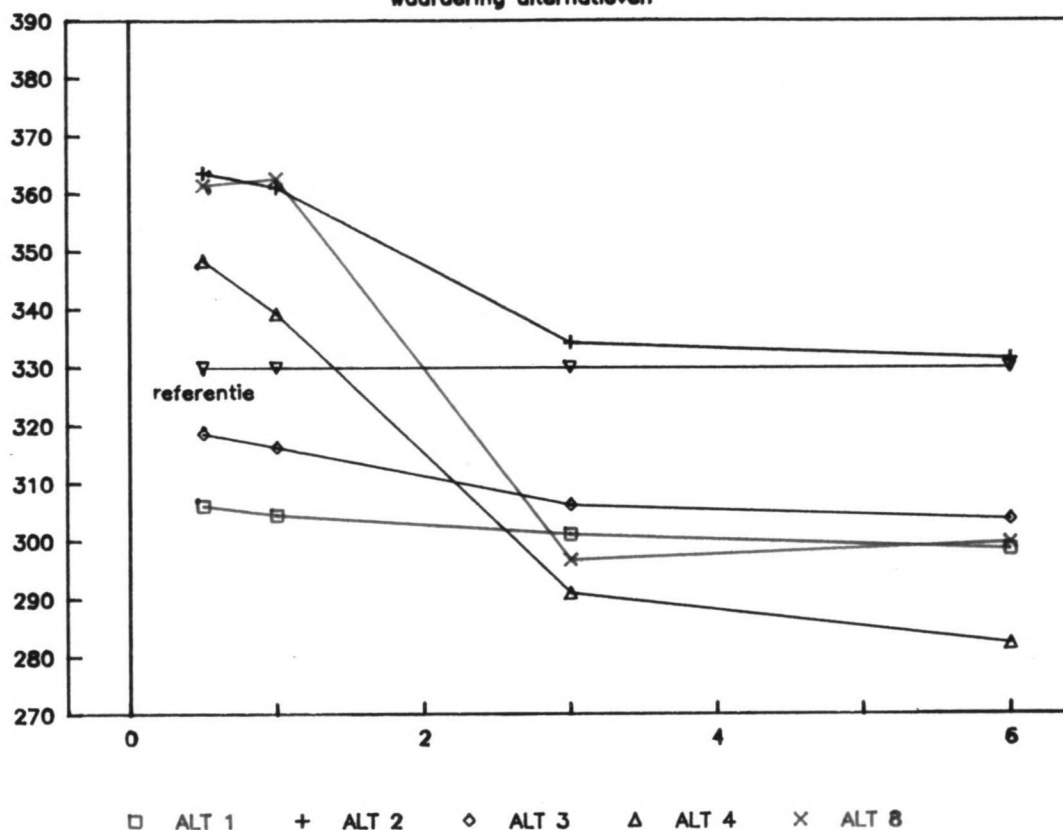
Hieronder zijn de verschillende alternatieven met nummer, zoals dat in de volgende figuur is gebruikt, weergegeven:

Alternatief: Omschrijving:

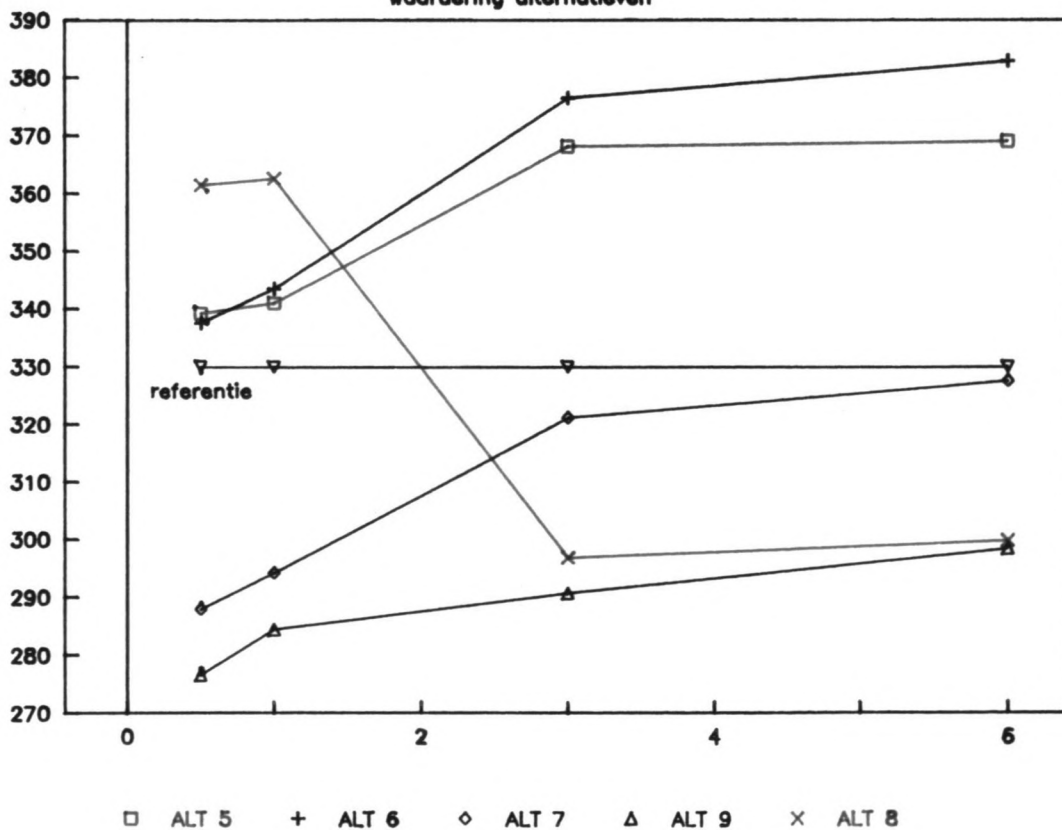
- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 | I-stijlen met gebogen planken |
| 2 | I-stijlen met rechte planken |
| 3 | I-stijlen met geknikte planken |
| 4 | Stijlen met beschoeiing (erachter) |
| 5 | T-stijlen |
| 6 | Damwandplanken |
| 7 | Schaalprofielen |
| 8 | Damplanken |
| 9 | Brede damwandplanken. |

MULTI-CRITERIA-ANALYSE

waardering alternatieven



waardering alternatieven



KERENDE HOOGTE 0,5 meter	
alternatief	score
2	364
8	361
4	348

tabel 5a

KERENDE HOOGTE 1,0 meter	
alternatief	score
8	363
2	361
6	344

tabel 5b

KERENDE HOOGTE 3,0 meter	
alternatief	score
6	377
5	368
2	334

tabel 5c

KERENDE HOOGTE 6,0 meter	
alternatief	score
6	383
5	369
2	331

tabel 5d

Opmerkingen bij de tabellen:

- Het uitgangspunt dat de planken hanteerbaar moeten zijn, heeft tot gevolg dat de lengte wordt beperkt bij een bepaalde dikte (gewicht kleiner dan 20 kilogram). Bij lage oevers zijn de optredende momenten zo gering dat een optimale benutting van de sterkte van ARAPREE niet volledig mogelijk is.
- In de tabellen is duidelijk te zien dat de 'lichtere' alternatieven (2 en 4) bij de kleine hoogten het beste scoren. Dat is te verklaren doordat het criterium 4, gewicht, bij die hoogten veel zwaarder weegt dan bij de hogere oevers. De 'lichte' alternatieven zijn niet of slecht in staat om grote momenten op te nemen, criterium 10, en vallen bij die hogere oevers af.
- Bij het bepalen van de globale afmetingen is niet gekeken naar heil- of trilspanningen. Er is aangenomen dat deze krachten niet maatgevend zijn voor het profiel. Indien dit wel het geval is, is dit in een later stadium aangepast.

5.2. Gevoeligheid voor fouten

In de bovenstaande tabellen is duidelijk te zien dat sommige alternatieven elkaar dicht naderen wat betreft de totaalscore. Het is dan ook te verwachten dat bij kleine verandering van de gewichten van de verschillende criteria, de rangorde van deze alternatieven zal wijzigen. In bijlage 2 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de waardering van de criteria en de alternatieven. Hieruit is gebleken dat vooral de verkozen drie alternatieven van volgorde verwisselen en dat in enkele gevallen andere alternatieven als één van de beste uit de analyse komen. Het eerste geval is niet zozeer van belang aangezien alle drie de alternatieven, vermeld in de genoemde tabellen, verder worden uitgewerkt. Het tweede geval echter geeft de gevoeligheid aan van de gekozen methode.

Bij grote veranderingen van de gewichten van de criteria zijn er andere oplossingen mogelijk. Dit is vooral van toepassing op criterium 4: gewicht en afmetingen. Indien de profielen bij lage oevers zwaarder mogen zijn dan 20 kilogram, is het belang van dit criterium minder groot. Met deze verandering is bij de multi-criteria-analyse geen rekening gehouden.

FASE 2: UITWERKING EN UITEINDELIJKE KEUZE

6. ONTWERP GEKOZEN PROFIELEN

6.1. Algemeen

Nadat de eerste selectie is doorgevoerd, kunnen de resterende alternatieven meer gedetailleerd worden berekend en de afmetingen worden bepaald. Zoals reeds eerder is vermeld, zijn de randvoorwaarden vaak maatgevend voor de afmetingen. Daarom geeft een verandering van de randvoorwaarden ook een ander ontwerp. Het is belangrijk te bedenken waarop de profielen zijn ontworpen. Het ontwerp van de profielen geldt dan ook niet als maat voor een eventuele toepassing later, maar moet aan de randvoorwaarden ter plaatse voldoen. In hoeverre de profielen naderhand nog uitgewerkt moeten worden, is verderop in dit rapport besproken.

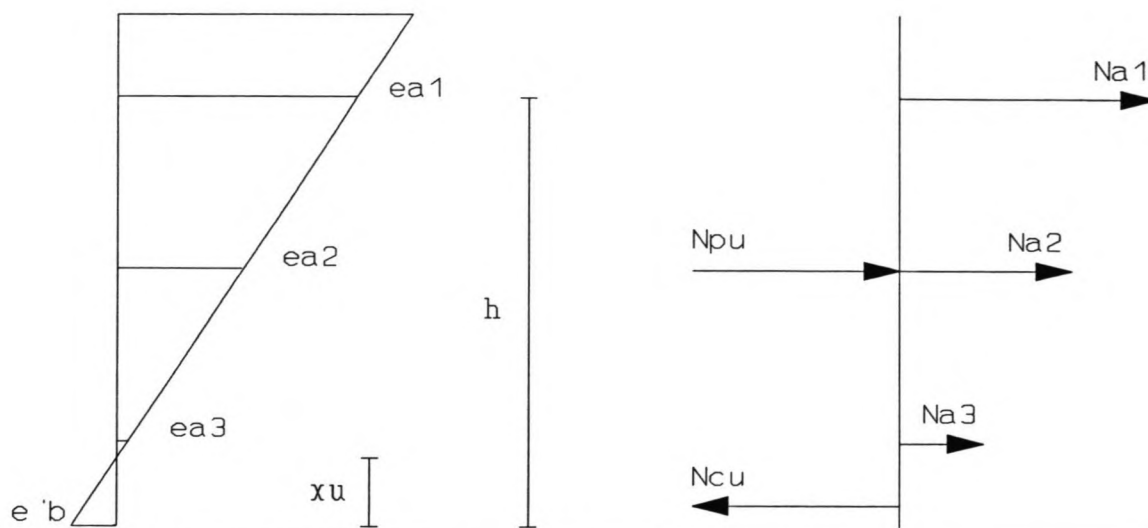
6.2. Beschrijving van de ontwerpmethode

Voor het uitvoeren van de berekeningen voor het ontwerp van de profielen is gebruik gemaakt van een Lotus-spreadsheet (zie paragraaf 6.3). Het gebruik van een spreadsheet vergemakkelijkt de optimalisatie doordat het profiel niet met de hand moet worden berekend. Voor verdere details omtrent dit programma wordt verwezen naar de desbetreffende paragraaf.

De gekozen ontwerpmethode berust op het bezwijkstadium met een controle in het gebruiksstadium. Hieronder volgt een korte toelichting, de berekeningen zijn terug te vinden in bijlage 4. Voor de materiaalgegevens van beton is uitgegaan van de nieuwe VBU 1990 (concept). Dit geeft voor enkele eigenschappen kleine veranderingen, zie ook bijlage 4. Voor de eigenschappen van en berekeningen met ARAPREE is uitgegaan van voorbeeld ontwerpberoekeningen van de Hollandsche Beton en Waterbouw, afdeling Waterbouwkundig Ontwerp Bureau (literatuur [2]), en de gegevens verkregen uit het vooronderzoek (literatuur [1]).

Allereerst is de benodigde hoeveelheid wapening (ARAPREE) berekend met behulp van de nuttige hoogte, rekenwaarde van het moment en de bezwijkspanning van ARAPREE ($f_{au} = 2400 \text{ N/mm}^2$). Bovendien is tegelijk gecontroleerd of de toelaatbare trekspanning van het beton niet wordt overschreden. Hiermee is de hoeveelheid werkelijke wapening (A_{aw}) bepaald.

Vervolgens zijn in het bezwijkstadium achtereenvolgens berekend: de rekken



figuur 6.1. Schema bezwijkstadium (rekdiagram en krachterevenwicht)

in het beton (ϵ'_b) en de wapening (ϵ_a) en de totale rek in de wapening (ϵ_{atot}); de krachten in de voorspanstaven (N_a en P_w) en de drukzone van het beton (N'_b); de hoogte van de drukzone (x_u); het bezwijkmoment (M_u) en de veiligheid tegen bezwijken ($\gamma_u = M_u/M$). De berekeningen zijn uitgevoerd bij zowel positief als negatief moment (het verschil tussen beide berekeningen is bij niet-symmetrische profielen de werkende breedte voor de drukzone). Het aangehouden schema van de werkende krachten en bijbehorende rekken is weergegeven in figuur 6.1.

Deze berekende waarde moeten voldoen aan de volgende eisen:

- $\epsilon'_b < 0,35\%$
- $\epsilon_{atot} < 1,9\%$
- $x_u < \text{"flens"-dikte}$
- $\gamma_u > 1,7$ (gewenste veiligheid tegen bezwijken).

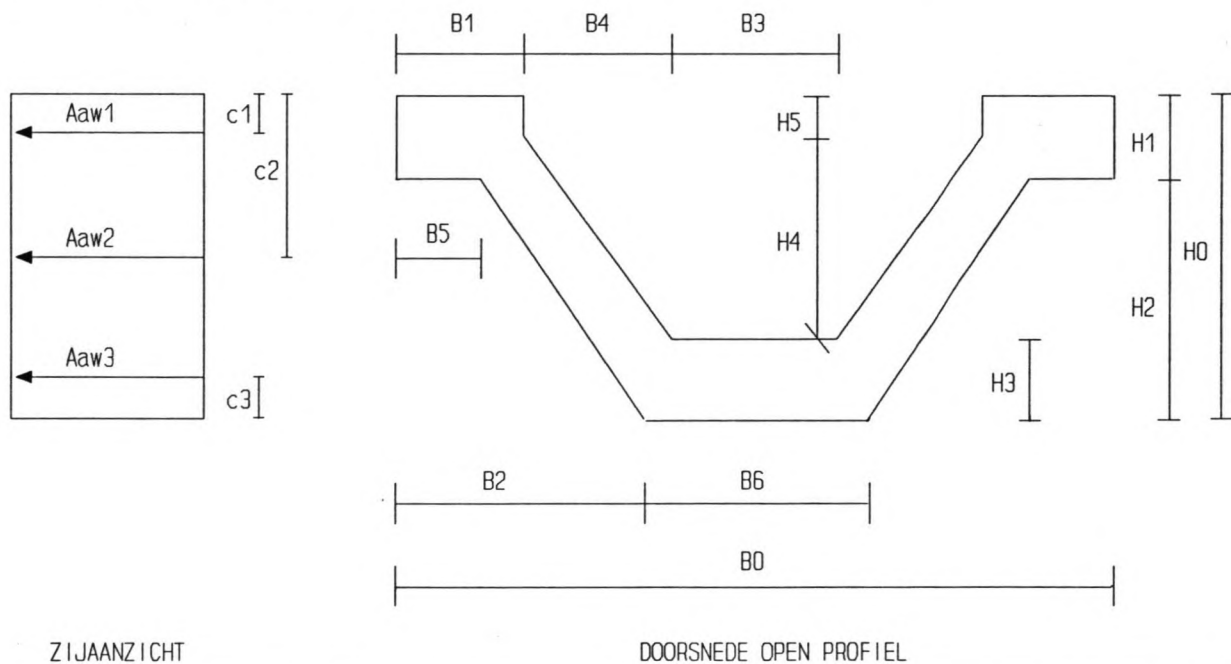
De profielen zijn zo economisch mogelijk bepaald (maximale veiligheid bij minimale afmetingen).

Nadat het profiel is bepaald in bezwijkstadium, is het gebruiksstadium ($\gamma = 1,0$ voor de belasting) gecontroleerd. Er zijn twee gevallen bekeken: de bouwphase, waarin alleen de voorspanning werkzaam is (dit geeft tevens aan hoeveel trekspanning mag worden toegelaten tijdens het heien); de transportfase, waarin de voorspanning en het eigen gewicht een rol spelen; de gebruiksfase waarin de voorspanning en het optredend moment de spanningen bepalen. In al deze gevallen mag de maximale trekspanning in de uiterste betonvezel niet meer dan de treksterkte (f_{bm}) bedragen. Ook hier

zijn de optredende trekspanning maximaal en de afmetingen minimaal gehouden.

6.3. De Lotus spreadsheet

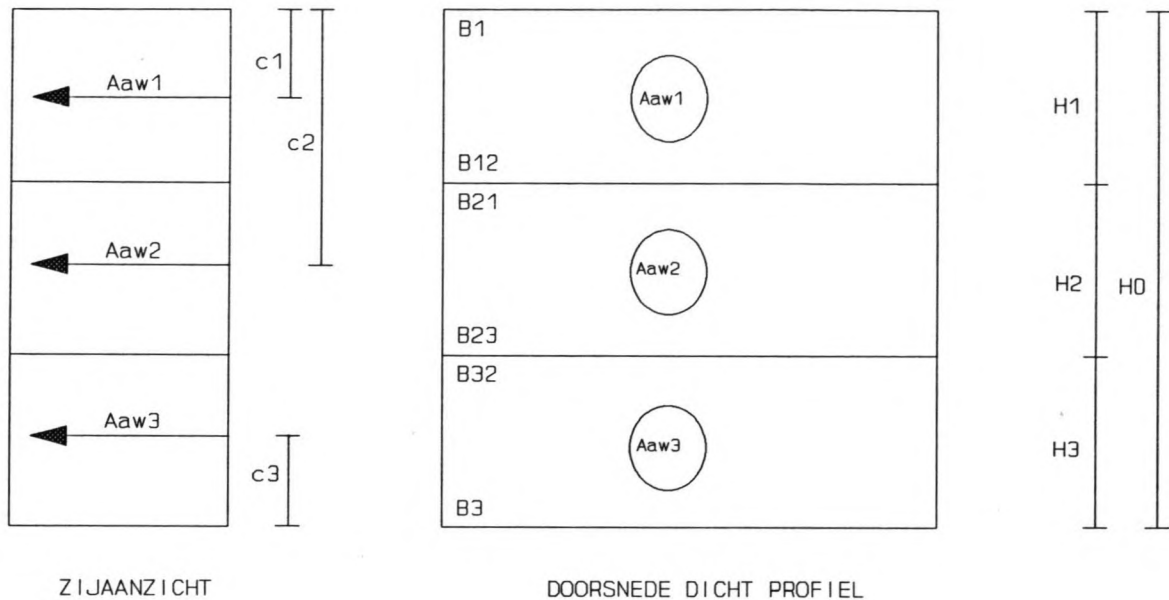
De spreadsheets zijn gemaakt voor twee type profielen, een "open"- en een "dicht"-profiel. De schematisatie van de profielen is enigszins uitgebreid om het bruikbaar te maken voor meer profielen. Hierdoor is het niet alleen toepasbaar voor deze studie maar ook voor andere doeleinden (ontwerpberekeningen voor de afdeling Waterbouwkundig Ontwerp Bureau). Beide profielen zijn schematisch afgebeeld (met de gebruikte symbolen voor de afmetingen) in figuur 6.2 en figuur 6.3.



figuur 6.2. "Open" profiel, schema

6.3.1. Opbouw van de spreadsheet

De opbouw van de beide spreadsheets is hetzelfde, alleen de parameters variëren (zie ook de beide figuren). Om het gehele programma is een menu geschreven om het gebruikersvriendelijk te maken. Na het aanroepen van dit menu komt een uitleg van de opbouw in beeld. Het menu is opgebouwd uit een in- en uitvoer, de berekening, een controle, en twee printopdrachten. Allereerst moeten de profielgegevens worden ingevoerd (zie ook de symbolen in de figuren). Daarna kan de wapening worden gekozen. Na het uitvoeren van



figuur 6.3. "Dicht" profiel, schema

de berekening, kan worden geprint en het programma worden verlaten. De printuitdraai geeft de berekende gegevens in het bezwijkstadium en het gebruikstadium. In bijlage 5 is een specifieke indeling van de spreadsheet weergegeven.

6.3.2. De invoer

De verschillende parameters alsmede enkele materiaalgegevens zijn op het eerste scherm afgebeeld. Voor beide profielen verschillen de symbolen van de invoergegevens van de doorsnede. Hoewel de studie is gedaan voor B45 en ARAPREE, is het programma bruikbaar gemaakt voor elke betonkwaliteit en wapeningssoort.

6.3.3. De uitvoer

Hierna bepaald het programma een aantal waarden die benodigd zijn voor de berekeningen in bezwijk- en gebruikstadium (betonoppervlak, weerstands- en traagheidsmoment, nuttige hoogte, werkende breedte, benodigde hoeveelheid wapening). De hoeveelheid wapening en de plaats ervan zijn nu in te vullen (A_{aw} en de dekking c). Door het opstarten van een rekenmakro zijn de waarden van het bezwijkstadium te bepalen, het scherm geeft deze na het uitvoeren van de berekeningen weer. Hierna kan de uitvoer worden geprint.

6.4. Bespreking van de resultaten

Met behulp van de hierboven vermelde methode zijn alle alternatieven ontworpen. Hieronder zijn bij elke hoogte enkele opmerkingen gemaakt met betrekking tot de resultaten. De afmetingen en enkele belangrijke gegevens (betonddoorsnede, lengte, type voorspanstaaf, aantal en totale lengte staven) van de profielen zijn gegeven in de tekeningen in bijlage 6.

Hoogte 0.5 meter (alternatief 2, 4, 8)

- Bij het voorspannen van de planken en stijlen (alternatief 2 en 4) wordt niet optimaal gebruikgemaakt van het ARAPREE. Dit komt door de opgelegde eis voor het gewicht en de noodzaak van het voorspannen met twee staven. Hierdoor wordt de lengte en hoogte van de plank beperkt en is het optredend moment zeer klein.
Bij een langere en/of hogere plank is evenredig minder ARAPREE nodig en daarmee de benutting ervan beter. Hierop is teruggekomen in de conclusies (hoofdstuk 9).
- De dikte van een traditionele damplank (verankerd) is teruggebracht naar 45 mm bij een breedte van 0,5 meter en een gewicht van 135 kilogram. Voor een onverankerde damplank zijn deze waarden respectievelijk 80 mm en 288 kilogram.
- De gewichtsbesparing bij de andere alternatieven is nog sterker:
 - * alternatief 2: - plank 13 kg (dikte 30 mm);
 - stijl 105 kg;
 - * alternatief 4: - plank 12 kg (dikte 25 mm);
 - stijl 67 kg.
- Door het slechte grondprofiel zijn de planken tot grote diepte (1 meter beneden maaiveld) aangebracht, dit geeft een slecht beeld. Bij verandering van het grondprofiel (vooral zandgrond in combinatie met vaste klei) is deze diepte te reduceren. Bij de beoordeling is dit in acht genomen.

Hoogte 1.0 meter (alternatief 2, 6 en 8)

- Ook hier komt het probleem met de planken naar voren (teveel wapening bij te kleine doorsneden en momenten).
- De dikten van de profielen zijn ook hier klein:
 - * alternatief 6: - 40 mm (295 kg, verankerd);
 (breedte 1,0 m) - 60 mm (620 kg, onverankerd);
 - * alternatief 8: - 65 mm (234 kg, verankerd);

(breedte 0,5 m) - 95 mm (456 kg, onverankerd).

De hoeveelheid ARAPREE bij deze profielen is gering, alleen bij alternatief 8 onverankerd zijn veel voorspanstaven nodig.

- Het voordeel van alternatief 2 is dat het beton slechts tot beperkte diepte (tot de diepte waar er evenwicht is tussen de actieve en passieve grondspanningen) aangebracht is. De totale hoeveelheid beton per meter oever is dan ook minder dan bij de damplanken.

* alternatief 2: - plank 14 kg (dikte 32 mm);
- stijl 139 kg.

Hoogte 3.0 meter (alternatief 2, 5 en 6)

- Bij een hoogte van 3 meter en groter lijkt een toepassing van ARAPREE minder noodzakelijk aangezien de dekking op de wapening zodanig is dat deze voldoet aan de eisen die er bij staal worden gebruikt ($c = 35$ mm, bij de alternatieven 2, stijl, en 6, verankerd). Voor verdere details omtrent de afmetingen wordt verwezen naar bijlage 6.
- De afmetingen en gewichten van de profielen zijn fors, alleen bij alternatief 5 (verankerd) en de plank van alternatief 2 is toepassing van ARAPREE zinvol. Bij alternatief 2 is veel grondwerk (graven en aanvullen) noodzakelijk om de planken op diepte te brengen.
- Bij het ontwerp van de planken voor alternatief 2 is de eis van het gewicht niet meer meegenomen, aangezien de gewichten van de profielen zodanig zijn dat toch hijswerk nodig is. Dit is bij dit profiel tot uiting gekomen in een grotere hoogte van de planken (0,5 in plaats van 0,2 meter).

Hoogte 6.0 meter (alternatief 5 en 6)

- Voor deze hoogte blijkt alternatief 2 weg te vallen vanwege de extreem grote momenten in de stijl en de grote hoeveelheid ontgravingen die noodzakelijk zijn om de planken te plaatsen. Er is verder alleen gekeken naar alternatieven 5 en 6.

Al hoewel het wel mogelijk blijkt 'slank' te construeren, is ook hier de dekking zodanig dat een toepassing van staalwapening mogelijk is.

Bij extra eisen aan de dekking van staal (vanwege sterk vervuild milieu), kan een toepassing van ARAPREE worden overwogen.

Het voorspannen van het beton heeft een zeer gunstig effect op de krachtwerking in de doorsnede. Door het voorspannen is de betonddoorsnede beter in staat de trekspanningen ten gevolge van het heien op te nemen.

7. UITEINDELIJKE KEUZE

7.1. Algemeen

De uiteindelijke keuze tussen de verschillende alternatieven uit hoofdstuk 6, is gemaakt aan de hand van de fabricagekosten. Juist het verschil in deze kosten is, vooral bij de lage oevers, bepalend voor de verschillen tussen de alternatieven. Bovendien is het zeer moeilijk de installatiekosten van de damwanden te bepalen daar deze afhankelijk zijn van de plaatselijke randvoorwaarden.

Bij het bepalen van de fabricagekosten is zowel een grote betonfabriek van heipalen, Schokindustrie, als een producent van vele kleine betonprodukten (voornamelijk verkeerskundige - en tuinprodukten), den Boer Beton, geraadpleegd. Beide fabrieken hebben ervaring opgedaan met betonprodukten, voorgespannen met ARAPREE (betonnen stijlen en planken voor de vistrap te Alphen en voor het geluidscherm langs de A20, zie ook literatuur [1]). Met behulp van deze prijsopgaven en schattingen voor arbeids- en malkosten zijn de fabricagekosten bepaald voor de verschillende alternatieven en is in paragraaf 7.3 de goedkoopste gekozen.

Het is niet de bedoeling om een exacte prijsopgave te geven voor de verschillende alternatieven, maar om het verschil in kosten uit te drukken tussen deze alternatieven en later in hoofdstuk 8 tussen het gekozen profiel en de traditionele oeververdedigingen. De prijzen, genoemd in dit hoofdstuk en in bijlage 7, zijn te zien in het licht van deze studie en niet als richtbedrag voor een eventuele kostprijs indien deze produkten worden gemaakt. Het is duidelijk dat die prijs afhankelijk is van vele factoren die op dit ogenblik niet volledig te beschouwen zijn.

7.2. Fabricagekosten

De fabricagekosten zijn onderverdeeld in drie groepen:

- materiaalkosten:
 - beton
 - ARAPREE
 - olie (voor de mal)
- kosten voor het fabricage-proces:
 - arbeidskosten
 - malkosten
 - overige kosten (opslag-, materieel-)
- transportkosten.

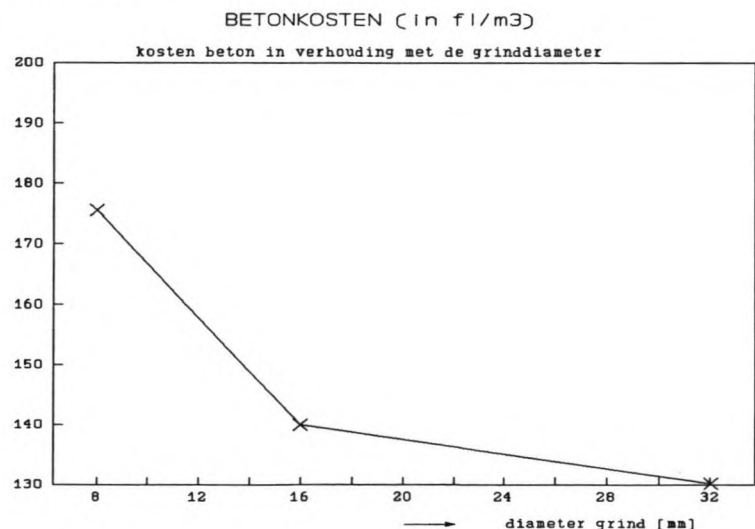
Hoewel de laatste groep niet echt onder het fabricage-proces valt, is deze toch meegenomen bij het bepalen van de kostprijs van het produkt. Hierdoor is het gewicht van het element meegenomen in de kostprijsberekening. De kosten van transport zijn uitgedrukt in een prijs per ton. Deze prijs is bepaald door de prijs van een vrachtwagen, het gemiddeld aantal ritten van deze vrachtwagen en het tonnage dat vervoerd mag worden. Verder is voor de kleine elementen een toeslag (50%) berekend voor extra kosten van verpakking (sealen en palleteren). De overige "echte" fabricagekosten zijn apart bekeken per onderdeel.

Materiaalkosten

De materiaalkosten zijn uit te drukken in een prijs per eenheid van het materiaal (per m^3 voor beton, per m voor ARAPREE). Deze prijzen zijn echter wel afhankelijk van de grootte van produktie per jaar. Dit laatste is niet meegenomen in de kostprijs-berekening.

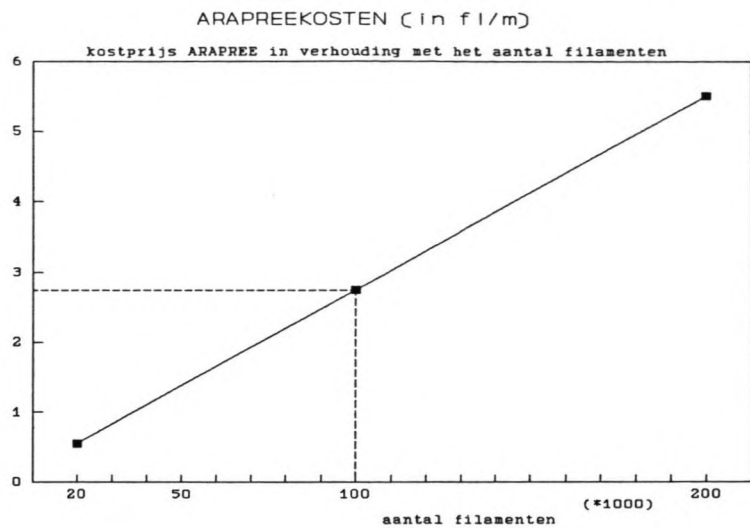
Voor beton is de materiaal-prijs bepaald door de diameter van het grind en de hoeveelheid benodigde toeslagstoffen. Er is uitgegaan van één betonkwaliteit voor alle alternatieven. Hierdoor is de prijs alleen afhankelijk van de diameter van het grind (bij benadering).

Vooraf bij de kleine hoogte is dit belangrijk aangezien een kleinere diameter een hogere kostprijs met zich meebrengt. Er is uitgegaan van verschillende diameters voor het grind, te weten 8, 16 en 32 millimeter. De materiaalprijs (per m^3) van beton met bijbehorende diameters is gegeven in de figuur. Alle prijzen zijn inclusief de algemene kosten van de betoncentrale.



Voor ARAPREE geldt een prijs per meter lengte van de voorspanstaaf, afhankelijk van het aantal vezels per staaf. Bij deze studie is uitgegaan van een lineair verband van de prijs bij verschillend aantal vezels aramide (zie figuur). De prijs bedraagt op dit ogenblik f1 2,75 per meter voor een staaf f100000.

De olie is nodig voor het insmeren van de mal, de hoeveelheid is dus afhankelijk van het binnenoppervlak van de mal. Er is gesteld dat de kosten hiervan zo gering zijn dat dit de keuze niet zal beïnvloeden en daarom zijn deze materiaalkosten niet meegenomen bij het bepalen van de fabricagekosten.



Kosten voor fabricage-proces

Voor het maken van de betonnen profielen is gekozen voor het lange bank systeem. De voornaamste reden hiervoor is dat op deze wijze een snel en effectief proces mogelijk is voor profielen met dezelfde vorm.

Om een duidelijk beeld te krijgen van de kosten van dit fabricage-proces, zijn de verschillende fasen ervan hieronder uiteengezet. Voor het maken van een betonnen profiel worden de volgende fasen achtereenvolgens doorlopen:

- 1) inrichten van de mal
- 2) schoonmaken van de mal
- 3) oliën van de mal
- 4) aanbrengen van het wapening (ARAPREE)
- 5) spannen van de wapening
- 6) betoneren (storten, verdichten)
- 7) afwerken betonoppervlak
- 8) verharderen, stomen (nabehandeling)
- 9) aflaten van de spanning (van de wapening)
- 10) ontkisten
- 11) elementen op lengte zagen
- 12) opslag op voorraad/direct transporteren.

Naast de arbeid die ervoor nodig is om deze fasen te doorlopen, zijn er nog andere kostendragers noodzakelijk om het fabricage-proces mogelijk te maken. Hierbij is te denken aan de grond die nodig is voor opslag (van grondstoffen en de betonprodukten, zowel in verhardings- als in eindfase) en het materieel (transportbanden, hefmachines, voorspanmaterieel, tril- en verdichtingsapparatuur en dergelijke) dat nodig is voor het fabricage-proces. Verder zijn nodig fabriekshallen en mallen voor het vervaardigen van de elementen.

Er is onderscheid gemaakt in drie verschillende kostenposten:

- arbeidskosten voor het maken van het element (manuren),
- kapitaalkosten voor de mal en de fabriekshal,
- algemene kosten.

De kosten voor de arbeid zijn variabel met het bovenoppervlak van de mal en de hoeveelheid wapening die aangebracht moet worden. Dit is in te zien door apart elke fase van het fabricage-proces te beschouwen.

De fasen 1 tot en met 3 zijn voornamelijk bepaald door de breedte van de mal en het totale binnenoppervlak. Indien het bovenoppervlak van de mal als maat wordt genomen, is dit een redelijke benadering.

Het mag duidelijk zijn dat voor fase 4 en 5 het aantal staven en de lengte daarvan bepalend is. Het spannen van de wapening kan met alle staven tegelijk geschieden waardoor het verschil in fase 5 niet optreedt, maar dit is voor deze studie niet aangehouden. Bij de elementen met ARAPREE die tot op heden zijn vervaardigd, is elke staaf apart gespannen om de aanvangsspanning per staaf beter in de hand te houden (verschil in rek heeft een verschil in spanning tot gevolg). Daarom is dit principe bij deze studie ook aangehouden. Indien vele betonnen elementen worden gemaakt met een geavanceerd proces, is het economischer alle staven tegelijk te spannen. Dit geldt in het bijzonder voor elementen waarin veel voorspanning nodig is en dus een groot aantal staven wordt toegepast.

Het betoneren (fase 6) is vrijwel onafhankelijk van de grootte van het profiel aangezien het beton via een lopende band gestort wordt. Dit vergt voor dezelfde hoogte, en vrijwel dezelfde dikte van de profielen, niet meer of minder arbeid. Pas bij aanzienlijke verschillen in hoeveelheden beton is er een duidelijk verschil merkbaar. Dit is bij de alternatieven van dezelfde kerende hoogte niet het geval.

Het afwerken van het betonoppervlak is evenredig met het bovenoppervlak en het type profiel. Met dit laatste is bedoeld de complexiteit van het afwerken van het bovenvlak. Een rechthoekig vlak profiel is eenvoudig af te werken terwijl een gebogen of geknikt bovenvlak veel tijd vergt om af te

werken.

De fasen 8, 10 en 12 zijn voor elk profiel vrijwel gelijk zodat dit geen onderlinge verschillen veroorzaakt.

Het aflaten van de spanning (fase 9) kan net als het aanspannen op twee manieren gebeuren: alle staven tegelijk of elke staaf apart. De laatste manier is aangehouden waardoor de benodigde arbeid voor deze fase afhankelijk is van de hoeveelheid wapening. Fase 11 is voornamelijk afhankelijk van de breedte van de mal. Deze fase is alleen noodzakelijk indien er in fase 1 geen tussenschotten geplaatst zijn en de profielen op maat moeten worden gezaagd.

Door nu voor elk type profiel een prijs per m^2 bovenoppervlak te berekenen (prijzen afhankelijk van het aantal staven ARAPREE en het type profiel) zijn de arbeidskosten per profiel te berekenen door die prijs te vermenigvuldigen met de aantal m^2 bovenvlak. Deze prijzen variëren van Fl 5,- (voor een rechthoekige plank met weinig staven) tot Fl 22,50 (voor een zware I-stijl met veel voorspanning). Deze bedragen zijn bepaald door de totale arbeid te beschouwen voor de gehele lange bank en deze te delen door het oppervlak. Op deze wijze is voor elk type profiel en hoeveelheid wapening de arbeidskosten uit te drukken in m^2 bovenoppervlak. Dit, samen met andere kostprijs berekeningen, is uitgewerkt in bijlage 7.

De kapitaalkosten voor de mal en de fabriekshal zijn bepaald aan de hand van de aanschafprijs en de levensduur van elk onderdeel. Deze kosten bestaan uit de afschrijvingskosten van de investering (over de levensduur) en de kosten van rente. Zoals al eerder is vermeld, is uitgegaan van een lange bank systeem met stalen fabrieksmallen. Er is gesteld dat de stalen mallen over 5 jaar worden afgeschreven, rekening houdend met een restwaarde van 5%. Voor de hal is een levensduur van 10 jaar aangehouden met dezelfde restwaarde.

De kapitaalkosten zijn berekend aan de hand van de methode der gelijkblijvende annuïteiten met een rentevoet van 8%. Dit resulteert in een prijs per m^2 bovenoppervlak.

Er is uitgegaan van twee stalen mallen van $5 * 80 m^2$ (Fl 2.000,- per m^2), op een betonblok, $5 * 80 m^2$ en 1 meter hoog (Fl 120,- per m^3). Voor de hal, $20 * 100 m^2$, is een prijs van Fl 1.000,- per m^2 aangehouden. Na het berekenen van de aanschafkosten (Fl 1.696.000,- voor de mallen en Fl 2.000.000,- voor de hal), zijn de kapitaalkosten per jaar te bepalen met behulp van de annuïteit (zie bijlage 7 voor details).

Bij een levensduur van 5 jaar, bedragen de kosten per jaar 25% (afschrijving en rente) en bij 10 jaar is dit 14,9%. Voor de mallen resulteren de

kapitaalkosten Fl 405.000,- per jaar. De kosten voor de hal bedragen Fl 285.000,- per jaar. Er is uitgegaan van een optimale jaarproductie waarbij iedere dag gestort en ontkist wordt. In dat geval zijn de kosten, met 800 m² totaal maloppervlak en 200 werkdagen per jaar:

$$\frac{285.000 + 405.000}{200 * 800} \approx f 4,30 \text{ per m}^2$$

Er is verder gerekend met Fl 5,- per m² voor de kapitaalkosten (de berekende waarde is verhoogd om rekening te houden met kosten aan onderhoud van de mal en "inzetstukken" voor het vervaardigen van I-, T- of V-elementen).

De overige kostenfactoren (materieel, grondgebruik voor opslag, kantoorpanden en dergelijke) zijn verrekend in de algemene kosten. Hierbij is aangenomen dat deze kosten voor de verschillende alternatieven vrijwel gelijk zijn. Deze kosten, samen met andere algemene kosten (management-, administratie- en dergelijke), zijn uitgedrukt in een percentage van de totale kostprijs en hierbij opgeteld.

De grootte van dit percentage is moeilijk te bepalen, aangezien dit afhankelijk is van de te verwachten jaarproductie. Dit is bepaald aan de hand van de m³-prijs van de betonnen heipalen van Schokindustrie en een redelijke produktie per jaar. Met dit laatste is bedoeld dat het geen kleinschalige projecten (zoals de vistrap te Alphen, zie literatuur [1]) betreft, maar ook geen dergelijke produktie als betonnen heipalen. Deze benadering resulteert in een percentage van 30% over de totale kostprijs van een element.

Alle berekeningen voor het bepalen van de fabricagekosten per alternatief, inclusief de aangehouden prijzen voor arbeid en materiaal, zijn gedetailleerd weergegeven in bijlage 7. Een overzicht van de aangehouden bedragen en de bijbehorende eenheden is weergegeven in tabel 7a.

In de volgende paragraaf zijn de tabellen met fabricagekosten weergegeven. Op basis van deze kosten is voor iedere oever een keuze gemaakt.

	type	FL.	eenheid	opmerking:
ARAPREE:	f 100000	2,75	m	lineaire relatie kosten/aantal filamenten
BETON:	d= 8 mm	175,00	m ³	bij zeer dunne beschoeiing (tot 35 mm)
	d=16 mm	140,00	m ³	bij kleine dikten
	d=32 mm	130,00	m ³	bij grotere dikten
MAL:		5,00	m ²	afschrijvingskosten voor mal + fabriekshal
ARBEID:	1	7,00	m ²	2 staven; planken, breedte 0,2 m
	2	5,00	m ²	4 staven; idem, breedte 0,5 m
	3	12,50	m ²	4 staven; V-planken, breedte 1,0 m
	4	15,00	m ²	10 staven; idem, breedte 1,0 m
	5	17,50	m ²	30 staven; idem, breedte 1,0 m
	6	17,50	m ²	4 staven; I-profielen, breedte 0,2 m
	7	22,50	m ²	12 staven; idem, breedte 0,3 m
	8	15,00	m ²	15 staven; T-profielen, breedte 0,5 m
TRANSPORT:	vracht "groot"	17,80	ton	1,5* per dag rijden (max 30 ton)
	vracht "klein"	26,70	ton	idem (incl. sealen en palleteren)

tabel 7a: Aangehouden prijzen voor de fabricagekosten.

7.3. Keuze

Op basis van de fabricagekosten is voor iedere oever het goedkoopste alternatief gekozen. Alhoewel bij vrijwel iedere oever de alternatieven zowel met als zonder anker zijn berekend, is de keuze gemaakt tussen de verankerde profielen. De afmetingen en kosten van de onverankerde profielen zijn gegeven om het verschil met de verankerde profielen aan te geven. Bij elke kerende hoogte is een tabel afgebeeld met daarin de alternatieven waaruit de keuze is gemaakt. Gespecificeerde kosten en de kostprijzen van de onverankerde profielen zijn in bijlage 7 weergegeven. Ook is bij elke hoogte een grafiek gegeven met de fabricagekosten per alternatief, opgebouwd uit de verschillende kostenfactoren.

Kerende hoogte 0,5 meter (zie tabel 7b)

Het verschil in kosten tussen alternatief 2 en 4 is gering, te weten Fl 6,- per meter oever in het voordeel van de laatste. Echter alternatief 4 heeft meer voordelen waarmee rekening gehouden is. Het lage eigen gewicht van de planken en de stijlen, respectievelijk 12 en 67

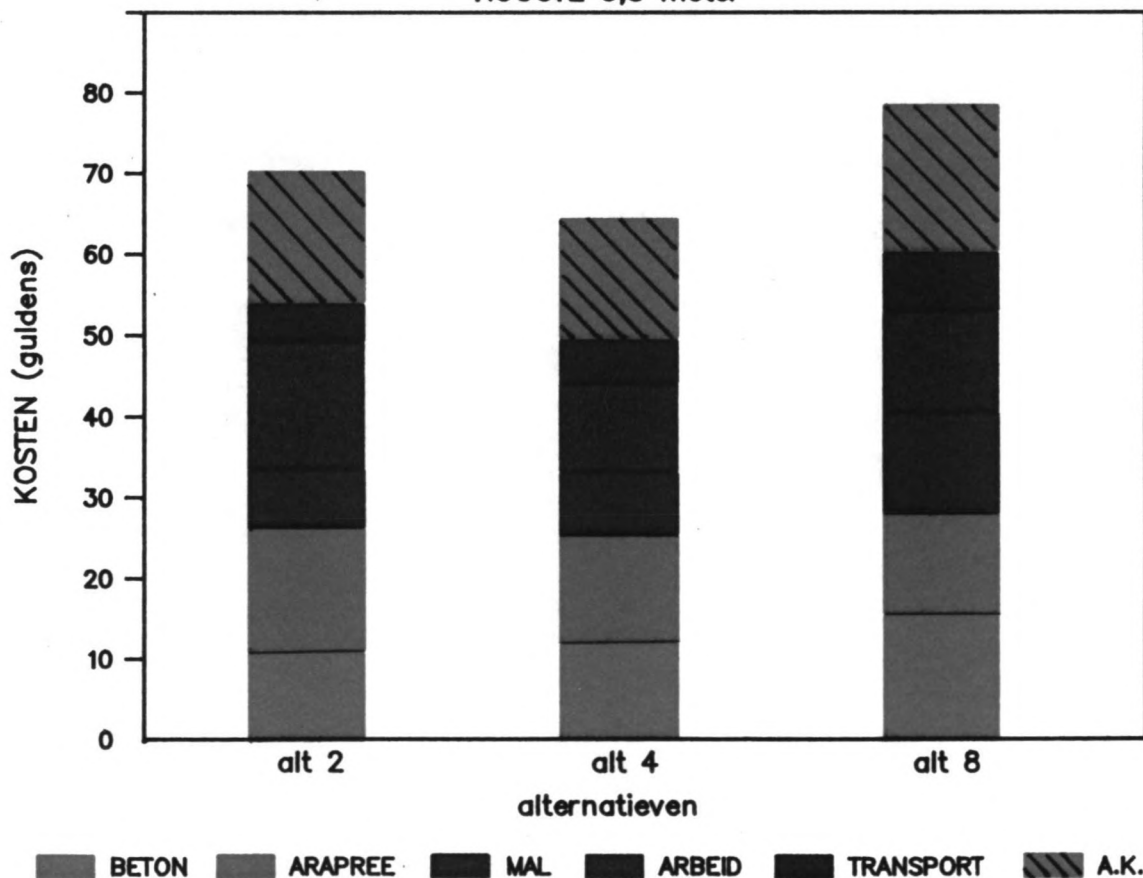
kilogram, is een groot voordeel bij een dergelijke oever. Verder is de tolerantie bij de plaatsing groter omdat de planken achter de stijlen geplaatst worden en niet ertussen.

Alternatief nr.	Onderdeel	Kostprijs element (FL.)	Aantal per m oever	Kostprijs alternatief per m oever
2	stijl	36,99	1	70,16
	plank	6,56	5	
4	stijl	16,80	2	64,28
	plank	6,10	5	
8	damplank	39,21	2	78,42

tabel 7b: fabricagekosten oever 0,5 meter hoogte.

FABRICAGEKOSTEN

HOOGTE 0,5 meter



Kerende hoogte 1,0 meter (zie tabel 7c)

Bij deze hoogte is gekozen voor alternatief 8, ondanks het grote gewicht van elk element (234 kilogram).

het valt op dat de onderlinge verschillen tussen de alternatieven klein zijn. Er is dan wel voor alternatief 8 gekozen maar er moet wel rekening worden gehouden met de andere profielen bij het beschouwen van de uitvoeringskosten.

De kostprijs van alternatief 2 is relatief meer gestegen dan alternatief 8 (een verdubbeling vergeleken met de prijs bij hoogte 0,5 meter ten opzichte van een stijging van 50% voor alternatief 8). Dit is te wijten aan het grotere moment, waarop de stijl van alternatief 2 is berekend. Vanwege de uitvoeringsmethode van dit alternatief (zie ook hoofdstuk 3) is rekening gehouden met een grotere gronddruk en daarmee een groter moment. Hierdoor is de stijl zwaarder gedimensioneerd dan de damplank van alternatief 8 en zijn de fabricagekosten van de eerste groter. Indien voor een andere uitvoeringsmethode gekozen wordt, waarbij het moment hetzelfde is als bij alternatieven 6 en 8 (bijvoorbeeld het in de grond drukken van de planken zodat de grond niet moet worden ontgraven) zijn de kosten lager. Bij de van te voren gestelde uitgangspunten is deze optie uitgesloten zodat dit niet is meegenomen voor het maken van een keuze. Wel zijn in bijlage 7 de kosten berekend voor alternatief 2 bij een kleiner moment. Hieruit blijken de kosten van alternatief 2 wel lager te zijn ($\approx$ Fl 118,-) maar niet de laagste.

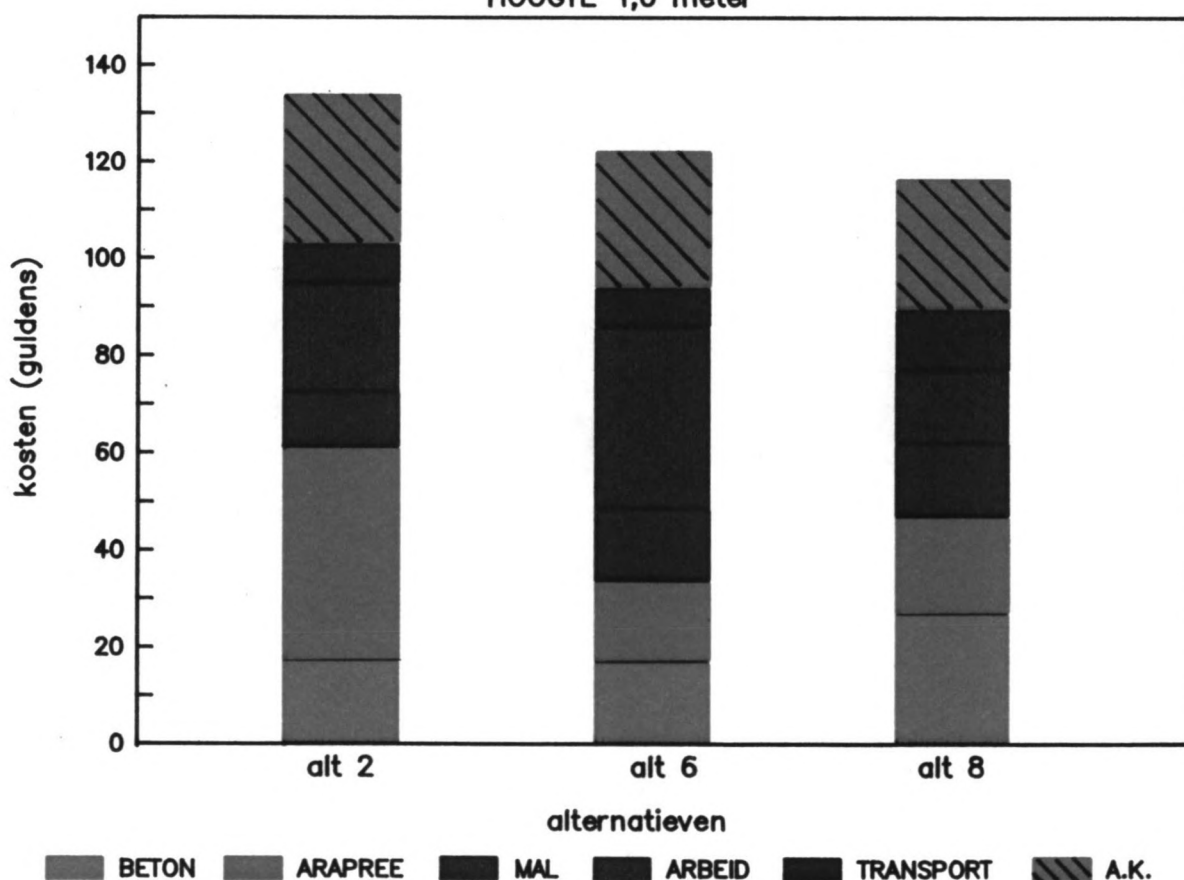
Het verschil in fabricagekosten tussen alternatief 8 (breedte 0,5 meter) en alternatief 6 (breedte 1,0 meter) is zeer gering en daarom zijn de totale kosten (inclusief uitvoering) mogelijk goedkoper voor alternatief 6 (minder bewerkingen per meter oever). Dit moet bij het beschouwen van de uitvoeringskosten, bij een vervolgstudie, in acht worden genomen. Aangezien bij de keuze tussen de alternatieven voor deze studie alleen de fabricagekosten zijn beschouwd, is voor alternatief 8 gekozen.

Alternatief nr.	Onderdeel	Kostprijs element (FL.)	Aantal per m oever	Kostprijs alternatief per m oever
2	stijl	60,35	1	132,85
	plank	7,99	9	
6	damplank	122,32	1	122,32
8	damplank	58,23	2	116,45

tabel 7c: fabricagekosten oever 1,0 meter hoogte.

FABRICAGEKOSTEN

HOOGTE 1,0 meter



Kerende hoogte 3,0 meter (zie tabel 7d)

Bij deze hoogte komt alternatief 6 het beste naar voren; goedkoop en dun geconstrueerd. Bovendien geldt hetzelfde als hierboven is beschreven over de uitvoeringskosten.

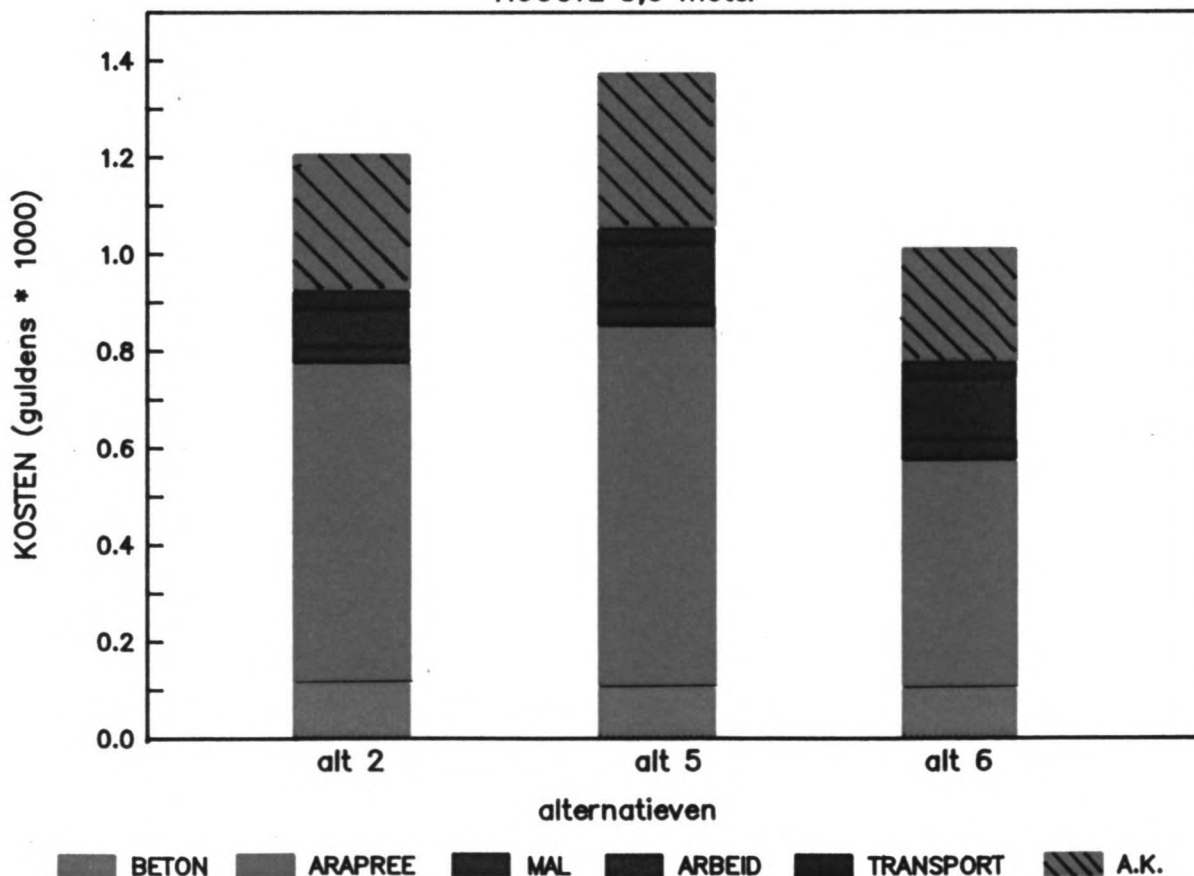
Ook hier is alternatief 2 duurder dan de andere twee profielen vanwege het grotere moment. Wederom is in bijlage 7 de verandering in fabricagekosten aangegeven indien dit moment gelijk is aan het moment van de andere alternatieven. In dit geval is deze nieuwe vorm van alternatief 2 de goedkoopste ($\approx$ Fl 896,-).

Alternatief nr.	Onderdeel	Kostprijs element (FL.)	Aantal per m oever	Kostprijs alternatief per m oever
2	I-stijl	1019,61	1	1200,09
	plank	22,56	8	
5	T-stijl	689,30	2	1378,59
6	damplank	1010,41	1	1010,41

tabel 7d: fabricagekosten oever 3,0 meter hoogte.

FABRICAGEKOSTEN

HOOGTE 3,0 meter



Kerende hoogte 6,0 meter (zie tabel 7e)

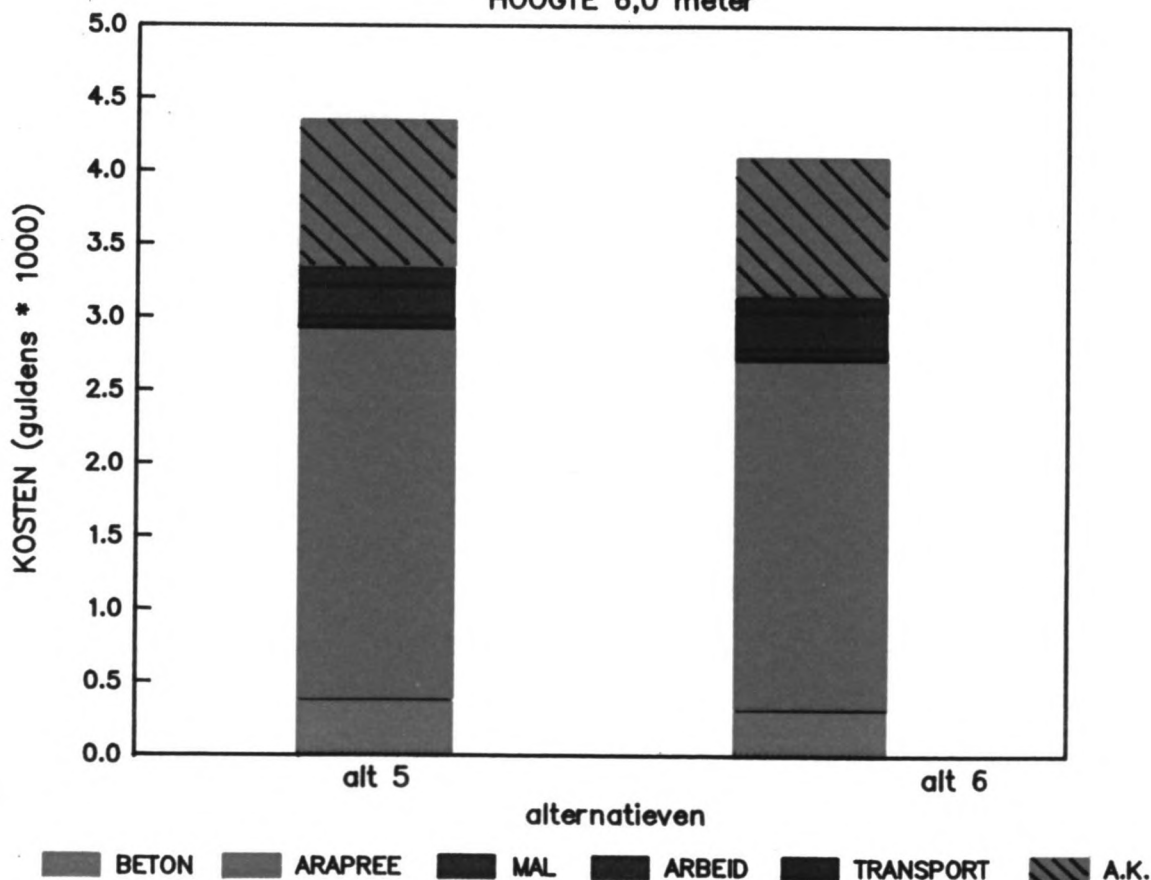
Bij deze hoogte is wederom alternatief 6 gekozen. Het valt op dat het verschil (in procenten) met alternatief 5 minder is dan bij een hoogte van 3,0 meter. Het is dus mogelijk dat voor nog grotere hoogte de T-stijl goedkoper uitvalt dan de damwandplank. Bovendien is bij grotere hoogte alternatief 5 als dubbel T-stijl (breedte 1,0 meter) uit te voeren. Hierdoor is het voordeel van alternatief 6 (grotere breedte en daarom waarschijnlijk minder uitvoeringskosten) verdwenen. Vooral nog lijkt alternatief 6 voor de uitvoering het meest ideaal omdat het vanwege het relatief dunne profiel mogelijkheden biedt om trillend te worden geplaatst.

Alternatief nr.	Onderdeel	Kostprijs element (FL.)	Aantal per m oever	Kostprijs alternatief per m oever
5	T-stijl	2176,68	2	4353,36
6	damplank	3998,68	1	4092,93

tabel 7e: fabricagekosten oever 6,0 meter hoogte.

FABRICAGEKOSTEN

HOOGTE 6,0 meter



7.4. Kentallen gekozen profielen

Om een goed beeld te krijgen van de hoeveelheden die per oever verwerkt zijn, zijn enkele kentallen weergegeven in de onderstaande tabel. Deze cijfers zijn gebaseerd op de gekozen alternatieven zoals deze beschreven zijn in de voorgaande hoofdstukken in de bijlagen 6 en 7. Deze kentallen geven aan hoeveel materiaal er per meter oever worden verbruikt en hoe de verhouding tussen het ARAPREE en het beton is. Dit laatste is gegeven zodat eenvoudig kan worden bepaald hoeveel kilogram ARAPREE per jaar men verbruikt bij een gegeven jaarproductie.

Verder zijn voor elke hoogte de kosten van het gekozen profiel verspreid over de verwachte levensduur zodat de kosten (exclusief installatie en onderhoud) per jaar bekend zijn. Deze jaarlijkse kosten zijn op dezelfde wijze berekend als de kapitaalkosten voor de mal (paragraaf 7.2) uitgaande van de gegeven levensduur. Er is uitgegaan dat de restwaarde van de profielen nihil is (hergebruik is wel mogelijk maar met de opbrengst is geen rekening gehouden).

Op basis van deze kosten is een vergelijking met de huidige oplossingen gemaakt in het volgende hoofdstuk.

Een zeer gedetailleerde uitwerking van de gekozen profielen is achterwege gebleven omdat dat weinig verschil zal geven voor deze kentallen en de gemaakte conclusies in hoofdstuk 9.

KENTALLEN MATERIALEN (uitgedrukt per meter oever)				
ALTERNATIEF:	BETON (m ³)	ARAPREE		kg ARAPREE per m ³ beton
4 (H= 0,5 m)	0,084	24,7 m	0,15 kg	1,80
8 (H= 1,0 m)	0,195	24,0 m	0,22 kg	1,13
6 (H= 3,0 m)	0,765	85,0 m	4,09 kg	5,35
6 (H= 6,0 m)	2,488	435,0 m	20,93 kg	8,41

KENTALLEN FABRICAGEKOSTEN (uitgedrukt per meter oever)			
ALTERNATIEF:	KOSTPRIJS	LEVENSDUUR (jaren)	KOSTEN (per jaar)
4 (H= 0,5 m)	f 63,15	40 - 50	f 5,50
8 (H= 1,0 m)	f 116,45	40 - 50	f 9,50
6 (H= 3,0 m)	f 1010,41	50 - 60	f 82,-
6 (H= 6,0 m)	f 4092,93	50 - 60	f 330,-

tabel 7f: Kentallen betonnen damwanden met ARAPREE.

8. VERGELIJKING HUIDIGE OEERVERVEDIGINGEN

8.1. Huidige oplossingen

In de eerste twee hoofdstukken zijn de huidige oplossingen vermeld met enkele voor- en nadelen. Elke oplossing heeft zijn beperkingen vanwege de eigenschappen van het materiaal of het element. De verschillende materialen met de bijbehorende oplossingen en de aangehouden toepassingsgebieden zijn hieronder toegelicht.

8.1.1. Materialen

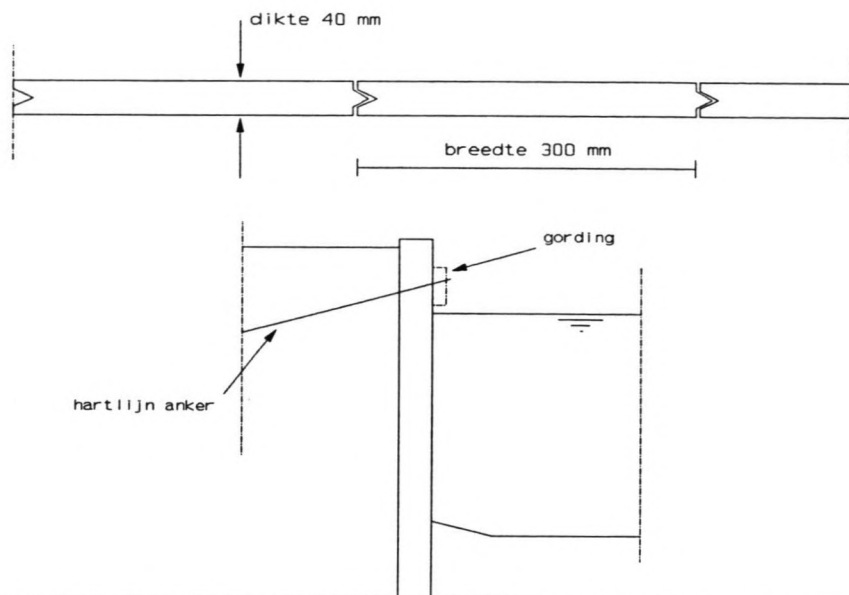
8.1.1.1. Hout

Voor de oeervervedigingen worden vooral azobé (tropisch hardhout) en verduurzaamd naaldhout toegepast. Er zijn twee verschillende oeervervedigingen bekeken: damwanden en stijlen met beschoeiing.

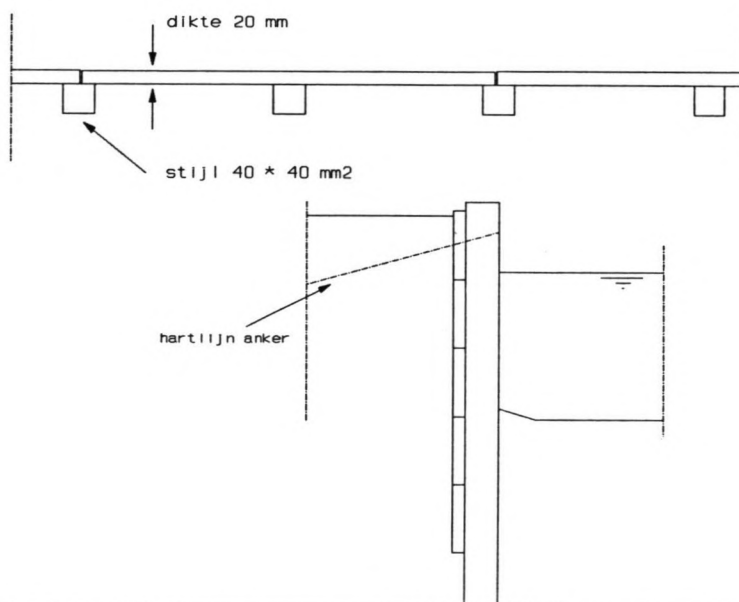
Voor de damwanden geldt een maximum kerende hoogte vanwege de beperkte lengte voor houten planken, te weten 9 meter. In de breedte kent hout variaties tussen 150 en 350 millimeter. Bij de berekeningen is een breedte van 300 mm aangehouden.

Voor de houten beschoeiingen is een maximum kerende hoogte aangehouden van 1,0 meter in verband met de maximum dikte van de houten beschoeiing (20 mm). Ook het bevestigen van de beschoeiingen op grote diepte geeft moeilijkheden zodat de kerende hoogte bij deze oplossing beperkt blijft. De toepassingsgebieden zijn als volgt:

- damwand: * 0,5 / 1,0 / 3,0 meter,
- beschoeiing: * 0,5 / 1,0 meter.



figuur 8.1. Houten damwand.



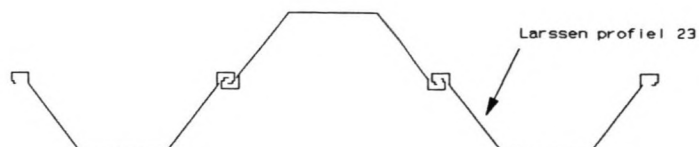
figuur 8.2. Houten stijlen met beschoeiing.

8.1.1.2. Staal

Dit materiaal wordt binnen de oeververdediging voornamelijk toegepast als damwandplank. Het staal is onderhevig aan corrosie en is voor de duurzaamheid van de oeververdediging beschermd door middel van een coating of extra dikte van de damwandplank.

Vanwege de hoge sterkte en stijfheid van de damwandplank en de hoge kost-

prijs van het staal, is deze oplossing pas economisch bij hoge oevers. Daarom is het gekozen toepassingsgebied van de stalen damwand als volgt:



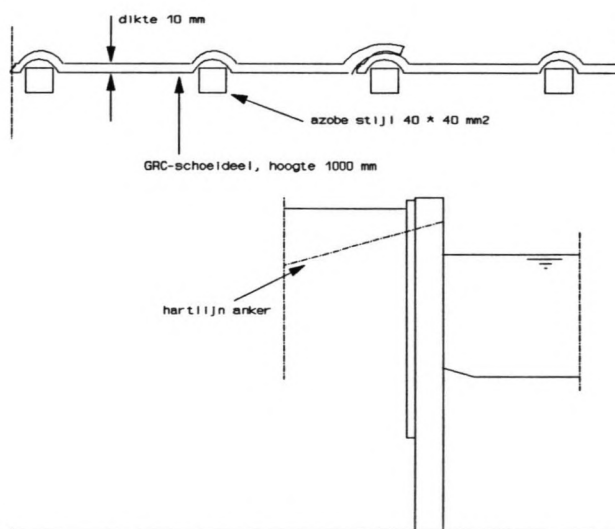
- damwandplank: * 3,0 / 6,0 m.

figuur 8.3. Stalen damwandplanken.

8.1.1.3. GRC-schoeidelen

Deze oplossing wordt in combinatie met houten perkoenpalen toegepast bij lage oevers. De GRC delen zijn vervaardigd van glasvezel versterkt cement (Glasfiber Reinforced Cement) en hebben een dikte van 10 millimeter en een maximum hoogte van 1,50 meter. Door deze laatste maat is de kerende hoogte van dit systeem beperkt:

- GRC + stijlen: * 0,5 meter.



figuur 8.4. GRC-schoeideel met azobé stijlen.

8.1.2. Randvoorwaarden en afmetingen

Bij elke kerende hoogte zijn voor elke oplossing de afmetingen bepaald, rekening houdend met de nodige randvoorwaarden en de beperkingen van de materialen zoals deze in de bovenstaande paragraaf vermeld zijn. De aangehouden randvoorwaarden bij de berekeningen zijn hieronder weergegeven. De berekeningen zijn te vinden in bijlage 8, in dit hoofdstuk zijn alleen de afmetingen gegeven.

- Randvoorwaarden hout:

- * droogte klasse V: nat milieu (volgens TGB-hout),
- * $\sigma_{\text{azobé}} = 25 \text{ N/mm}^2$,
- * $\sigma_{\text{naald}} = 7 \text{ N/mm}^2$,
- * materiaalcoëfficiënt hout = 1,0 (volgens TGB-hout),
- * minimum dikte plank: $d = 30 \text{ mm}$,
- * maximum dikte plank: $d = 120 \text{ mm}$,
- * levensduur hout: 25 jaar.

- Randvoorwaarden staal:

- * Staalkwaliteit: FeB 360,
- * $\sigma_{\text{staal}} = 240 \text{ N/mm}^2$,
- * materiaalcoëfficiënt staal = 1,5 (volgens TGB-staal),
- * rekening houden met corrosie van 0,1 mm per jaar;
ondanks het aanbrengen van een coating, kan op enkele plaatsen corrosie optreden; om te voorkomen dat deze corrosie desastreus is, is rekening gehouden met vermindering van de dikte (zie ook bijlage 8),
- * levensduur damwand 50 jaar,
- * totale corrosie 5 mm.

- Randvoorwaarden GRC:

- * Maximale hoogte 1,5 meter,
- * Alleen in combinatie met azobé-stijlen;
de fabrikant geeft aan de schoeidelen toe te passen met azobé of kunststof stijlen; de laatste mogelijkheid is niet bekeken vanwege de te grote uitwijking (lage E-modulus van kunststof),
- * levensduur GRC: 30 jaar.

De afmetingen zijn bepaald bij elke oever en weergegeven in bijlage 8. Hierbij moet worden opgemerkt dat de afmetingen zijn bepaald op basis van de sterkte van de materialen en niet door een maximale uitwijking van de top van de wand. Dit laatste geeft voor hout veel grotere afmetingen omdat de elasticiteitsmodulus van hout lager is dan die van beton ($E_{\text{azobé}}=17000 \text{ N/mm}^2$, $E_b=33500 \text{ N/mm}^2$, om dezelfde uitwijking te krijgen is voor azobé een 30% dikkere plank nodig vergeleken met beton, voor naaldhout, $E=10000 \text{ N/mm}^2$, is een 50% dikkere plank nodig).

8.1.3. Fabricagekosten

Van iedere oplossing zijn de materiaalkosten en de bijkomende transportkosten berekend. Voor de beschreven oplossingen is dit uitgedrukt in een prijs per eenheid materiaal en de kosten voor het vervoer uitgedrukt in guldens per gewicht.

De materiaalprijzen van een produkt is sterk gebonden aan de markt, zodat deze nogal kan variëren. Zowel hout als staal zijn sterk gevoelig voor schommelingen op deze markt. De prijs van hout is ook beïnvloedbaar door politieke discussies omtrent bezwaren bij de toepassing ervan. Voor beide genoemde houtsoorten geldt een dergelijk bezwaar. Bij azobé gaat het om het kappen van de tropische regenwouden. Om deze reden zijn de toepassingen van tropisch hardhout in enkele gemeenten drastisch verminderd en wordt gezocht naar vervangende materialen die geen bezwaren opleveren. De bezwaren bij verduurzaamd naaldhout zijn gericht tegen de gebruikte verduurzamingsmiddelen. Sommige van deze middelen (creosootolie of zoutmengsels) 'lossen op' in het water en tasten daarmee de kwaliteit aan.

De globale prijzen, welke aangehouden zijn, zijn hieronder uitgezet (zie bijlage 8 voor specifiek cijfers en berekeningen van de fabricagekosten):

o staal:	
materiaalprijs	Fl 1400,- per ton
coating	Fl 30,- per m ²
levensduur	50 jaar
o hout (gemiddelde waarde):	
azobé	Fl 1200,- per m ³
naaldhout	Fl 700,- per m ³
levensduur	20 - 30 jaar
o GRC:	
schoeideel (H=1,0 m)	Fl 35,- per m oever
levensduur	25 - 35 jaar

In combinatie met de afmetingen van de oeververdedigingen uit de vorige paragraaf zijn deze cijfers verwerkt en is de kostprijs per oplossing berekend. Details omtrent deze berekeningen zijn te vinden in de genoemde bijlage. Hieronder zijn de goedkoopste oplossingen weergegeven per materiaalsoort en per kerende hoogte (voor hout zijn dit de prijzen van verduurzaamd naalddhout).

Hoogte (m)	Kostprijs (Fl per meter oever)			
	Staal	Hout		GRC
	damwand	damwand	beschoei.	beschoei.
0,5	-	f 85,-	f 33,-	f 45,-
1,0	-	f 110,-	f 59,-	-
3,0	f 1252,-	f 1378,-	-	-
6,0	f 3003,-	-	-	-

tabel 8a: Kostprijs huidige oeververdedigingen.

Net als bij de betonnen damwanden, zijn de jaarlijkse kosten (exclusief installatie en onderhoudskosten) voor de huidige oplossingen berekend op basis van de kapitaalkosten. Dit is weergegeven in de onderstaande tabel.

MATERIAAL	TYPE	LEVENSDUUR (jaren)	KOSTEN (Fl/m/jr)			
			H=0,5m	H=1,0m	H=3,0m	H=6,0m
HOUT	damwand	25 - 30	f 8,-	f 10,-	f 124,-	-
	beschoeiing + stijl	20 - 25	f 4,-	f 6,-	-	-
STAAL	damwand	40 - 50	-	-	f 103,-	f 246,-
GRC	GRC-deel + stijl	25 - 35	f 4,-	-	-	-

tabel 8b: Kosten per jaar per meter oever.

Op basis van deze kosten is in de volgende paragraaf een vergelijking gemaakt tussen de bovenstaande oplossingen en de gekozen betonnen profielen.

8.2. Vergelijking beton versus hout/staal/GRC

De vergelijking tussen beton en de andere materialen is per hoogte behandeld. Hierbij zijn de kosten genoemd en enkele relevante voor- en nadelen van de oplossingen gegeven. Voor het overzicht is hieronder een tabel gegeven met daarin de relevante waarden met betrekking tot deze vergelijking.

Hoogte	Type	Jaarlijkse kosten per m oever			
		Beton	Hout	Staal	GRC
0,5 m	Beschoeiing	f 5,50	f 4,-		f 4,-
	Damwand	f 6,50	f 8,-		
1,0 m	Beschoeiing	f 10,75	f 6,-		
	Damwand	f 9,50	f 10,-		
3,0 m	Damwand	f 82,-	f 124,-	f 103,-	
6,0 m	Damwand	f 330,-		f 246,-	

tabel 8c: Relevante waarden van alle materialen.

Kerende hoogte 0,5 meter

Voor deze hoogte is onderscheid gemaakt tussen de damplank en de beschoeiing omdat dit twee verschillende vormen van oeverbescherming zijn. De laatste is in het algemeen bedoeld als grondkering zonder dat deze veel krachten moet opnemen. Daarom vindt deze alleen toepassing (indien gemaakt van hout) bij lage oevers.

Beschoeiing met stijlen

Het blijkt uit de tabel 8c dat een betonnen beschoeiing duurder is dan hout en GRC, zowel in kostprijs als in jaarlijkse kosten.

Het voordeel van hout bij deze toepassing is het lage gewicht van de elementen (tot 6 kilogram voor de stijlen), de flexibiliteit (makkelijk op maat te zagen, schroeven indraaien) en de capaciteit om stootbelasting op te nemen. Als nadeel geldt de eerder genoemde milieu bezwaren bij beide houtsoorten (voor de conclusies welke uit de vergelijking getrokken zijn, moeten deze aspecten in acht worden genomen).

De andere oplossing, GRC-schoeidelen, heeft minder voordelen (gewicht van de stijl is licht maar die van de plank bedraagt 33 kilogram) maar is ook "milieu-vriendelijker". Bij dit laatste geldt de toepassing van houten stijlen wel als een nadeel om dezelfde reden als hierboven. Deze

oplossing is ook toepasbaar met kunststof (lage E-modulus dus grote vervormingen) of betonnen (traditioneel gewapend en dus zwaar en dik) stijlen. Deze vormen zijn niet onderzocht.

De betonnen variant is minder flexibel en aanzienlijk zwaarder. Het voordeel van ARAPREE in deze is de garantie van de duurzaamheid omdat scheuren in het element niet tot corrosie van de wapening (en falen van de beschoeiing) leidt.

Damplanken

Deze vorm van oeeververdediging is in beton goedkoper dan in hout. Hoewel dit alternatief (nummer 8) niet is gekozen in hoofdstuk 7, blijken de jaarlijkse kosten lager te zijn dan die van een houten damplank (Fl 6,75 voor hout vergeleken met Fl 6,50 voor beton). De kostprijs van beton is wel hoger, Fl 78,42 tegenover Fl 74,- voor hout. Ook hier gelden dezelfde voor- en nadelen van hout (het gewicht voor de plank is nu 14 kilogram) en beton (gewicht plank 135 kilogram).

Kerende hoogte 1,0 meter

Ook bij deze hoogte is een splitsing gemaakt waarbij de GRC-delen afvallen als beschoeiingsmogelijkheid.

Beschoeiing met stijlen

Het verschil tussen hout en beton is aanzienlijk en bovendien heeft hout voor een dergelijke toepassing belangrijke voordelen (flexibiliteit en laag gewicht). De kostprijs voor hout is Fl 59,- resulterend in Fl 6,- voor de jaarlijkse kosten. Bij de betonnen variant (alternatief 2) zijn deze bedragen respectievelijk Fl 130,- en Fl 10,75 waardoor een dergelijke oplossing te duur lijkt. Indien de milieu-eisen zo zwaar worden dat hout niet meer mag worden toegepast, biedt dit alternatief goede mogelijkheden.

Damplanken

Deze profielvorm biedt meer uitkomsten voor beton zoals hierboven al is vermeld. Een betonnen profiel heeft enkele nadelen (onder andere een groot gewicht, 234 kilogram ten opzichte van hout, 20 kilogram) maar door de toepassing van ARAPREE is de dikte ten opzichte van de traditionele damplank veel minder. De jaarlijkse kosten voor beton zijn Fl 9,50 per meter oever, voor hout is deze waarde Fl 10,-.

Kerende hoogte 3,0 meter

Voor deze hoogte is een vergelijking met staal en hout gemaakt. Zowel in aanschaf als in jaarlijkse kosten, is staal goedkoper dan hout. Bij deze hoogte telt het gewicht niet zo zwaar mee zodat het voordeel van staal (makkelijk in te brengen en uit te trekken) groot is.

Een betonnen danwandplank (Fl 82,- per jaar) is aanzienlijk goedkoper dan staal (Fl 103,- per jaar) en biedt ook goede mogelijkheden om te worden getrild (kleine dikte en daardoor minder weerstand bij het inbrengen).

Kerende hoogte 6,0 meter

Het stalen damwandprofiel is goedkoop (Fl 246,- per jaar) en bovendien zijn, net als bij 3,0 meter, de uitvoeringskosten gering. De betonnen variant is duurder (Fl 330,- per jaar) en het grote eigen gewicht is ongunstig bij het plaatsen. De toepassing van ARAPREE heeft tot gevolg dat deze prijs zo hoog is (de materiaalkosten van ARAPREE zijn meer dan 50% van de kostprijs).

Economisch gezien, is een betonnen oeververdediging alleen beter bij een hoogte van 3,0 meter. Een betonnen damplank biedt bij de lage oevers goede uitkomsten qua jaarlijkse kosten.

Niet altijd zijn de kosten de doorslaggevende factor bij het kiezen van een materiaal. In dat verband kunnen de milieu-eisen worden genoemd en lijkt beton een redelijk alternatief. De conclusies die hieruit kunnen worden getrokken, zijn gegeven in het volgende hoofdstuk.

9. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

9.1. Conclusies

De conclusies van deze studie zijn in twee delen gesplitst, conclusies ten aanzien van de damwanden en de toepassingen van ARAPREE als voorspanmateriaal voor dergelijke betonnen profielen. Bij het vooronderzoek (literatuur [1]) is gebleken dat de stagnatie van de ontwikkeling van betonnen damwanden een van de oorzaken was van de verminderde toepassing (of het geheel niet meer toepassen) ervan. In dit onderzoek is gesteld dat naar "nieuwe" vormen moest worden gezocht.

9.1.1. Conclusies ten aanzien van damwanden

Met deze studie is aan de bovengenoemde vernieuwing voldaan. Er zijn "nieuwe" vormen ontworpen en voor de oplossingen welke in het verleden reeds zijn toegepast, zijn de afmetingen aangepast (mede dankzij het gebruik van ARAPREE). Er kan worden geconcludeerd dat de studie heeft geleid tot nieuwe ideeën en dat is gebleken dat sommige vormen duidelijk concurrerend zijn ten opzicht van de huidige oplossingen hout en staal. Dit laatste is in te zien door het financiële plaatje te bekijken (zie ook hoofdstuk 8):

- beton toegepast als beschoeiing is een goede vervanging voor hout indien dit materiaal vanwege milieu-eisen niet meer kan worden gebruikt; hout biedt voor deze vorm van oeverbescherming meer voordelen voor hetzelfde bedrag (naaldhout zelfs voor minder geld) zodat dit de voorkeur krijgt,
- voor die vormen van beschoeiing die al eerder zijn toegepast in beton, zijn de gegeven alternatieven, 2 en 4, een vernieuwing,
- voor de toepassing als dam(wand)plank biedt beton zeer goede mogelijkheden en is goedkoper dan de huidige oplossingen; dit geldt zeker voor die waarbij kleine tot geringe momenten op te nemen zijn; bij grote momenten (hoogte 6,0 meter) is staal goedkoper en bovendien makkelijker in te brengen,
- door de profielen voor te spannen is een betere krachtsverdeling te realiseren en kunnen grotere trekspanningen opgenomen; vooral voor het inbrengen is dit een groot voordeel.

9.1.2. Conclusies betreffende ARAPREE

Het blijkt dat de dikte van de profielen, vooral bij kleine momenten, kan worden teruggebracht tot circa 40 a 50 millimeter. Voor de planken, welke alleen als grondkering fungeren en weinig moment opnemen, bedraagt deze dikte slechts 25 tot 35 millimeter.

Indien het moment toeneemt en daarmee ook de benodigde betondoorsnede, is de noodzaak van ARAPREE minder groot en misschien wel te duur. Ten aanzien van de kosten zijn de conclusies moeilijk te trekken omdat geen vergelijking is gemaakt met voorspan- of wapeningsstaal. De conclusies die getrokken zijn, zijn:

- toepassing van ARAPREE bij grote werkende momenten is zeer kostbaar, het aandeel ARAPREE-kosten van de totale kostprijs bedraagt meer dan 50%; indien in dit geval voorspanstaal wordt gebruikt moet de dekking (en daarmee de betondoorsnede) worden vergroot maar is de kostprijs naar verwachting lager,
- bij lage oevers is de "winst" bij damplanken aanzienlijk; het moment is klein waardoor de betondoorsnede klein kan zijn; juist door toepassing van ARAPREE, waardoor er geen gevaar voor corrosie optreedt, is de dekking zeer klein (tot 15 millimeter),
- bij aanvullende eisen voor de dekking in verband met sterk verontreinigde omgeving (water of grond), is een toepassing van ARAPREE als voorspanmateriaal bij betonnen dam(wand)planken een goede oplossing
- alhoewel ARAPREE een hogere sterkte heeft dan voorspanstaal, is de aangehouden werkvoorspanning lager; doordat het materiaal nog niet veel toepassingen kent, zijn de ontwerpberekeningen "aan de veilige kant"; daarom is de werkvoorspanning laag gehouden; indien met hogere waarden wordt gerekend, is het nut van ARAPREE duidelijker (minder ARAPREE-doorsnede nodig ten opzichte van de benodigde staaldoorsnede) en de kostprijs lager,

9.2. Aanbevelingen

De studie heeft zich enerzijds beperkt tot betonnen damwanden voorgespannen met ARAPREE en anderzijds het bekijken van alleen de fabricagekosten. Indien de concurrentie met de huidige oplossingen (hout, staal en in mindere mate GRC) moet worden aangegaan, is het noodzakelijk, naast de gedane zaken, een aantal nog niet bekeken punten in acht te nemen. Met betrekking tot deze punten zijn hieronder aanbevelingen gegeven welke volgen uit de bovenstaande conclusies en inzicht verkregen door de studie.

- Uitvoeringsaspecten:

- Bij het ontwerpen van de profielen is alleen gekeken naar de spanningen ten gevolge van het moment en de voorspanning. De spanningen die ontstaan bij het inbrengen van het profiel zijn hierbij niet in acht genomen. Het is noodzakelijk deze spanningen te bepalen en te controleren of deze profielen voldoen en zoniet de profielen aanpassen.
 - Verder is de aansluiting van de profielen onderling zeer summier bekeken (er zijn alleen mogelijke oplossingen aangedragen). Ook dit moet bij het bekijken van de uitvoeringsaspecten gedetailleerd worden.
 - De inbrengkosten voor de gekozen alternatieven en de huidige oplossingen moeten bepaald worden door voor elk profiel een uitvoeringsmethode te kiezen. Het totaalplaatje van de kosten moet rond zijn zodat een eerlijke vergelijking te maken is.
 - De mogelijkheden om de profielen in de grond te brengen moeten per geval worden bekeken. Per profiel zal een uitvoeringsmethode moeten worden gekozen om het in de grond te brengen en de dichtheid te garanderen. Met dit laatste worden de verschillende aansluitingen bedoeld.
- Een vergelijking met beton, voorgespannen of gewapend met (voorspan)-staal is aan te raden, vooral bij grote momenten omdat daar het aandeel van ARAPREE (in de kostprijs) zo groot is. Het is best mogelijk dat een toepassing van voorspanstaal goedkoper is waardoor de verschillen met hout en staal vergroten. Wel moet in dit verband rekening gehouden worden met extra eisen voor de dekking op de staven in verband met corrosie gevaar.

Indien wordt besloten om een of meerdere profielen te vervaardigen met als doel de huidige oplossingen te vervangen, of de concurrentie aan te gaan, is het wenselijk de produkten goed te "promoten". Het produkt moet eerst aanslaan voordat het zich definitief op de markt kan vestigen. Het is in dit verband ook aan te bevelen om andere toepassingsgebieden te bekijken welke mogelijk zijn. Een paar voorbeelden van andere toepassingsgebied voor een betonnen dam(wand)plank zijn:

- perronkeringen bij stations (zijn al van beton maar nog niet voorgespannen met ARAPREE),
- vangrails bij autowegen (niet direct als vervanging van staal maar voor die gedeelten waar betonblokken worden gebruikt), door dooizouten ontstaat corrosie bij met staal gewapend beton, dit is met ARAPREE niet het geval,
- betonnen schermen bij mesthopen of andere agressieve milieuomgevingen.

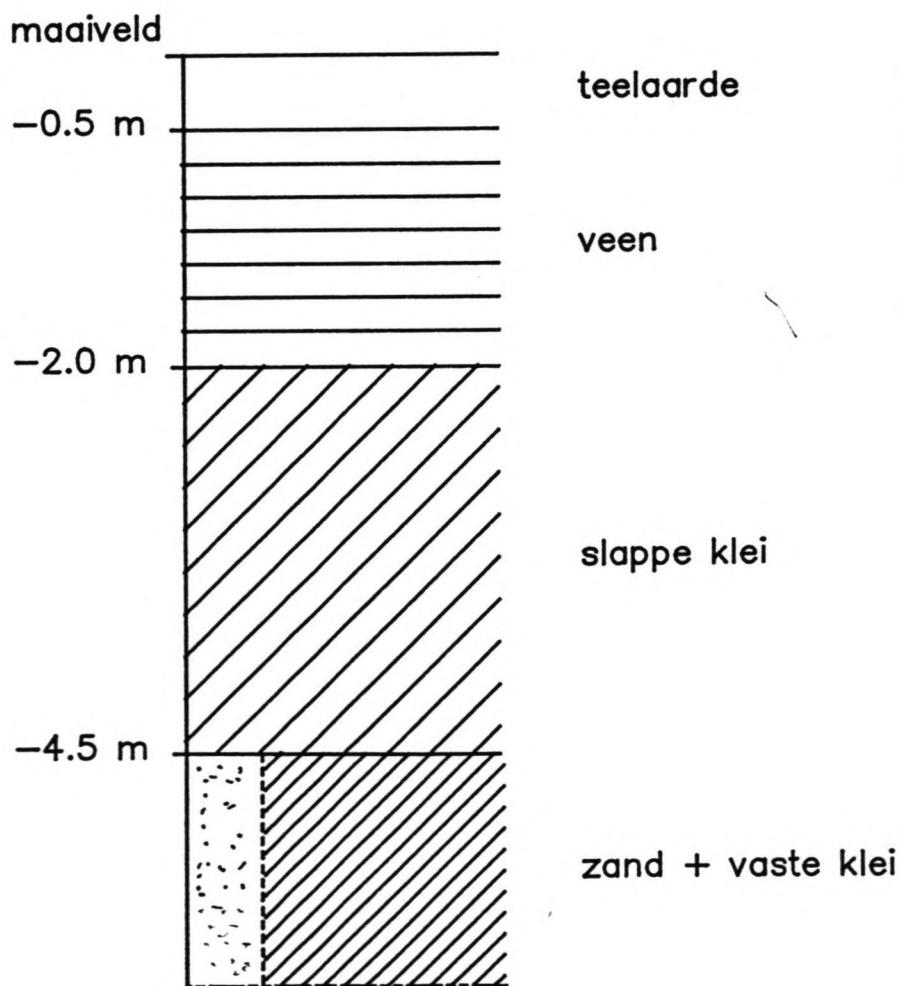
LITERATUUR

- [1] Beek, R.J. van; Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van beton damwanden, voorgespannen met ARAPREE, als oeverbescherming, literatuurstudie; Gouda, 25 september 1990.
- [2] Delta Marine Consultance bv; Ontwerp hoofddraagbalken voor de Lichtroosters van e Noordtunnel, voorlopige versie; september 1990.
- [3] Vos, Prof. ir. Ch.J., en ing. H.C. Jager; Uitvoeringstechnologie van betonconstructies, diktaat G23B; Delft, maart 1988.

BIJLAGE 1: Aangehouden grondprofielen

De gegevens van de grondprofielen zijn enerzijds bepaald door grondonderzoek (grondgegevens verstrekt door Delfland, gemeente Delft, Provinciale Waterstaat van Zuid-Holland en Grondmechanica Delft) en anderzijds door vereenvoudiging van het grondprofiel en algemene gegevens van de grondsoorten.

Het grondprofiel voor de lage oevers (0,5 en 1,0 meter) is afgebeeld in figuur B1. Dit is het grondprofiel zoals dat hoofdzakelijk voorkomt in het Delfland langs kleine kanalen en sloten. Daaronder zijn de gegevens van de grondsoorten weergegeven, zoals deze gebruikt zijn voor het berekenen van de inheidiepte en het moment.



figuur B1 Grondprofiel voor kerende hoogte: 0,5 en 1,0 m

* teelaarde (1):

$$\phi = 22^\circ$$

$$\gamma_d = 15,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

* veen (2):

$$\phi = 14^\circ$$

$$\gamma_d = 2,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

* slappe klei (3):

$$\phi = 20^\circ$$

$$\gamma_d = 11,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 16,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 2,6 \text{ kN/m}^2$$

* vaste klei + zand (4):

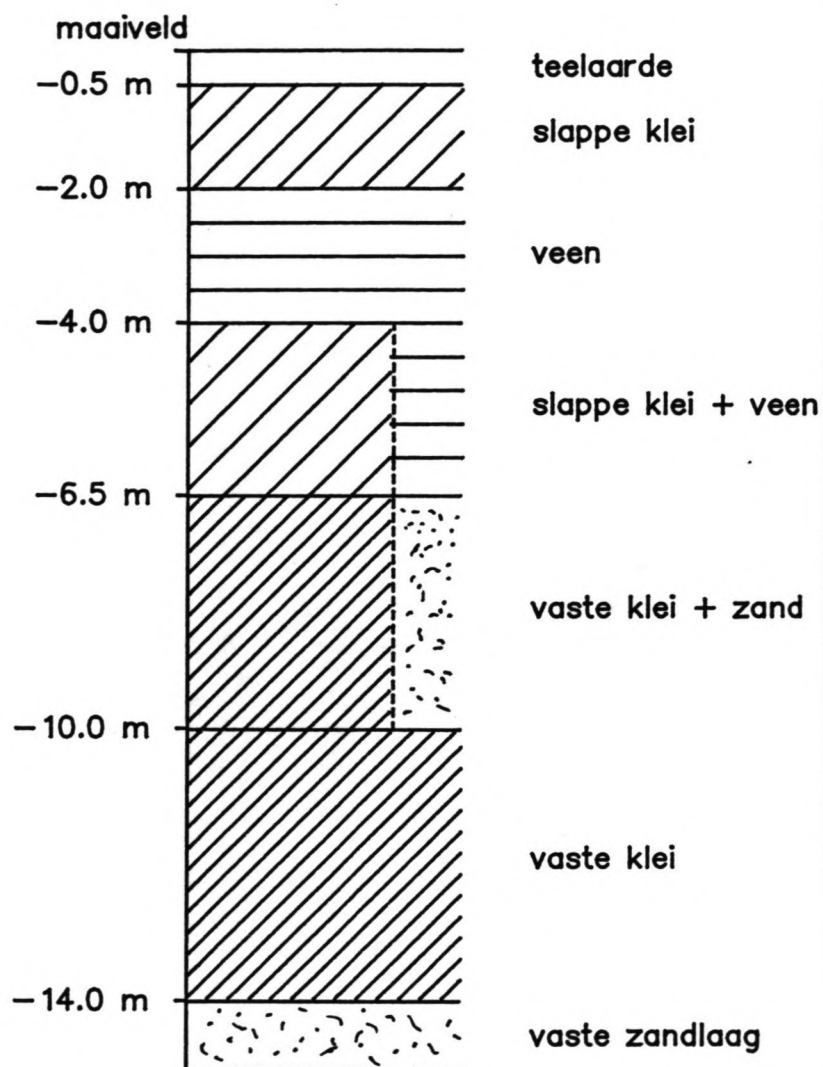
$$\phi = 25^\circ$$

$$\gamma_d = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Voor de kerende hoogte van 3,0 en 6,0 meter is het grondprofiel hieronder afgebeeld. Onder deze figuur B2 zijn de grondgegevens weergegeven.



figuur B2: grondprofiel voor kerende hoogte: 3,0 en 6,0 m.

* teelaarde (1):

$$\phi = 25^\circ$$

$$\gamma_d = 15,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0,0 \text{ kN/m}^2$$

* slappe klei (2):

$$\phi = 22^\circ$$

$$\gamma_d = 12,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 17,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

* veen (3):

$$\phi = 14^{\circ}$$

$$\gamma_d = 2,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 10,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

* slappe klei + veen (4):

$$\phi = 20^{\circ}$$

$$\gamma_d = 11,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 16,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 2,6 \text{ kN/m}^2$$

* vaste klei + zand (5):

$$\phi = 27^{\circ}$$

$$\gamma_d = 13,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 18,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

* vaste klei (6):

$$\phi = 25^{\circ}$$

$$\gamma_d = 12,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 17,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

* vaste zandlaag (7):

$$\phi = 30^{\circ}$$

$$\gamma_d = 15,0 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_n = 19,0 \text{ kN/m}^3$$

$$c = 0,0 \text{ kN/m}^2$$

Het optredend moment en de horizontale spanningen (voor de gronddruk en de ankerkracht) zijn bepaald aan de hand van de grondgegevens, de waterstanden (grondwaterstand en kanaalpeil) en de horizontale gronddrukcoëfficiënt. Deze laatste is voor de actieve gronddruk vastgesteld op 0,35 en voor de passieve gronddruk op 3,0 (beide gemiddelde waarden). Normaliter is deze coëfficiënt afhankelijk van de grondsoort maar voor deze studie is een vereenvoudiging aangehouden. Alvorens de horizontale gronddrukken te berekenen, zijn eerst de waterstanden bekeken.

Deze zijn voor iedere hoogte verschillend:

- * hoogte 0,5 meter:
 - grondwaterstand gelijk aan maaiveld;
 - kanaalpeil op 0,3 m beneden maaiveld;
 - 0,3 m slib op kanaalbodem.
- * hoogte 1,0 meter:
 - grondwaterstand als bij 0,5 meter hoogte;
 - kanaalpeil op 0,4 m beneden maaiveld;
 - 0,3 m slib op kanaalbodem.
- * hoogte 3,0 meter:
 - grondwaterstand op 0,3 m beneden maaiveld;
 - kanaalpeil op 1,0 m beneden maaiveld;
 - 1,0 m slib op kanaalbodem.
- * hoogte 6,0 meter:
 - grondwaterstand als bij 3,0 meter hoogte;
 - kanaalpeil op 2,3 m beneden maaiveld;
 - 1,0 m slib op kanaalbodem.

De dikte van de laag slib op de bodem is afhankelijk van het type vaarweg en de mate van stroming daarin. Er is verondersteld dat deze dikte gering is bij kleine kanalen, sloten en singels (hoogte 0,5 en 1,0 meter). Bij grotere vaarwegen is voor deze dikte een hogere waarde aangehouden.

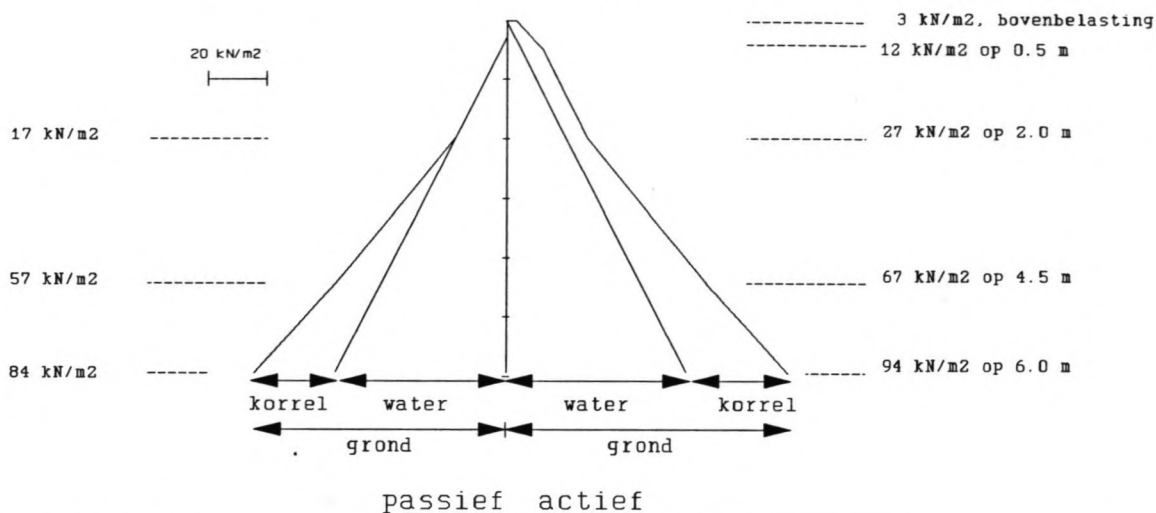
Bij elk grondprofiel en kerende hoogte is het maximale moment ($M_{\max}$ [kNm] per m oever), de inheidiepte (L) en eventuele ankerkracht (F_{ank} [kN] per m oever) bepaald. Het moment en de inheidiepte zijn bepalend voor de afmetingen van de verschillende alternatieven. De resulterende horizontale gronddruk (q_{hor} [kN/m²]) is bepalend voor de afmetingen van de plankjes en de flenzen van de stijlen bij de alternatieven 2 en 4.

De verticale en horizontale grondspanningen zijn voor elke hoogte in de figuren op de volgende bladzijden weergegeven, alsmede de inheidiepte, het moment en de resulterende horizontale gronddruk. Deze laatste alsmede de horizontale grondspanningen zijn, bij alle hoogten behalve 6,0 meter, weergegeven voor het aangevulde grondprofiel. Omdat de alternatieven 2 en 4 (waarvoor de horizontale gronddruk is berekend) worden uitgevoerd door eerst de grond te ontgraven en na het plaatsen van de planken en palen de grond achter de wand aan te vullen, dient rekening gehouden te worden met een geroerd grondprofiel. Dit is verwerkt in de berekeningen van de horizontale spanningen en -gronddruk.

Bij het bepalen van de inheidiepte is onderscheid gemaakt tussen doorlopende damwandplanken en het palen/planken-principe (alternatief 2 en 4). Dit is gedaan omdat bij doorlopende damwandplanken meer passieve gronddruk optreedt (tegen de gehele wand). Bij het palen/planken-principe werkt de passieve gronddruk alleen tegen de palen waardoor deze tot grotere diepte moeten worden aangebracht. Het moment is ook verschillend omdat bij de damwandplanken het grondprofiel gehandhaafd blijft (eerst wordt de damwandplank geplaatst waarna de grond aan de voorzijde van de wand weggegraven wordt tot de kanaalbodem) en bij het palen/planken-principe de grond erachter wordt aangevuld na het plaatsen van de planken ("geroerd" grondprofiel).

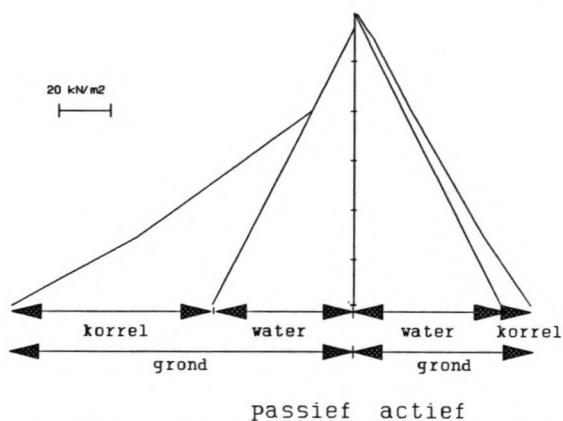
Tevens is zowel een onverankerde als een verankerde damwand bekeken, indien dit mogelijk was. Het resultaat is bij iedere hoogte weergegeven onder de figuren.

Verticale grondspanningen

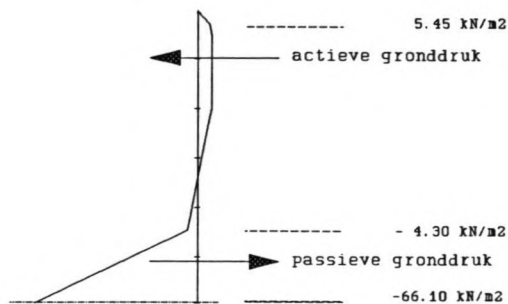


figuur B3: Verticale grondspanning bij kerende hoogte 0,5 meter.

Horizontale grondspanningen



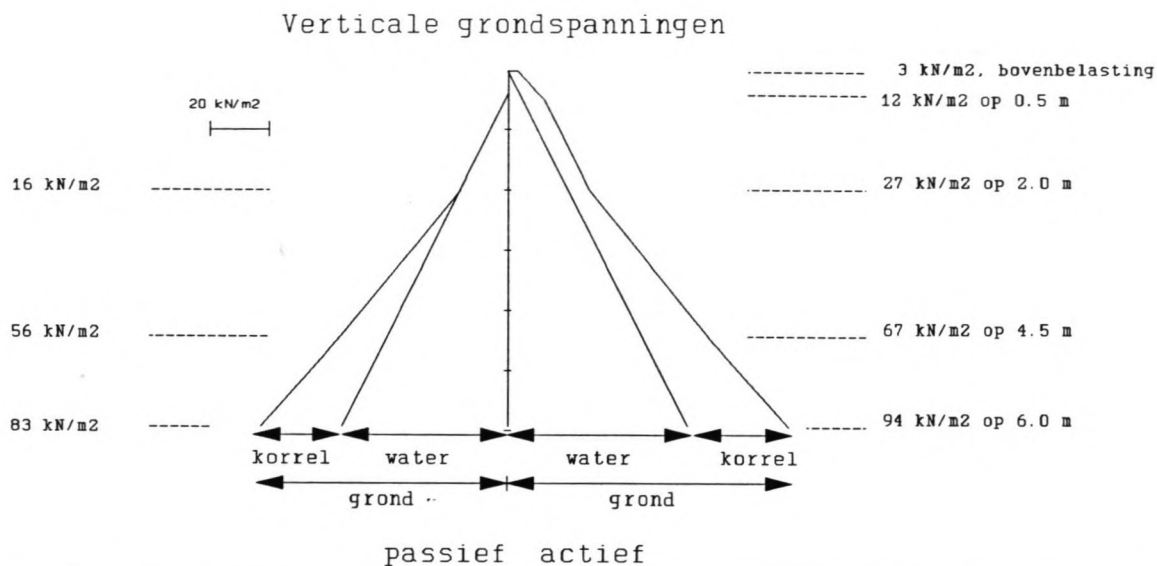
resulterende gronddruk



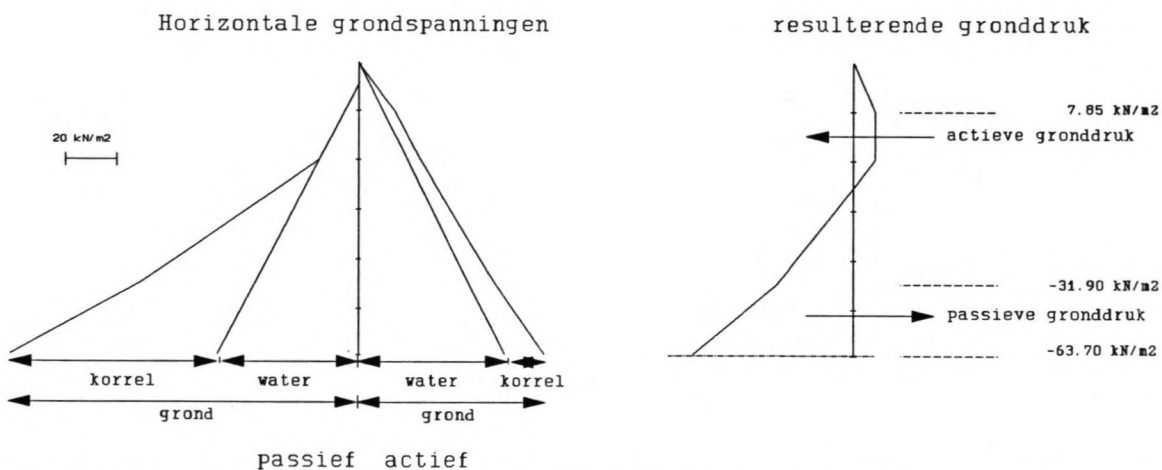
figuur B4: Horizontale grondspanning en -druk, hoogte 0,5 meter, aangevuld grondprofiel.

Resumé:

- Damwandplanken:
 - verankerd: $M_{max} = \pm 0,5 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 2,5 \text{ m}$
 $F_{ank} = 1,0 \text{ kN} / \text{m oever}$
 - onverankerd: $M_{max} = - 1,8 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 3,0 \text{ m}$
- Palen:
 - verankerd: $M_{max} = \pm 0,5 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 3,5 \text{ m}$
 $F_{ank} = 3,5 \text{ kN} / \text{m oever}$
 - onverankerd: $M_{max} = - 1,8 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 6,5 \text{ m}$
- Planken: $q_{hor} = 5,5 \text{ kN/m}^2$



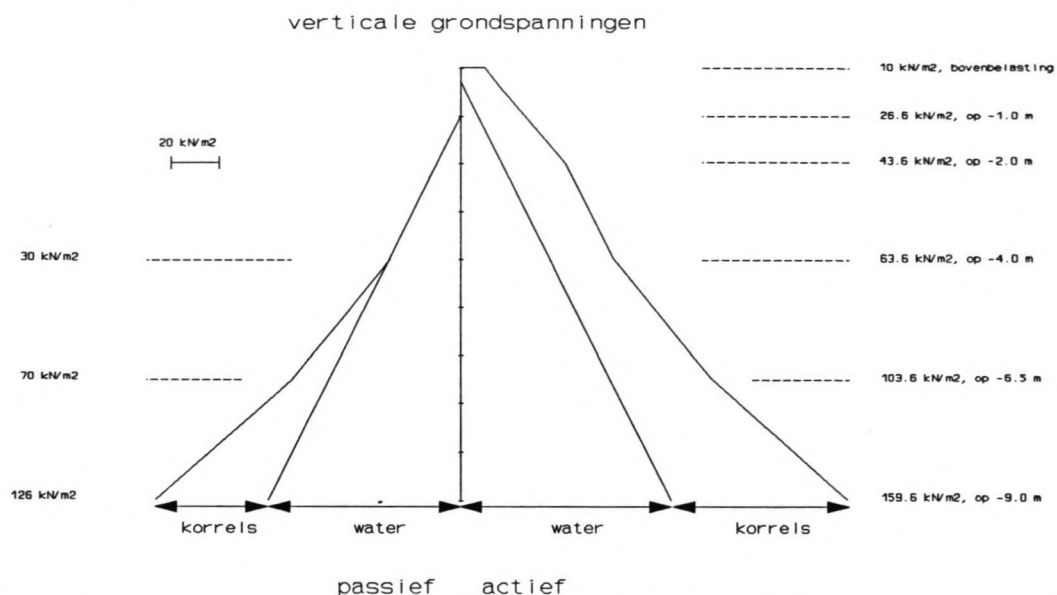
figuur B5: Verticale grondspanning bij kerende hoogte 1,0 meter.



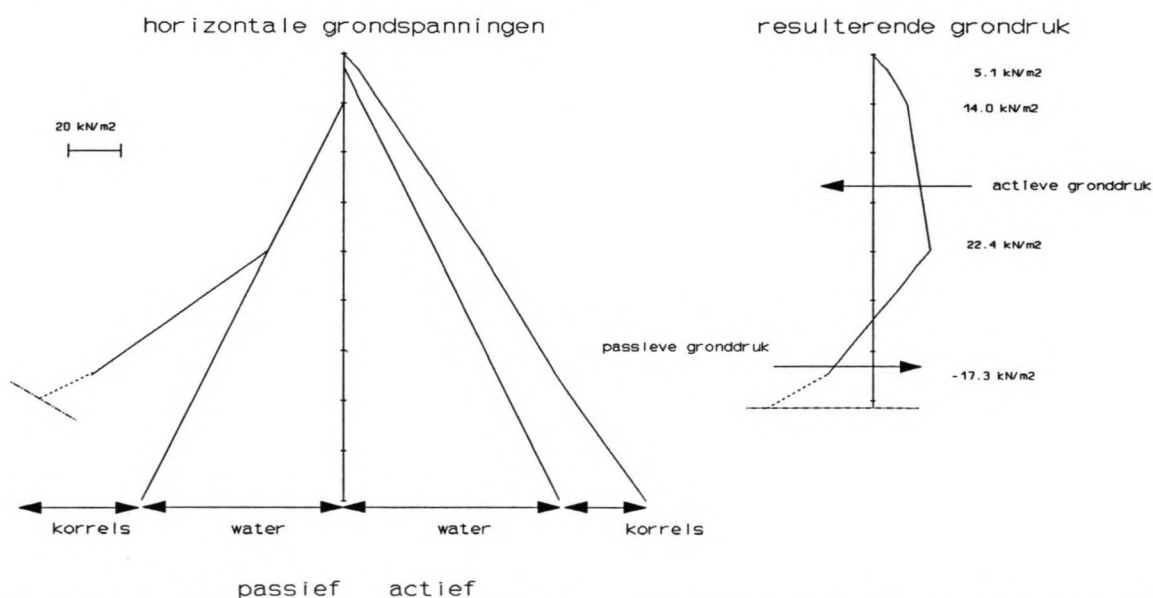
figuur B6: Horizontale grondspanning en -druk, hoogte 1,0 meter, aangevuld grondprofiel.

Resumé:

- Damwandplanken:
 - verankerd: $M_{\max} = \pm 1,0 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 3,0 \text{ m}$
 $F_{\text{ank}} = 3,5 \text{ kN} / \text{m oever}$
 - onverankerd: $M_{\max} = - 8,0 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 4,0 \text{ m}$
- Palen:
 - verankerd: $M_{\max} = \pm 1,6 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 3,8 \text{ m}$
 $F_{\text{ank}} = 5,4 \text{ kN} / \text{m oever}$
 - onverankerd: $M_{\max} = -10,0 \text{ kNm} / \text{m oever}$
 $L = 6,5 \text{ m}$
- Planken: $q_{\text{hor}} = 8,0 \text{ kN/m}^2$



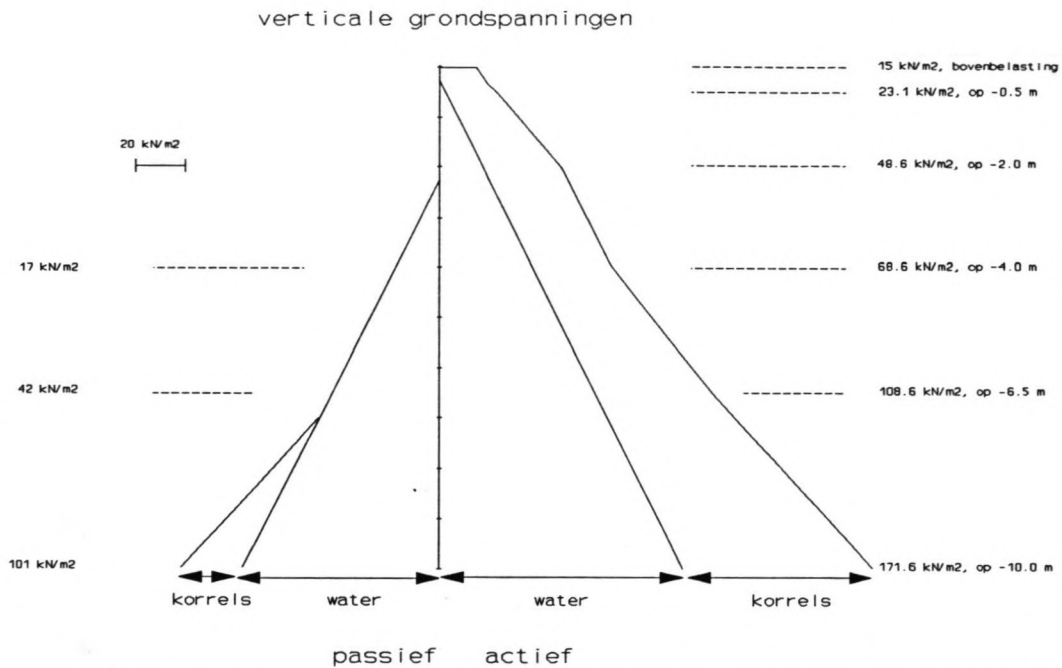
figuur B7: Verticale grondspanning bij kerende hoogte 3,0 meter.



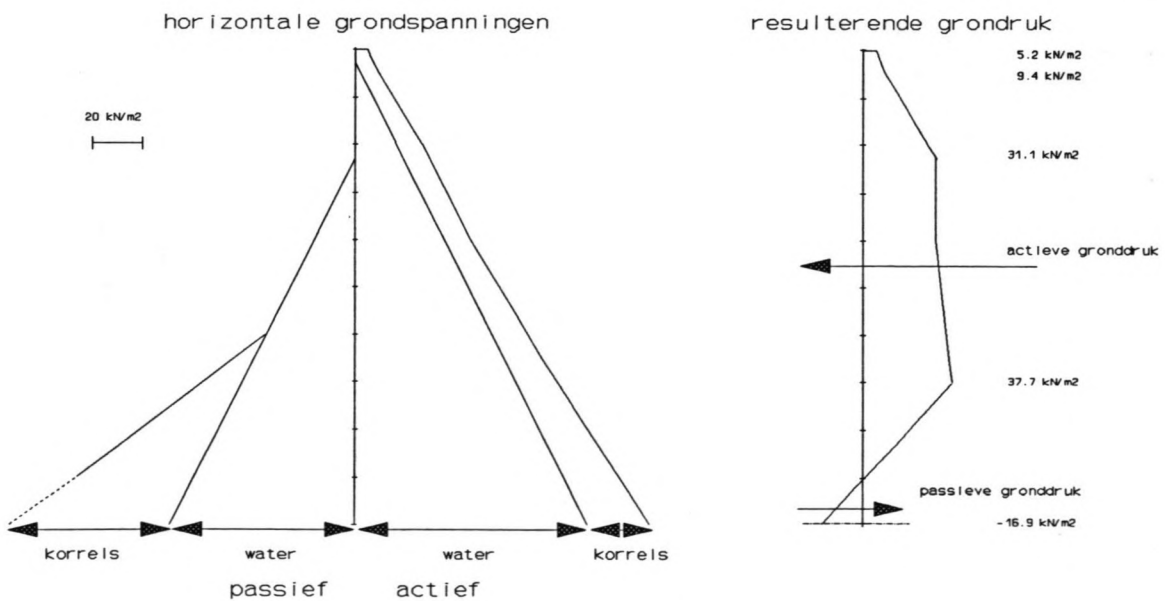
figuur B8: Horizontale grondspanning en -druk, hoogte 3,0 meter, aangevuld grondprofiel.

Resumé:

- Damwandplanken:
 - verankerd: $M_{\max} = \pm 35,0 \text{ kNm} / \text{m oever}; L = 8,5 \text{ m}$
 $F_{\text{ank}} = 40,0 \text{ kN} / \text{m oever}$
 - onverankerd: $M_{\max} = -300,0 \text{ kNm} / \text{m oever}; L = 12,0 \text{ m}$
- Palen:
 - verankerd: $M_{\max} = \pm 50,0 \text{ kNm} / \text{m oever}; L = 9,0 \text{ m}$
 $F_{\text{ank}} = 45,0 \text{ kN} / \text{m oever}$
- Planken: $q_{\text{hor}} = 20,0 \text{ kN/m}^2$



figuur B9: Verticale grondspanning bij kerende hoogte 6,0 meter.



figuur B10: Horizontale grondspanning en -druk, hoogte 6,0 meter, normale grondprofiel.

Resumé:

• Damwandplanken:

- verankerd: $M_{\max} = \pm 170,0 \text{ kNm / m oever; } L = 14,5 \text{ m}$
 $F_{\text{ank}} = 150,0 \text{ kN / m oever}$
- onverankerd: $M_{\max} = -1880,0 \text{ kNm / m oever; } L = 20,7 \text{ m}$

BIJLAGE 2: Wegingsmethode criteria

Om een eerlijke verhouding tussen de verschillende criteria aan te geven, is gebruik gemaakt van wegingstabellen. Deze tabellen zijn voor iedere hoogte anders, omdat voor elke hoogte andere criteria belangrijk zijn. Bij elke hoogte zijn op deze manier de gewichten voor de criteria gevonden waarop de alternatieven beoordeeld zijn.

De wegingstabellen zijn als volgt samengesteld:

Criterium 1 is vergeleken met 2 en het onderlinge verschil in belang is met behulp van cijfers van nul tot tien aangegeven. Zijn beide criteria even belangrijk dan krijgen ze beide het cijfer *vijf*. Is de één belangrijker dan krijgt deze een cijfer hoger dan vijf afhankelijk van de mate het verschil van belang (een *zes* bij weinig en een *negen* bij zeer groot verschil). Het andere criterium krijgt dan een cijfer lager dan vijf, namelijk het verschil tussen *tien* en dat cijfer (dus een *vier* bij weinig en een *één* bij een groot verschil). Dit is gedaan bij alle tien criteria en elke hoogte. Het gewicht van een bepaald criterium is verkregen door alle "verhoudings"-cijfers van dat criterium te sommeren en door negen te delen.

Als nummering is dezelfde aangehouden als in paragraaf 3.3. Voor de duidelijkheid zijn de criteria hieronder nog eens weergegeven.

1. "Plaatsing" van de profielen
2. Vervaardiging van de profielen
3. Transport/opslagruimte
4. Gewicht/afmetingen
5. Mogelijkheid aanbrengen anker
6. Esthetische waarde
7. Grond dichtheid
8. Gevoeligheid voor mechanische schade
9. Schadegevoeligheid bij transport
10. Opname moment/krachten.

Op de volgende twee bladzijden zijn deze criteria tegen elkaar uitgezet in vier tabellen (voor elke kerende hoogte). Daarna zijn enkele opmerkingen gegeven bij de tabellen om duidelijkheid te geven over de verschillende gewichten.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gew.
1	0	8	8	2	9	6	3	4	8	7	6,1
2	2	0	7	2	8	4	3	2	7	6	4,6
3	2	3	0	1	8	4	1	2	7	6	3,8
4	8	8	9	0	10	7	3	4	8	8	7,2
5	1	2	2	0	0	1	1	1	2	3	1,4
6	4	6	6	3	9	0	3	4	6	7	5,3
7	7	7	9	7	9	7	0	7	8	8	7,7
8	6	8	8	6	9	6	3	0	6	6	6,4
9	2	3	3	2	8	4	2	4	0	3	3,4
10	3	4	4	2	7	3	2	4	7	0	4,0

Tabel B1: Kerende hoogte 0,5 meter.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gew.
1	0	8	8	3	9	6	2	2	7	6	5,7
2	2	0	6	3	7	5	2	2	6	4	4,1
3	2	4	0	1	7	4	1	2	5	4	3,3
4	7	7	9	0	8	7	2	2	7	6	6,1
5	1	3	3	2	0	4	1	1	2	4	2,3
6	4	5	6	3	6	0	2	3	6	8	4,8
7	8	8	9	8	9	8	0	7	9	8	8,2
8	8	8	8	8	9	7	3	0	9	8	7,6
9	3	4	5	3	8	4	1	1	0	4	3,7
10	4	6	6	4	6	2	2	2	6	0	4,2

Tabel B2: Kerende hoogte 1,0 meter

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gew.
1	0	9	9	6	6	8	1	2	6	4	5,7
2	1	0	5	3	2	5	1	1	3	1	2,4
3	1	5	0	2	2	5	0	1	3	1	2,2
4	4	7	8	0	4	6	1	2	5	2	4,3
5	4	8	8	6	0	7	1	2	7	5	5,3
6	2	5	5	4	3	0	1	1	4	2	3,0
7	9	9	10	9	9	9	0	7	9	9	8,9
8	8	9	9	8	8	9	3	0	8	8	7,8
9	4	7	7	5	3	6	1	2	0	2	4,1
10	6	9	9	8	5	8	1	2	8	0	6,2

Tabel B3: Kerende hoogte 3,0 meter

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gew.
1	0	8	8	8	3	9	1	2	6	3	5,3
2	2	0	5	2	1	5	0	0	2	1	2,0
3	2	5	0	2	1	5	0	0	3	1	2,1
4	2	8	8	0	2	6	0	0	3	1	3,3
5	7	9	9	8	0	9	2	3	8	6	6,8
6	1	5	5	4	1	0	0	0	2	1	2,1
7	9	10	10	10	8	10	0	7	10	8	9,1
8	8	10	10	10	7	10	3	0	9	7	8,2
9	4	8	7	7	2	8	0	1	0	3	4,4
10	7	9	9	9	4	9	2	3	7	0	6,6

Tabel B4: Kerende hoogte 6,0 meter.

Opmerkingen bij de tabellen:

- De tolerantie bij de uitvoering is bij iedere hoogte vrijwel gelijk en redelijk belangrijk (lekkage damwand is fataal, niet in lijn staan van de damwand is slecht gezicht). Bij kleine hoogte, vanwege het grote repetitie-effect en de mate van eenvoud van de uitvoering (er is weinig speciaal materieel op het werk en de uitvoering moet dus eenvoudig zijn), is dit criterium toch iets belangrijker dan bij grote hoogte.
- Bij grote profielen zijn de malkosten een klein deel van de totale fabricagekosten vergeleken bij kleine profielen. Dit criterium heeft dan ook bij lage oevers (0,5 en 1,0 meter) een hoger gewicht dan bij de hogere oevers.
- Criterium 3 heeft een laag gewicht omdat de transportkosten een klein deel van de totale kosten vormen (zie ook hoofdstuk 7). De hoeveelheid "lege"-ruimte bij transport en opslag (dit is nadelig voor de kosten) is voor kleine profielen (grote hoeveelheden in één keer te vervoeren) belangrijker dan bij de grote profielen.
- Heel duidelijk mag zijn dat criterium 4 vooral bij de kleine hoogten van groot belang is. Bij deze hoogten bestaat de uitvoering uit veel handwerk en is de noodzaak van lichte elementen zeer hoog. Bij grotere hoogte is zwaarder materieel nodig (alleen al voor het heiwerk) en is het gewicht niet echt belangrijk.
- Het verankeren is niet noodzakelijk bij kleine kerende hoogte en daarom heeft dit criterium bij deze hoogte een laag gewicht. Bij een hoogte van 6,0 meter is een anker onmisbaar en is het gewicht van criterium 5 veel hoger.
- Over de esthetische waarde is weinig te zeggen. Er is reeds vermeldt dat dit een zeer persoonlijke zaak is en dat in dit geval gelet is op gekromde of geknikte vlakken. In stedelijke gebieden is het uiterlijk van de oeververdediging belangrijker dan in havens of langs grote kanalen.
- De grondichtheid is net als de tolerantie bij de uitvoering van groot belang bij damwanden aangezien dit één van de functies is (voor de functie van de oeverbescherming, zie literatuur [1]). Bij grotere oevers is dit echter belangrijker omdat de gevolgen van lekkage groter (grotere financiële consequenties, maatschappelijke gevolgen) zijn. Bij kleine oevers is de damwand eenvoudiger te repareren en is de schade kleiner.
- Gevoeligheid voor mechanische schade is evenals de grondichtheid van groot belang bij alle oevers aangezien dit tot het falen van de damwand kan leiden. Ook dit criterium heeft bij grotere oevers een hoger gewicht om dezelfde reden als hierboven beschreven.

- Indien een groot en zwaar profiel beschadigt voordat het is aangebracht, is de kapitaalvernietiging zeer groot. Bij kleine damwanden is dit minder ernstig omdat deze goedkoper zijn. Dit is terug te vinden in de gewichten van criterium 9 bij de verschillende hoogten.
- Bij het groter worden van de optredende krachten en het moment, krijgt het bijbehorende criterium (10) een groter gewicht. Ook is te zien dat het verschil tussen hoogte 0,5 en 1,0 meter klein is (weinig verschil in moment en krachten).

De resultaten van deze wegingsmethode zijn gebruikt voor de multi-criteria-analyse die is uitgevoerd voor de verschillende alternatieven (zie ook hoofdstuk 5 en bijlage 3).

Er moet in acht worden genomen dat een verandering in de verhoudingscijfers tussen de verschillende criteria, andere gewichten veroorzaakt. Het voordeel is wel dat een verandering van één of twee verhoudingen geen grote variatie geeft. Een voorbeeld hiervan is in de onderstaande tabel, voor de kerende hoogte 1,0 meter, weergegeven. De **vet** gedrukte cijfers zijn veranderd en ook de nieuwe gewichten zijn gegeven. Uiteraard is het mogelijk dat andere verhoudingen veranderen maar dit is als voorbeeld bedoeld om de verschuivingen aan te geven. De veranderingen in de multi-criteria-analyse zijn gegeven in de volgende bijlage.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gew.
1	0	8	8	3	9	6	2	2	7	6	5,7
2	2	0	6	3	7	5	2	2	6	4	4,1
3	2	4	0	1	7	4	1	2	5	4	3,3
4	7	7	9	0	8	7	8	2	7	6	6,8
5	1	3	3	2	0	4	1	1	2	4	2,3
6	4	5	6	3	6	0	2	3	6	1	4,0
7	8	8	9	2	9	8	0	7	9	8	7,6
8	8	8	8	8	9	7	3	0	9	8	7,6
9	3	4	5	3	8	4	1	1	0	4	3,7
10	4	6	6	4	6	9	2	2	6	0	5,0

Tabel B5: Kerende hoogte 1,0 meter, verandering verhoudingen

Duidelijk is te zien dat de veranderingen zeer gering zijn. Bovendien is hier een extreem geval (totale "omdraaiing" van de verhouding) beschouwd, terwijl het waarschijnlijker is dat deze veranderingen kleiner zijn.

BIJLAGE 3: Multi-criteria-analyse

Om tot een goede keuze te komen op basis van een multi-criteria-analyse is het van belang deze criteria te kwantificeren voor elk alternatief. In hoofdstuk 3 is aangegeven waarop de alternatieven zijn beoordeeld. In de onderstaande tabel zijn de criteria nog eens weergegeven. Bij elk criterium is aangegeven op welke wijze is beoordeeld (indien dit mogelijk is).

Criteria:		Beoordeling:	Kwantificatie
1	"Plaatsing" profielen	gevolgen van scheefstand (damplank trekken en opnieuwen, financiële consequenties)	
2	Vervaardiging profielen	kosten van de mal (eenvoudige mal goedkoper) en benodigde manuren	mal- en arbeidskosten
3	Transport-/opslagruimte	hoeveelheid lucht tussen het aantal profielen benodigd voor een meter oever (hoe minder hoe beter)	m ³ "lege" ruimte
4	Afmetingen/gewicht	afmetingen en gewicht van de elementen	maximum te tillen gewicht
5	Aanbrengen anker	hoeveelheid ruimte voor het plaatsen van de wapening + anker (hoe ruimer hoe beter)	
6	Esthetische waarde	onderbroken oppervlakten	
7	Grond-dichtheid	lengte van de voegen per meter verdedigde oever voor eventuele lekkage (hoe minder kans op lekkage hoe beter)	totale lengte voeg per meter oever
8	Gevoeligheid mechanische schade	gevolgen van scheuren, mogelijkheden voor reparatie en kosten daarvan (incl. kostprijs element)	
9	Gevoeligheid transport schade	fabricagekosten van het alternatief	kosten per meter oever
10	Opnamecap. moment en krachten	weerstandsmomenten van de stijlen of damplanken	grootte van het weerstandsmoment

Tabel B6: Beoordelingsnormen en kwantificatie voor de criteria

De criteria 6 en 8 zijn moeilijk te kwantificeren (criterium 6 vanwege persoonlijke voorkeur en 8 vanwege op dit moment moeilijk in te schatten kosten). De overige criteria zijn zoveel mogelijk gekwantificeerd (de

In de tabellen op de volgende bladzijden is de waardering van de alternatieven bij elk criterium en de totaalscore aangegeven. Daarna is een toelichting gegeven over de kenmerken en de waardering van elk profiel. De kenmerken van de profielen zijn voor een lage en een hoge oever bekeken omdat deze voor beide oevers veel verschillen. De waardering voor de hoogten 0,5 en 1,0 meter zijn gerelateerd aan de kenmerken bij de lage oever. De waardering voor de andere hoogten zijn bepaald aan de hand van de kenmerken bij de hoge oever.

ALT.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CRIT.:									
1	4	6	5	7	8	8	8	8	6
2	6	9	7	9	6	5	3	8	4
3	5	8	5	9	4	7	6	9	6
4	8	9	8	9	7	3	2	6	1
5	6	6	6	4	6	8	7	7	8
6	9	7	8	7	6	8	8	6	8
7	5	6	5	6	8	9	9	8	9
8	7	9	7	6	7	7	7	7	5
9	5	9	6	8	7	7	3	8	2
10	6	6	6	3	9	9	7	7	9
Totaal	306	370	319	345	339	338	295	361	274

Tabel B7: Kerende hoogte 0,5 meter

ALT.: CRIT.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	6	5	7	8	8	8	8	6
2	6	9	7	9	6	5	3	8	4
3	5	8	5	9	4	7	6	9	6
4	8	9	8	9	7	3	2	6	1
5	6	6	6	4	6	8	7	7	8
6	9	7	8	7	6	8	8	6	8
7	5	6	5	6	8	9	9	8	9
8	7	9	7	6	7	7	7	7	5
9	5	9	6	8	7	7	3	8	2
10	6	6	6	3	9	9	7	7	9
Totaal	305	369	316	336	341	344	301	363	281

Tabel B8: Kerende hoogte 1,0 meter

ALT.: CRIT.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	6	5	7	8	8	8	8	6
2	7	9	8	8	5	6	3	9	1
3	6	7	6	7	4	5	5	8	5
4	8	8	8	9	9	4	3	1	2
5	7	7	7	4	7	8	7	7	7
6	9	7	8	7	6	8	8	6	8
7	5	6	5	7	8	9	9	8	9
8	7	8	7	5	7	8	6	5	4
9	7	8	7	6	9	9	5	1	2
10	6	6	6	3	9	9	7	7	9
Totaal	301	338	306	291	368	377	317	297	281

Tabel B9: Kerende hoogte 3,0 meter

ALT.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CRIT.:									
1	4	6	5	7	8	8	8	8	6
2	7	9	8	8	5	6	3	9	1
3	6	7	6	7	4	5	5	8	5
4	8	8	8	9	9	4	3	1	2
5	7	7	7	4	7	8	7	7	7
6	9	7	8	7	6	8	8	6	8
7	5	6	5	7	8	9	9	8	9
8	7	8	7	5	7	8	6	5	4
9	7	8	7	6	9	9	5	1	2
10	6	6	6	3	9	9	7	7	9
Totaal	299	336	304	282	369	383	322	300	287

Tabel B10: Kerende hoogte 6,0 meter

Voor de toelichting bij de tabellen zijn de kenmerken van de alternatieven beschreven. De afmetingen van de profielen zijn bepaald aan de hand van globale ontwerpberoeeningen. Bij deze berekeningen zijn de afmetingen gekozen, waarna de benodigde hoeveelheid ARAPREE is berekend met behulp van de formule:

$$A_a = \frac{M \cdot \gamma}{\frac{f_{act}}{\gamma_a} \cdot h^*}$$

Bij deze berekeningen zijn de profielgegevens, benodigd voor de kenmerken, bepaald (gewicht, minimum weerstandsmoment). Ook zijn algemene eigenschappen voor het profiel (hoeveelheid "lege" ruimte bij vervoer, kosten voor arbeid + mal en voor het totaal) bepaald.

Hieronder is voor elk alternatief een beschrijving gegeven van deze kenmerken met betrekking tot de criteria. Dit is gedaan voor zowel de lage als de hoge oever. Voor die criteria die moeilijk of niet te kwantificeren zijn, is aangegeven hoe de waardering van het desbetreffende alternatief tot stand is gekomen. De kenmerken zijn op de volgende bladzijden beschreven.

• Alternatief 1:

* *lage oever:*

1. vanwege de kromming van de planken, moeten deze exact in de hoeken van de stijlen geplaatst zijn voor de juiste krachtsafdracht; kleine tolerantie voor het plaatsen van de stijlen;
2. arbeids- en malkosten: Fl 59,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,187 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 134 kilogram,
gewicht plank: 20 kilogram;
5. minimum lijfdikte voor de stijl: $\approx 50 \text{ mm}$;
6. hoge esthetisch waarde;
7. totale voeglengte: 8 meter;
8. planken zijn eenvoudig te verwisselen bij beschadiging, voor de stijlen is dit moeilijker;
9. fabricagekosten: Fl 161,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 4,6 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 1,6 \text{ kNm}$,
planken nemen alleen druk op (drukboog) maar moeten wel gewapend/voorgespannen zijn in verband met schade.

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 209,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $1,156 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 1287 kilogram,
gewicht plank: 72 kilogram;
5. zie boven, echter de eisen van de sterkte zijn strenger (dikte lijf $\geq 60 \text{ mm}$);
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 13,2 meter;
8. vanwege de grote hoogte zijn de planken nu moeilijker te verwisselen, bovendien is de kans op schade groter (zwaardere schepen) bij de relatief dunne planken (60 mm); voor de stijlen geldt hetzelfde als bij de lage oever;
9. fabricagekosten: Fl 1693,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 50 \text{ kNm}$;

• Alternatief 2:

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de stijlen is groter dan

bij 1 omdat de planken niet in de hoeken van de stijlen moeten geplaatst zijn (als de planken maar achter de flenzen geplaatst zijn);

2. arbeids- en malkosten: Fl 33,50 per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,087 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 128 kilogram,
gewicht plank: 16 kilogram;
5. minimum lijfdikte voor de stijl: $\approx 50 \text{ mm}$;
6. matige esthetisch waarde;
7. totale voeglengte: 7 meter;
8. de rechte planken kunnen meer krachten opnemen en zijn goedkoper dan de gebogen planken (meer voorspanning) en zijn op dezelfde wijze te vervangen, voor de stijlen is dit moeilijker;
9. fabricagekosten: Fl 121,50 per meter oever;
10. $W_{\min} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 1,6 \text{ kNm}$,
planken zijn voorgespannen en kunnen meer moment opnemen dan de gebogen planken van alternatief 1;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 143,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $0,87 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 1287 kilogram,
gewicht plank: 54 kilogram;
5. zie boven, echter de eisen van de sterkte zijn strenger (dikte lijf $\geq 60 \text{ mm}$);
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 12,0 meter;
8. vanwege de grote hoogte zijn de planken nu moeilijker te verwisselen, bovendien is de kans op schade groter, bij de relatief dunne planken (60 mm), wel minder dan bij 1; voor de stijlen geldt hetzelfde als bij de lage oever;
9. fabricagekosten: Fl 1626,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 50 \text{ kNm}$;

• **Alternatief 3:**

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de stijlen is groter dan bij 1 omdat de planken niet in de hoeken van de stijlen moeten geplaatst zijn maar wel lager dan bij 2, vanwege de specifieke

krachtsafdracht (in de schuine vlakken alleen druk) moeten deze schuine vlakken aansluiten op de flenzen van de stijl (om een moment in de uiterste delen van de plank te vermijden, daar zijn deze niet op gewapend);

2. arbeids- en malkosten: Fl 50,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,197 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 130 kilogram,
gewicht plank: 19 kilogram;
5. minimum lijfdikte voor de stijl: $\approx 50 \text{ mm}$;
6. redelijke esthetisch waarde;
7. totale voeglengte: 7,5 meter;
8. gelijk aan alternatief 1;
9. fabricagekosten: Fl 150,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 4,1 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 1,6 \text{ kNm}$,
planken zijn alleen in het middelste gedeelte voorgespannen en kunnen minder moment opnemen dan de rechte planken van alternatief 2;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 177,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $1,16 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 1287 kilogram,
gewicht plank: 66 kilogram;
5. zie boven, echter de eisen van de sterkte zijn strenger (dikte lijf $\geq 60 \text{ mm}$);
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 12,6 meter;
8. vanwege de grote hoogte zijn de planken nu moeilijker te verwisselen, bovendien is de kans op schade groter, bij de relatief dunne planken (60 mm), wel minder dan bij 1; voor de stijlen geldt hetzelfde als bij de lage oever;
9. fabricagekosten: Fl 1672,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 50 \text{ kNm}$;

• Alternatief 4:

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de stijlen is groter dan bij de vorige alternatieven omdat de planken achter de stijlen geplaatst zijn, het doorvoeren van de ankerstang is goed

mogelijk door de sparing in de planken groter te maken dan die in de stijl;

2. arbeids- en malkosten: Fl 28,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,059 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 80 kilogram,
gewicht plank: 17 kilogram;
5. minimum dikte voor de stijl: $\approx 80 \text{ mm}$ (inclusief vrije ruimte voor de voorspanstaven);
6. esthetisch waarde gelijk aan 2;
7. totale voeglengte: 6,0 meter;
8. bij het bezwijken van een plank is het vervangen ervan moeilijk door de stapeling van de planken (halfsteens verband), ook moet de ankerstang worden verwijderd;
9. fabricagekosten: Fl 135,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 0,8 \text{ kNm}$;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 173,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $0,82 \text{ m}^3$;
4. gewicht stijl: 1019 kilogram,
gewicht plank: 60 kilogram;
5. zie boven, echter de eisen van de sterkte zijn strenger (dikte lijf $\geq 60 \text{ mm}$);
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 9,0 meter;
8. vanwege de grote hoogte zijn de planken nu moeilijker te verwisselen, bovendien is de kans op schade groter, bij de relatief dunne planken (50 mm), wel minder dan bij 1; voor de stijlen geldt hetzelfde als bij de lage oever;
9. fabricagekosten: Fl 1710,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 25 \text{ kNm}$;

• **Alternatief 5:**

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de T-stijlen is groter dan bij de vorige alternatieven, door deze uit te voeren met een zoeker (afgevlakte onderkant aan één flens) wordt de te heien stijl geleid langs de vorige stijl;
2. arbeids- en malkosten: Fl 60,- per meter oever;

3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,23 \text{ m}^3$;
4. gewicht T-stijl: 161 kilogram;
5. minimum lijfdikte voor de stijl: $\approx 80 \text{ mm}$;
6. lage esthetisch waarde door het aaneen gesloten vlak;
7. totale voeglengthe: 2,0 meter;
8. bij het bezwijken van een stijl is het vervangen ervan moeilijk doordat deze tussen de andere moet worden uitgetrokken, bovendien moet de nieuwe stijl exact ertussen passen;
9. fabricagekosten: Fl 144,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 0,5 \text{ kNm}$;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 255,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $1,62 \text{ m}^3$;
4. gewicht T-stijl: 981 kilogram;
5. zie boven, echter de eisen van de sterkte zijn strenger (dikte lijf $\geq 70 \text{ mm}$);
6. zie boven;
7. totale voeglengthe: 6,0 meter;
8. zie boven, door de hoge sterkte van het profiel is het beter in staat de krachten op te nemen bij bijvoorbeeld aanvaringen dan de vorige alternatieven omdat de planken geen grote sterkte hebben;
9. fabricagekosten: Fl 1498,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 17,5 \text{ kNm}$;

• **Alternatief 6:**

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de damwandplanken is groter dan bij alternatief 5 omdat deze plank (met zoeker) makkelijker te geleiden is en goede mogelijkheden biedt om de plank te trillen;
2. arbeids- en malkosten: Fl 67,50 per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,14 \text{ m}^3$;
4. gewicht T-stijl: 389 kilogram;
5. genoeg ruimte voor het aanbrengen van een anker en de gordingen;
6. hoge esthetisch waarde;

7. totale voeglengte: 1,0 meter;
8. bij het bezwijken van een plank geldt hetzelfde als bij 5, echter dit alternatief is beter bestand tegen eventuele aanvaringen;
9. fabricagekosten: Fl 148,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 8,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de plank bij $M = 1,0 \text{ kNm}$;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 234,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: $1,25 \text{ m}^3$;
4. gewicht T-stijl: 2505 kilogram;
5. zie boven;
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 3,0 meter;
8. zie boven;
9. fabricagekosten: Fl 1498,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 6,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 35,0 \text{ kNm}$;

• **Alternatief 7:**

Dit profiel lijkt veel op dat van alternatief 7, de afmetingen van dit profiel zijn dan ook gerelateerd aan de afmetingen van de damwandplank (naar boven afgeronde waarden). Daar waar uitzonderingen gelden is dat aangegeven.

* *lage oever:*

1. zie alternatief 6, door het gebogen vlak zijn de toleranties iets lager;
2. arbeids- en malkosten: Fl 90,- per meter oever (het maken van een gebogen vlak is duurder dan een recht vlak);
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,15 \text{ m}^3$ (tussen gebogen oppervlakken is meer lege ruimte);
4. gewicht T-stijl: 400 kilogram;
5. zie alternatief 6;
6. hoge esthetisch waarde;
7. totale voeglengte: 1,0 meter;
8. zie alternatief 6, omdat dit alternatief duurder is, is het verlies (qua kosten) groter;
9. fabricagekosten: Fl 181,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de plank bij $M = 1,0 \text{ kNm}$ (lagere waarde

dan bij 6 omdat bij dit alternatief meer materiaal in het midden zit);

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 298,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: 1,30 m³ (zie boven);
4. gewicht T-stijl: 2652 kilogram;
5. zie boven;
6. zie boven;
7. totale voeglengte: 3,0 meter;
8. deze plank kan de krachten bij een aanvaring minder goed opnemen dan alternatief 6;
9. fabricagekosten: Fl 1753,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 5,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 35,0 \text{ kNm}$;

• **Alternatief 8:**

* *lage oever:*

1. de tolerantie voor het plaatsen van de damplanken is gelijk aan die van alternatief 6, het rechthoekig profiel, uitgevoerd met zoeker, is goed te sturen tijdens de plaatsing;
2. arbeids- en malkosten: Fl 37,50 per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: 0,064 m³;
4. gewicht T-stijl: 252 kilogram;
5. genoeg ruimte voor het aanbrengen van een anker en de gordingen;
6. lage esthetisch waarde (gelijk aan 5);
7. totale voeglengte: 2,0 meter;
8. bij het bezwijken van een plank geldt hetzelfde als bij 6, echter dit alternatief goedkoper waardoor het verlies (qua kosten) minder is;
9. fabricagekosten: Fl 138,- per meter oever;
10. $W_{\min} = 4,1 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de plank bij $M = 0,5 \text{ kNm}$;

* *hoge oever:*

1. zie boven;
2. arbeids- en malkosten: Fl 149,- per meter oever;
3. hoeveelheid "lege" ruimte: 0,289 m³;
4. gewicht T-stijl: 10000 kilogram (erg hoog omdat het profiel massief uitgevoerd is);

- 5. zie boven;
- 6. zie boven;
- 7. totale voeglengte: 6,0 meter;
- 8. door het grote eigen gewicht van de plank is het moeilijk te trekken waardoor de kosten van vervanging hoog zijn (ook door de hoge fabricagekosten);
- 9. fabricagekosten: Fl 3420,- per meter oever;
- 10. $W_{\min} = 3,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 17,5 \text{ kNm}$;

• Alternatief 9:

* *lage oever:*

- 1. de tolerantie voor het plaatsen van dit profiel is kleiner dan de vorige alternatieven vanwege de grote breedte (2 meter);
- 2. arbeids- en malkosten: Fl 82,50 per meter oever;
- 3. hoeveelheid "lege" ruimte tussen de profielen benodigd voor een meter oever: $0,138 \text{ m}^3$;
- 4. gewicht T-stijl: 776 kilogram;
- 5. gelijk aan 6;
- 6. redelijke esthetisch waarde (gelijk aan 5);
- 7. totale voeglengte: 0,5 meter;
- 8. bij het bezwijken van een plank is het, vanwege de grote breedte en het hoge gewicht, moeilijk om een profiel te trekken en een nieuwe te plaatsen, bovendien heeft dit alternatief hoge fabricagekosten waardoor het verlies (qua kosten) groter is;
- 9. fabricagekosten: Fl 191,- per meter oever;
- 10. $W_{\min} = 16,8 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ voor de plank bij $M = 2,0 \text{ kNm}$;

* *hoge oever:*

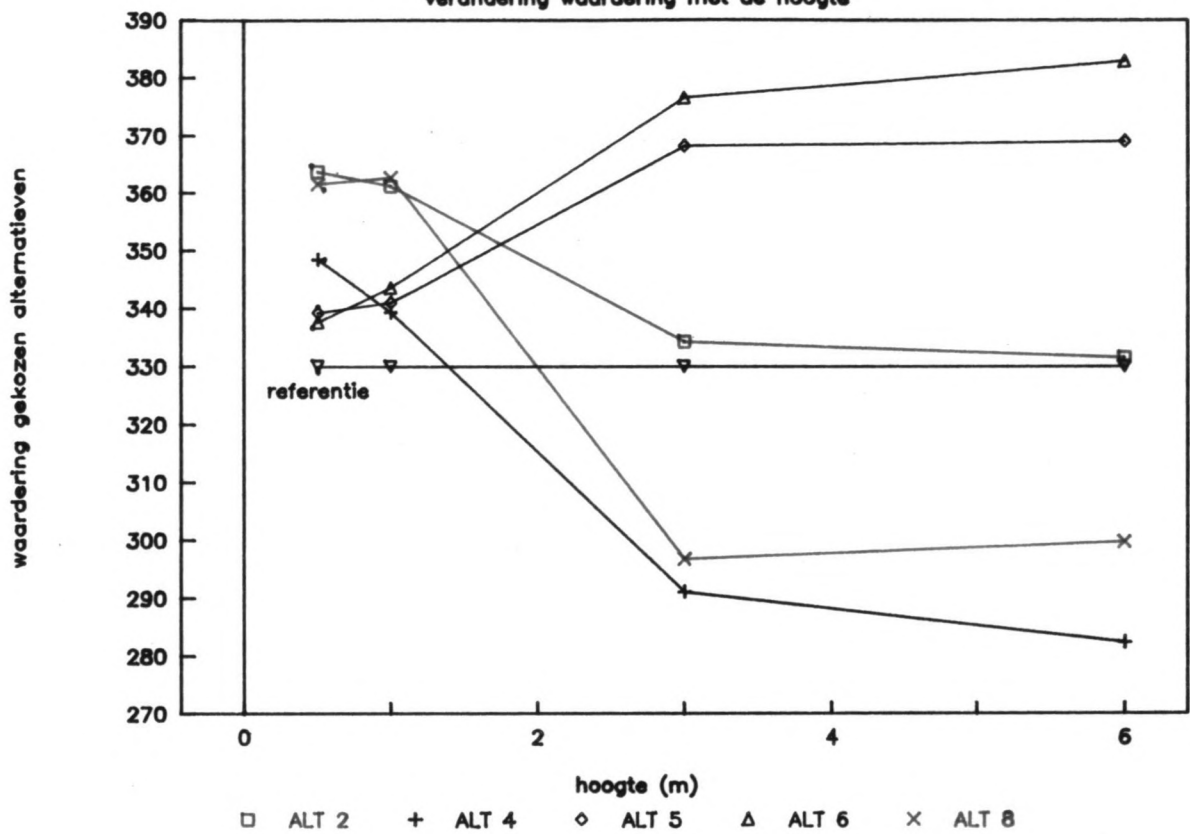
- 1. zie boven;
- 2. arbeids- en malkosten: Fl 340,- per meter oever;
- 3. hoeveelheid "lege" ruimte: $1,25 \text{ m}^3$;
- 4. gewicht T-stijl: 5075 kilogram;
- 5. zie boven;
- 6. zie boven;
- 7. totale voeglengte: 1,5 meter;
- 8. zie boven;
- 9. fabricagekosten: Fl 2152,- per meter oever;
- 10. $W_{\min} = 8,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ voor de stijl bij $M = 70,0 \text{ kNm}$;

In de gegeven tabellen voor de multi-criteria-analyse zijn bij elke hoogte de drie hoogste scores vet gedrukt. Deze alternatieven zijn in fase II

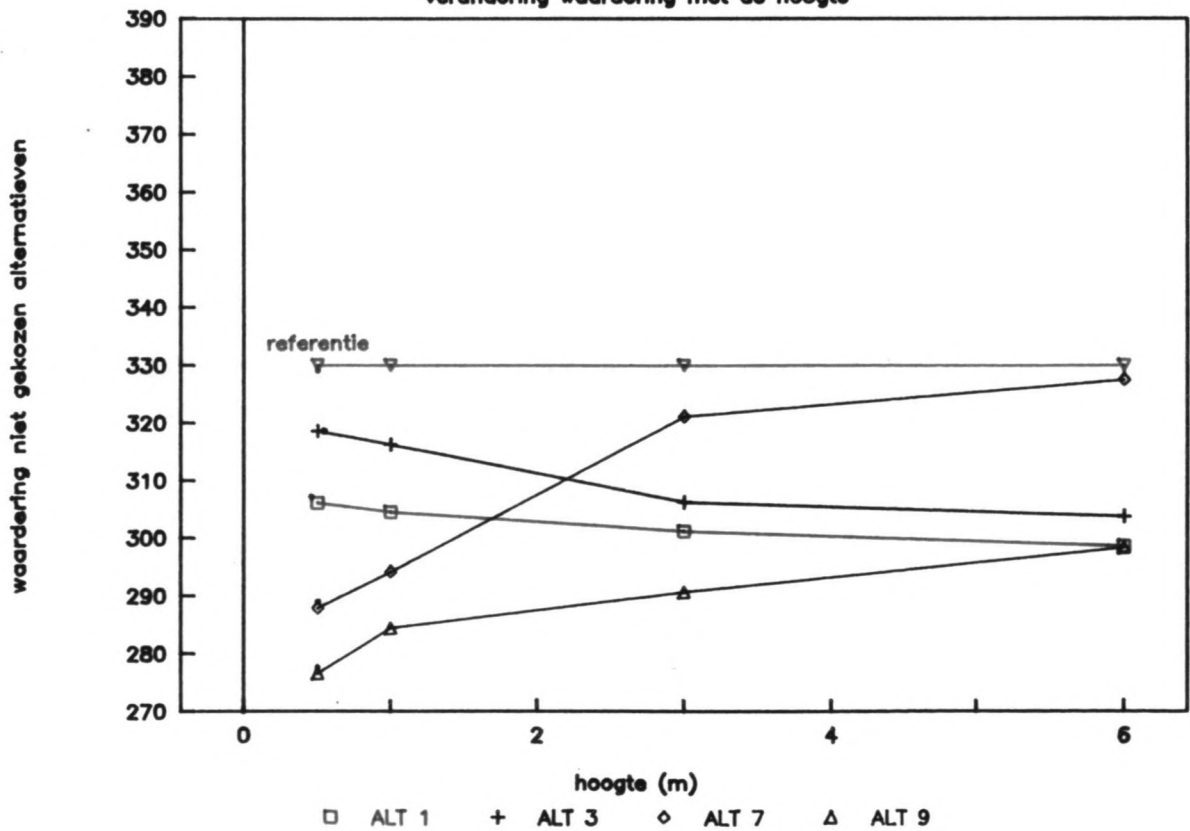
verder uitgewerkt. Op de volgende bladzijden zijn twee grafieken weergegeven met de totaalscore per alternatief uitgezet tegen de kerende hoogte. Bij deze grafieken geldt hetzelfde als bij de grafieken in hoofdstuk 5, namelijk dat het gedeelte van de lijnen tussen 1,0 en 3,0 meter niet geheel de werkelijke score weergeeft. De eerste grafiek geeft de lijnen voor de profielen die in fase II zijn uitgewerkt (alternatief 2, 4, 5, 6 en 8). De andere geeft de lijnen voor de overige profielen (alternatief 1, 3, 7, en 9).

MULTI-CRITERIA-ANALYSE

verandering waardering met de hoogte



verandering waardering met de hoogte



Gevoeligheid:

Om de gevoeligheid te testen van deze methode zijn in bijlage 2 enkele criteria, bij hoogte 1,0 meter, anders gewaardeerd. Deze wijziging is doorgevoerd in de multi-criteria-analyse en de nieuwe volgorde van de alternatieven bij deze hoogte is bepaald. De uitkomst is weergegeven in de onderstaande tabel.

ALT: CRIT.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	6	5	7	7	8	8	8	5
2	5	7	6	8	8	6	5	8	5
3	6	7	6	9	3	4	4	8	2
4	7	8	7	9	4	3	4	5	2
5	6	6	6	4	7	9	8	8	9
6	8	6	7	6	5	7	8	5	7
7	5	6	5	6	7	8	7	7	9
8	7	7	7	4	6	6	6	6	4
9	7	8	7	9	6	5	4	7	3
10	7	6	7	3	9	9	7	4	9
Totaal:	308	336	314	320	311	322	305	321	272

Tabel B11: Gevoeligheid analyse bij hoogte 1.0 meter.

Hierin is te zien dat de keuze van het beste alternatief niet veranderd maar dat de alternatieven die vrijwel gelijke totaalscore hadden van rangschikking zijn verwisseld. Hierdoor zou de multi-criteria-analyse een andere uitslag gekregen hebben. Bij deze gevoeligheid zijn echter de verhoudingen voor de criteria (in dit geval de criteria 4, 6, 7 en 10) totaal omgedraaid. Dit zal in werkelijkheid nooit zo zijn, er zullen hooguit kleine verschillen zijn waardoor de verwisseling niet op zal treden.

BIJLAGE 4: Berekeningen bezwijkstadium

De aangehouden notaties bij de berekeningen zijn:

A_{awi}	wapeningsdoorsnede staaf i ($i=1,2,3$)
A_{atot}	totale wapeningsdoorsnede
A_b	betonddoorsnede
B_e	breedte van de betondrukzone
E'_b	elasticiteitsmodulus van beton
E_a	elasticiteitsmodulus van ARAPREE
H	hoogte betonddoorsnede
M	optredend moment
M_d	rekenwaarde voor het moment
M_u	bezwijkmoment
N'_b	drukkracht in betondrukzone
N_{ai}	toename trekkracht in staaf i, als gevolg van bijkomende rek
P_∞	werkvoorspankracht
c_i	dekking op staaf i
f_{au}	werkspanning ARAPREE op $t=\infty$ (exclusief γ_a)
f'_{brep}	waarde voor betondrukspanning (exclusief γ_m)
h	nuttige hoogte (H - dekking op buitenste staaf)
x_u	hoogte betondrukzone
γ	belastingsfactor ($=1.5$)
γ_a	materiaalfactor ARAPREE ($=1.1$)
γ_m	materiaalfactor beton ($=1.2$)
ϵ_{ai}	bijkomende rek in staaf i
ϵ_{ati}	totale rek in staaf i ($\epsilon_{ai} + \epsilon_p$), maximaal ϵ_{pu}

ϵ'_b	betonstuik
ϵ'_{bpl}	betonstuik bij begin plastische vervorming
ϵ'_{bu}	bezwijkstuik beton (=0.35 %)
ϵ_p	rek ten gevolge van voorspanning
ϵ_{pu}	bezwijkrek ARAPREE (= 1.9 %)

De gevolgde methode bij de berekeningen:

Allereerst zijn de rekken (ϵ'_b , ϵ_p en ϵ_{ai}) bepaald, uitgaande van de maximale betonstuik. Indien bij deze betonstuik de rek in het ARAPREE minder is dan de bezwijkrek, is bij de berekening ϵ'_{bu} aangehouden. Indien de rek groter is, is bij de bezwijkrek van het ARAPREE de betonstuik berekend. Na het bepalen van de rekken zijn de krachten (N'_b , N_{ai} en P_w) uitgedrukt in deze rekken en de hoogte van de betondrukzone. Bij deze berekeningen is onderscheid gemaakt twee gevallen, de bijbehorende formules zijn hieronder gegeven. Een overzicht van de schematisatie is gegeven in hoofdstuk 6. Bij de volgende formules is uitgegaan van een positief moment (dat wil zeggen dat onderzijde van de profielen in figuur 6.2 en figuur 6.3 de drukzijde is). De formules voor een negatief moment zijn vrijwel identiek met uitzondering van de formule voor het bezwijkmoment (omdat de drukzijde bij een negatief moment aan de bovenzijde ligt, veranderen de armen voor N_{ai}).

- voor $\epsilon'_b > \epsilon'_{bpl}$ (alles uitgedrukt in ϵ'_b):

$$\epsilon'_b \leq 3.5 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_p = \frac{f_{au}}{E_a} = 9.2 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{a1} = \frac{\epsilon'_b}{x_u} \cdot (h - x_u)$$

$$\epsilon_{a2} = \frac{\epsilon'_b}{x_u} \cdot (H - c_2 - x_u)$$

$$\varepsilon_{a3} = \frac{\varepsilon'_b}{x_u} \cdot (c_3 - x_u)$$

$$N'_b = B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\varepsilon'_b - 0.5 \cdot \varepsilon'_{bpl}}{\varepsilon'_b} \cdot x_u$$

$$P_\infty = \frac{f_{au} \cdot A_{atot}}{\gamma_a}$$

$$N_{ai} = \frac{A_{awi} \cdot \varepsilon_{ai} \cdot E_a}{\gamma_a}$$

In deze laatste formule zijn de bovenstaande waarden voor de rekken gesubstitueerd, waarna x_u is berekend uit het krachtenevenwicht. De gebruikte formules voor dit evenwicht zijn:

$$\Rightarrow N'_b - P_\infty - \sum N_{ai} = 0$$

$$\Rightarrow B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\varepsilon'_b - \varepsilon'_{bpl}}{\varepsilon'_b} \cdot x_u^2 + \frac{A_{atot} \cdot (E_a \cdot \varepsilon'_b - f_{au})}{\gamma_a} \cdot x_u -$$

$$\frac{E_a \cdot \varepsilon'_b}{\gamma_a} \cdot (A_{aw1} \cdot h + A_{aw2} \cdot (H - c_2) + A_{aw3} \cdot c_3) = 0$$

$$\Rightarrow x_u = \frac{(f_{au} - E_a \cdot \varepsilon'_b) \cdot A_{atot}}{\gamma_a \cdot 2 \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \left(\frac{\varepsilon'_b - \varepsilon'_{bpl}}{\varepsilon'_b} \right)} +$$

$$\frac{\sqrt{[(E_a \cdot \varepsilon'_b - f_{au}) \cdot A_{atot} / \gamma_a]^2 + 4 \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \frac{(\varepsilon'_b - 0.5 \varepsilon'_{bpl}) \cdot E_a}{\gamma_a} \cdot (A_{a1} \cdot h + A_{a2} \cdot (H - c_2) + A_{a3} \cdot c_3)}}{2 \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \left(\frac{\varepsilon'_b - \varepsilon'_{bpl}}{\varepsilon'_b} \right)}$$

Door substitutie van x_u in de formules voor de krachten, zijn deze te berekenen. Hierna is ook het bezwijkmoment berekend door het momenten evenwicht te beschouwen om de drukzijde. De formule voor M_u is als volgt:

$$M_u = -N'_b \cdot x_u \cdot \frac{\epsilon'_b{}^2 - \epsilon'_b \cdot \epsilon'_{bpl} + \frac{1}{3} \epsilon'_{bpl}{}^2}{\epsilon'_b \cdot (2\epsilon'_b - \epsilon'_{bpl})} + P_\infty \cdot ZP_a + N_{a1} \cdot h + N_{a2} \cdot (H - c_2) + N_{a3} \cdot c_3$$

- voor $\epsilon'_b < \epsilon'_{bpl}$ (alles uitgedrukt in ϵ_{a1}):

$$\epsilon'_b = \frac{\epsilon_{a1}}{(h - x_u)} \cdot x_u$$

$$\epsilon_p = \frac{f_{au}}{E_a} = 9.2 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{a1} = 9.8 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_{a2} = \frac{\epsilon_{a1}}{(h - x_u)} \cdot (H - c_2 - x_u)$$

$$\epsilon_{a3} = \frac{\epsilon_{a1}}{(h - x_u)} \cdot (c_3 - x_u)$$

$$N'_b = \frac{1}{2} \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\epsilon'_b}{\epsilon'_{bpl}} \cdot x_u$$

$$P_\infty = \frac{A_{atot} \cdot f_{au}}{\gamma_a}$$

$$N_{ai} = \frac{A_{awi} \cdot \epsilon_{ai} \cdot E_a}{\gamma_a}$$

Hierbij zijn in de formules voor N'_b en N_{ai} de waarden voor respectievelijk ϵ'_b en ϵ_{ai} , uitgedrukt in ϵ_{a1} , gesubstitueerd, waarna x_u op dezelfde manier is berekend als in geval 1. Voor het evenwicht geldt wederom:

$$\Rightarrow N'_b - P_\infty - \sum N_{ai} = 0$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\epsilon_{a1}}{\epsilon'_{bpl}} \cdot x_u^2 + \frac{A_{atot} \cdot (E_a \cdot \epsilon_{a1} + f_{au})}{\gamma_a} \cdot x_u - \frac{A_{atot} \cdot f_{au} \cdot h}{\gamma_a} -$$

$$\frac{E_a \cdot \epsilon_{a1}}{\gamma_a} \cdot (A_{aw1} \cdot h + A_{aw2} \cdot (H - C_2) + A_{aw3} \cdot C_3) = 0$$

$$\rightarrow x_u = \frac{-(f_{au} + E_a \cdot \epsilon_{a1}) \cdot A_{atot}}{\gamma_a \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\epsilon_{a1}}{\epsilon'_{bpl}}} +$$

$$\sqrt{\frac{[(E_a \cdot \epsilon_{a1} + f_{au}) \cdot A_{atot} / \gamma_a]^2 + 2 \cdot B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\epsilon_{a1}}{\epsilon'_{bpl}} \cdot \gamma_a \cdot (A_{aw1} \cdot h + A_{aw2} \cdot (H - C_2) + A_{aw3} \cdot C_3)}{B_e \cdot f'_b \cdot \frac{\epsilon_{a1}}{\epsilon'_{bpl}}}}$$

Na het berekenen van x_u zijn de krachten te vinden door substitutie van deze waarde in de formules voor N'_b en N_{a1} . Het bezwijkmoment is op dezelfde wijze berekend als in geval 1, met een kleine wijziging voor de bijdrage van N'_b . In formulevorm:

$$M_u = -N'_b \cdot \frac{1}{3} \cdot x_u + P_{\infty} \cdot ZP_a + N_{a1} \cdot h + N_{a2} \cdot (H - C_2) + N_{a3} \cdot C_3$$

De werkelijk veiligheid tegen bezwijken moet in beide gevallen voldoen aan de bezwijk eis en volgt uit de formule:

$$\rightarrow \gamma_u = \frac{M_u}{M} \geq 1.7$$

BIJLAGE 5: Lotus spreadsheet.

De lotus-spreadsheet is gemaakt om de gegevens van het profiel te berekenen en duidelijk weer te geven. Er zijn spreadsheets gemaakt voor twee verschillende type profielen, een "dicht" en een "open" profiel (beide weergegeven in figuur 6.2 en figuur 6.3 in hoofdstuk 6). De spreadsheet start met een gebruikersmenu waarin de volgende onderdelen staan:

- 1) invoer (profiel-, materiaalgegevens en wapening),
- 2) schematisatie van het profiel,
- 3) berekening bezwijkstadium,
- 4) controle,
- 5) printen,
- 6) bewaren van de gegevens.

ad 1):

Dit onderdeel bestaat uit twee opties: "INVOER PROFIELGEGEVENS" en "INVOER WAPENING". Bij het eerste deel moeten de afmetingen van het profiel worden ingevuld alsmede het optredend moment, belastingsfactor en de materiaalgegevens (sterkten, E-modulus, materiaalcoëfficiënt en waarden voor de rekken). Een overzicht hiervan is gegeven in onderstaande tabel.

Bij het tweede deel moet de wapening worden ingevoerd aan de hand van de opgegeven benodigde hoeveelheid wapening en de maximale trekspanning. De benodigde hoeveelheid wapening is berekend met behulp van de formule:

$$A_a = \frac{M \cdot \gamma}{\frac{f_{atp}}{\gamma_a} \cdot h^*}$$

Tevens zijn enkele waarden van het profiel gegeven (onder andere traagheids- en weerstandsmomenten, betondoorsnede en zwaartepunt). Een overzicht hiervan is in de onderstaande tabel gegeven.

In beide gevallen keert men terug naar het menu met de toetsen [ALT]+[M].

ad 2):

Hier is een schematisatie gegeven van het profiel met de symbolen die gebruikt zijn om de afmetingen weer te geven. Dit overzicht is ook te zien op de uitdraai van de printer (zie ad 5) en in hoofdstuk 6: de doorsnede in figuur 6.2 en figuur 6.3.

INVOEREGEGEVENS voor een "dicht" profiel (zie onder menuoptie FIGUUR):						
B1	150	mm	H1	40	mm	alternatief nr. ..
B12	150	mm	H2	60	mm	
B21	45	mm	H3	40	mm	
B23	45	mm	c1	20	mm	dekking op laag 1 vanaf 1
B32	150	mm	c2	0	mm	dekking op laag 2 vanaf 1
B3	150	mm	c3	20	mm	dekking op laag 3 vanaf 3
H0	140	mm	M	1,6	kNm	
B0	150	mm	bel.f.	1,5		belastingsfactor
L	3500	mm				lengte van het profiel
Beton:	45	(B-waarde)	ARAPREE			
f'brep	32,4	N/mm ²	fatp	2400	N/mm ²	
mat.f.	1,2	>>>	fau	1150	N/mm ²	
E'b	33500	N/mm ²	Ea	125000	N/mm ²	
E'bu	3,5	E-3	mat.f.	1,1	>>>	materiaalfactor
E'bpl	1,75	E-3	Epu	19,0	E-3	
fbm	3,3	N/mm ²				

Tabel B13: Invoergegevens voor de Lotus-spreadsheet.

ad 3):

Met de menuoptie "BEREKEN" wordt het profiel doorgerekend in het bezwijkstadium. De details omtrent deze berekening zijn in bijlage 5 beschreven. Het resultaat van deze berekening komt na enige tijd in beeld (het wel of niet voldoen van het bezwijkmoment van de doorsnede). Indien dit moment voldoet, is de 'bezwijkveiligheid' (γ_u) gegeven. Als dit niet het geval is, is een mogelijkheid gegeven om het profiel aan te passen (betonddoorsnede vergroten of meer wapening toepassen).

ad 4):

Door deze menuoptie te kiezen, zijn de gegevens uit het bezwijkstadium (rekken, drukhoogte, krachten, bezwijkmoment) te controleren alsmede de spanningen in de bouw- en gebruiksfase. Bij de bouwfase zijn de spanningen berekend ten gevolge van de voorspanning en bij de gebruiksfase zijn alle belastingen (de voorspanning en het moment, met $\gamma = 1,0$).

In tabel B15 en B16 is een overzicht gegeven van deze resultaten.

UITVOERGEGEVENS VAN HET PROFIEL				
H0	140	mm	massa	134 kg
B0	150	mm		
Ab	1,5E+3	mm ²	ZPb	70 mm
I	3,2E+7	mm ⁴		
Wb1	4,6E+5	mm ³	trekzijde	
Wo3	4,6E+5	mm ³	drukzijde	
h	120	mm	Be	150 mm
h*	102	mm		
Md	2,4	kNm	Aa	10,8 mm ²
Keuze van de wapening			trek:	1,39 N/mm ²
Aaw1	13,2	mm ²		
Aaw2	0	mm ²		
Aaw3	13,2	mm ²		
Aatot	26,4	mm ²	ZPa	70 mm

Tabel B14: Uitvoergegevens en wapening van het profiel.

GEBRUIKSSTADIUM (controle op scheuren)						belastingsfactor 1,0	
P	30360	N				voorspankracht	
Ab	14700	mm ²	P/Ab	- 2,07	N/mm ²		
exc.	0	mm				excentriciteit voorspanning	
P*e	0	kNm					
Wb1	460000	mm ³	P*e/Wb1	0,00	N/mm ²		
Wo3	460000	mm ³	P*e/Wo3	0,00	N/mm ²		
M	1,6	kNm	M/Wb1	3,46	N/mm ²		
			M/Wo3	- 3,46	N/mm ²		
TOTAAL GEBRUIK:			CONCLUSIES: beton scheurt niet				
TREK	1,39	N/mm ²					
DRUK	- 5,52	N/mm ²					
ALLEEN VOORSPANNING:							
DRUK	- 2,07	N/mm ²					
DRUK	- 2,07	N/mm ²	>>>> gebruiksfase:				

Tabel B16 Optredende spanningen tijdens bouw- en gebruiksfase.

ad 5):

De uitvoer is verdeeld in twee gedeelten: "PRINT1", voor de invoer (met

BEZWIJKSTADIUM (berekening Mu)			aanname 1: xu < c3	
ε'b	1,89	E-3	bezwijken ARAPREE	hoogte drukzone voldoet
εp	9,20	E-3		
εa1	9,80	E-3		
εa2	0,00	E-3		
εa3	0,05	E-3		
εat1	19,00	E-3		
εat2	0,00	E-3		
εat3	9,25	E-3		
xu	19,44	mm	aanname 1 juist	
N'bu	42377	N	evenwicht	
P∞	27600	N		
Na1	14696	N		
Na2	0	N		
Na3	81	N		
Mu	3,40	kNm	Mu voldoet	
Mu/M	2,14		werkelijke veiligheid	

Tabel B15: Resultaten bezwijkstadium.

de schematisatie) en de algemene gegevens en "PRINT2", voor de resultaten van de berekeningen.

Bij beide gedeelten bestaat de uitvoer uit de relevante gegevens uit de hierboven gegeven tabellen. Het tweede deel is aangevuld met enkele conclusies en informatie.

ad 6):

Hierbij zijn de volgende keuzen mogelijk: "OVERSCHRIJVEN OUDE FILE", "NIET BEWAREN" en "BEWAREN ALS". Door een van deze opties te kiezen, kan het programma worden beëindigd.

Voor meer details met betrekking tot de mogelijkheden van de spreadsheet, wordt verzorgd contact op te nemen met de auteur.

BIJLAGE 6: De geselecteerde alternatieven

Met behulp van de methode, beschreven in hoofdstuk 6, zijn de geselecteerde alternatieven uit hoofdstuk 5 berekend en zijn de profiel- en wapeningsgegevens bepaald.

Bij het samenstellen van de profielen is als volgorde aangehouden:

- invullen van globale afmetingen van het profiel,
- kiezen van de wapening aan de hand van $A_{a,ben.}$ en de maximale trekspanning,
- berekenen M_u en γ_u ,
- aanpassen van de afmetingen om hoeveelheid wapening te verkleinen,
- opnieuw berekenen M_u en γ_u .

Er is niet getracht de profielen optimaal te contrueren (dat wil zeggen zo goedkoop mogelijk). Wel is geprobeerd de hoeveelheid ARAPREE laag te houden (eerder de betondoorsnede vergroten bij te kleine M_u dan het aantal staven vergroten).

In deze bijlage zijn de bijbehorende tekeningen weergegeven met daarop de belangrijke profielgegevens (afmetingen, diepte, hoeveelheid beton, type en aantal voorspanstaven en de totale lengte daarvan). Er zijn twee tekeningen van elk alternatief gemaakt. Op de eerste tekening zijn de doorsneden (langs de oever en loodrecht daarop) en een vooraanzicht afgebeeld. In deze figuren is de aansluiting tussen de profielen weergegeven als een rechte verbinding. In werkelijkheid zal een goede verbinding tot stand moeten komen. Een voorbeeld van een dergelijke verbinding is afgebeeld op de tweede tekening samen met een detail van het profiel (of de profielen). Bovendien zijn hierop de profielgegevens geplaatst. Een zestal mogelijkheden voor de aansluiting is afgebeeld op de voorlaatste tekening op bladzijde B 60. Een detail van de doorvoering van het anker met enkele bijzonderheden is getekend op bladzijde B 61.

Hieronder een kort overzicht van de getekende profielen :

- Kerende hoogte 0,5 meter:
 - alternatief 2: stijlen met planken ertussen,
 - alternatief 4: stijlen met planken erachter,
 - alternatief 8: damplanken,

- Kerende hoogte 1,0 meter:
 - alternatief 2: zie boven,
 - alternatief 6: damwandplanken,
 - alternatief 8: zie boven,
- Kerende hoogte 3,0 meter:
 - alternatief 2: zie boven,
 - alternatief 5: T-stijlen,
 - alternatief 6: zie boven,
- Kerende hoogte 6,0 meter:
 - alternatief 5: zie boven,
 - alternatief 6: zie boven.

De onverankerde profielen zijn niet getekend maar wel zijn hiervan de afmetingen bepaald. De vorm van deze profielen is ongeveer gelijk aan die van het verankerde profiel. In de volgende bijlage zijn de kosten van deze alternatieven bepaald aan de hand van de berekende afmetingen.

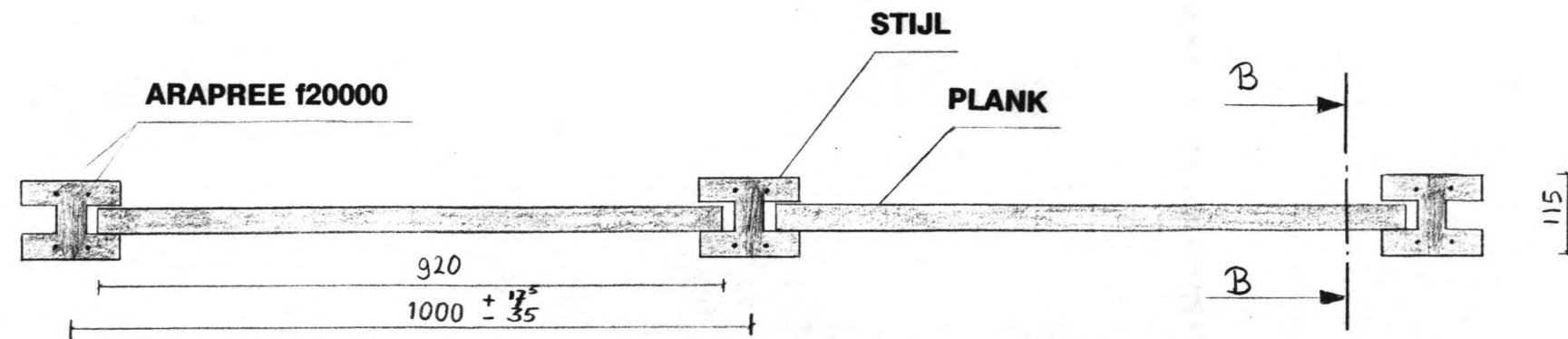
KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

ALTERNATIEF 2 (verankerd):

drawing no.

1

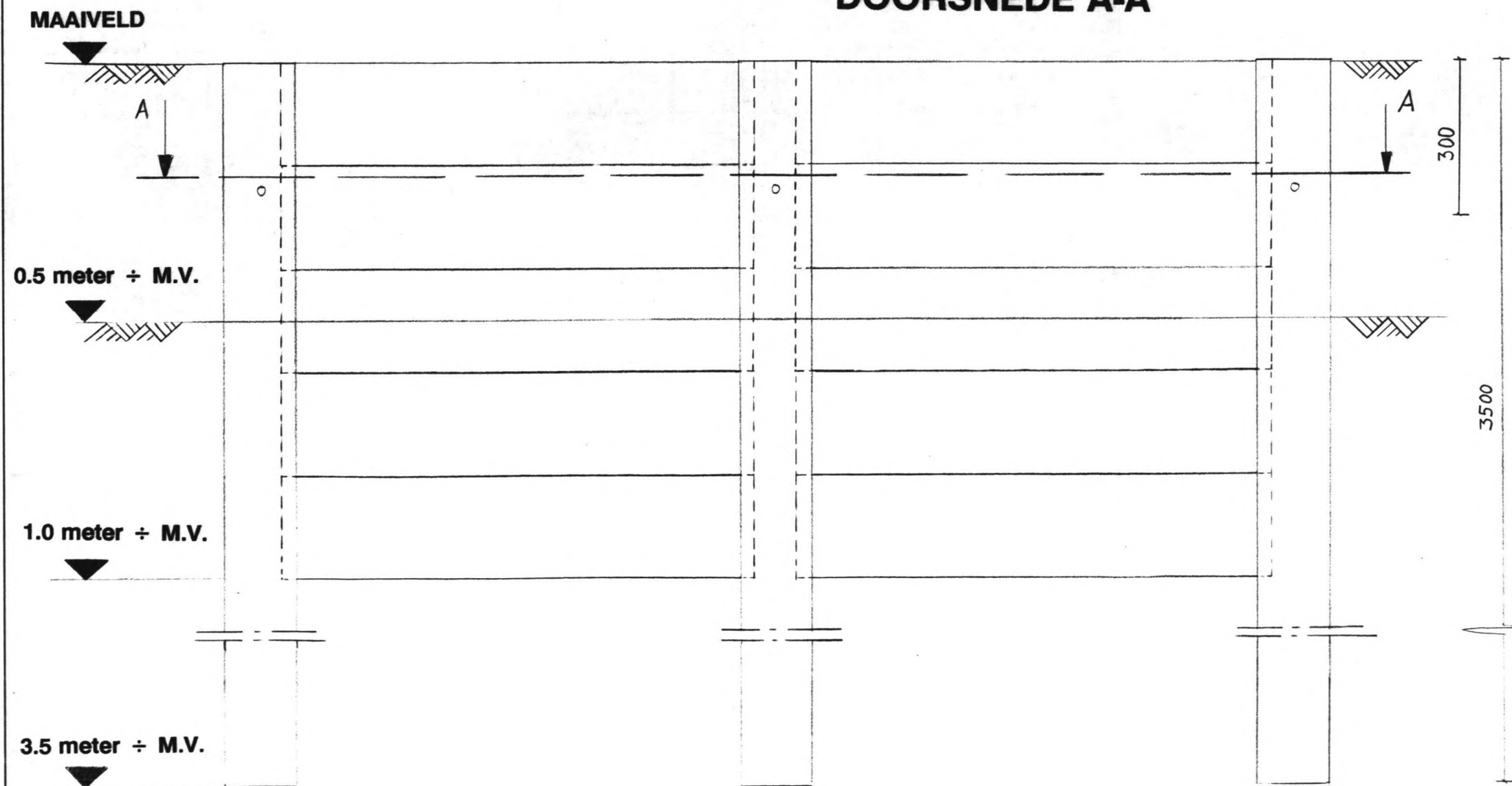
B43^I



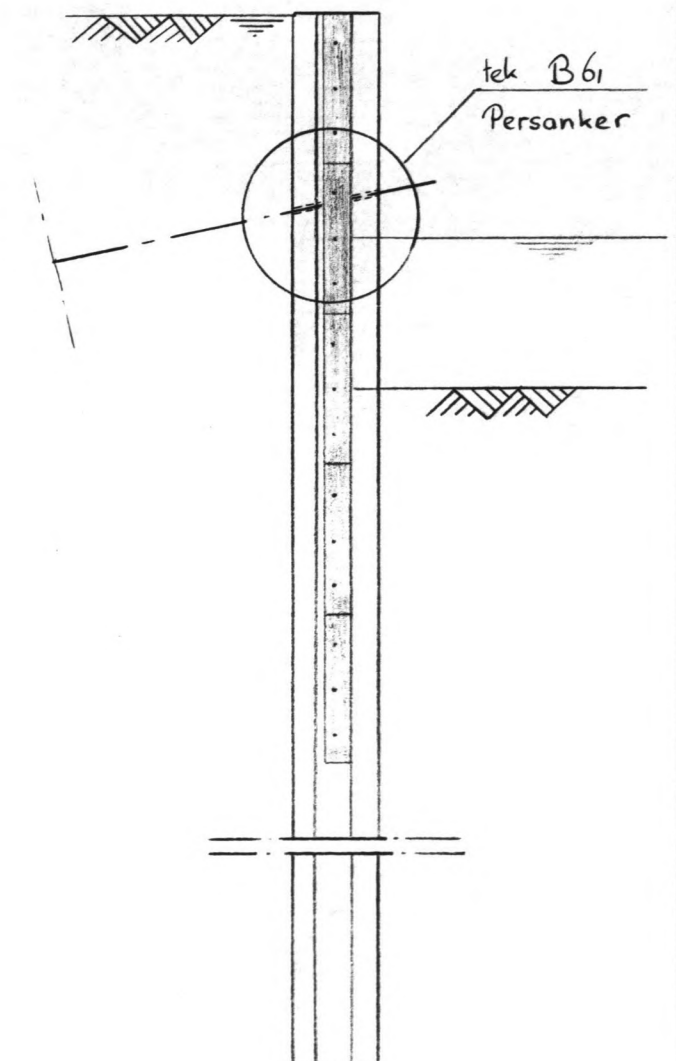
SCHAAL 1:10

Maten in mm

DOORSNEDE A-A



AANZICHT



DOORSNEDE B-B

KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

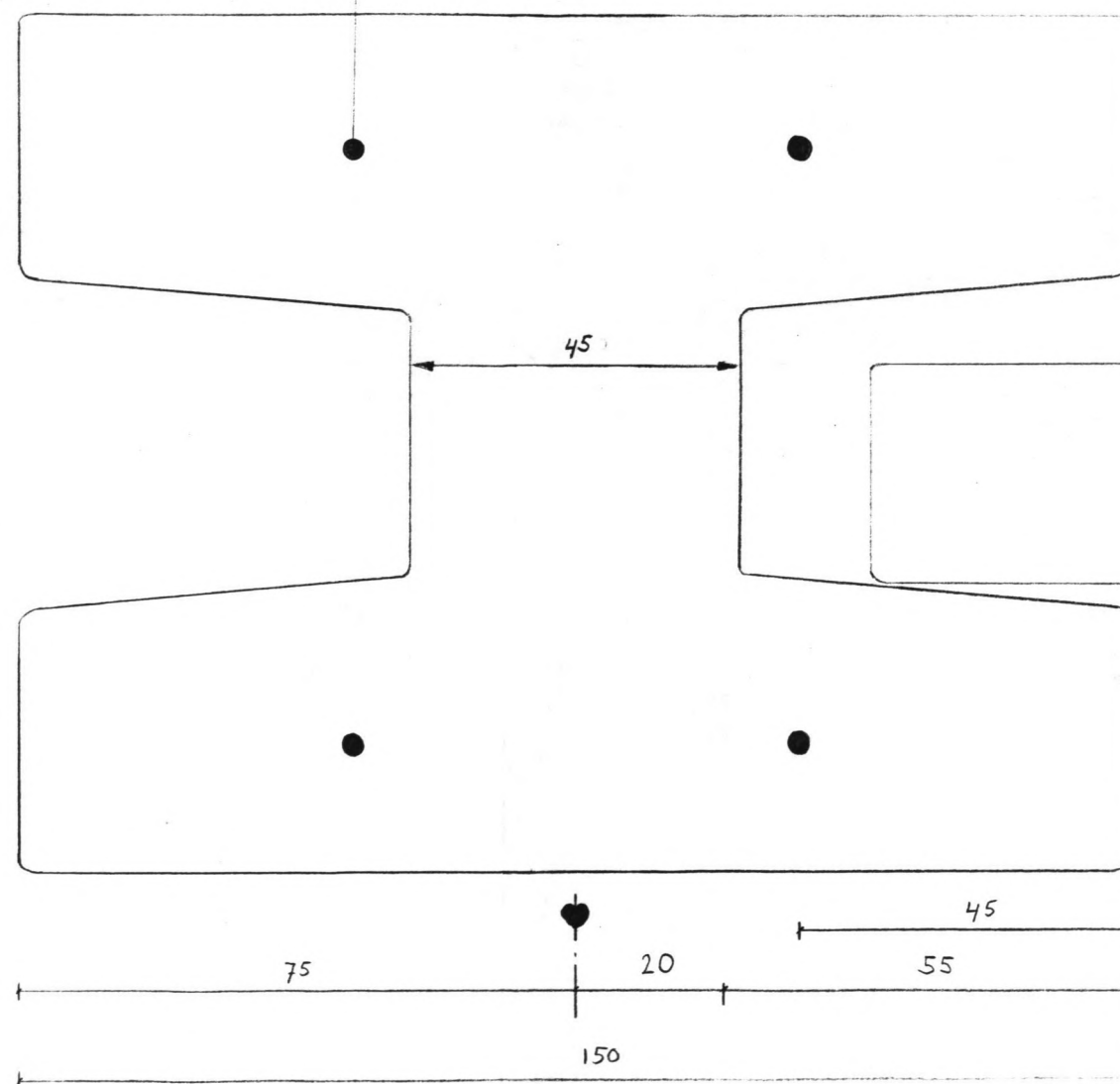
ALTERNATIEF 2 (verankerd):

drawing no.

2

B43 II

ARAPREE f20000

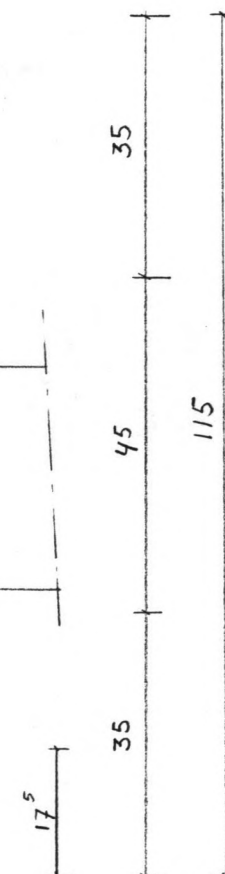


DETAIL STIJL, Schaal 1:1

STIJL:

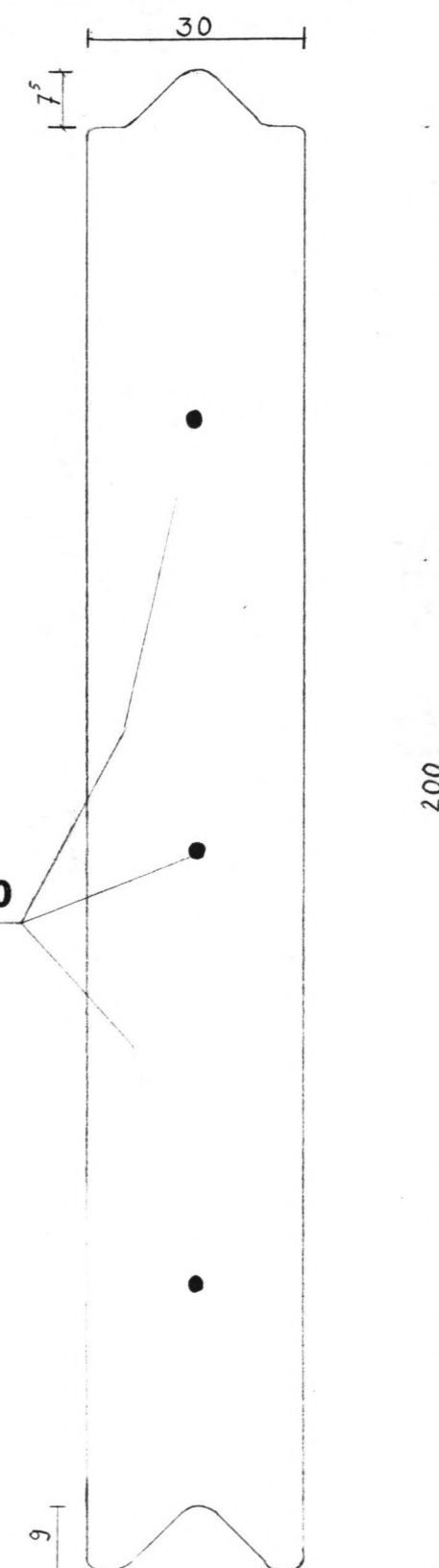
BETON: B45
Ab = 12525 mm²
ARAPREE: 4 staven f20000
totale lengte 14 m

ARAPREE f20000



PLANK (5 stuks per m oever):

BETON: B45
Ab = 6000 mm²
ARAPREE: 3 staven f20000
totale lengte 2,7 m



DETAIL PLANK, Schaal 1:1

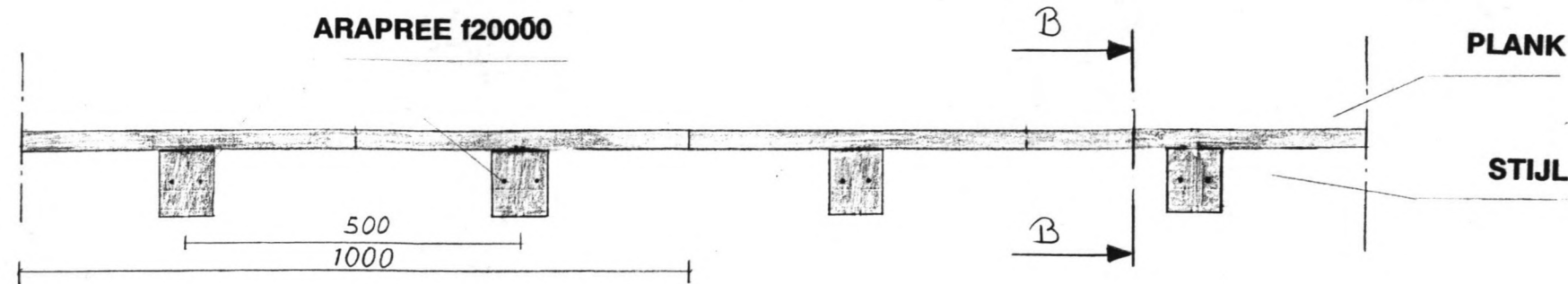
KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

ALTERNATIEF 4 (verankerd):

drawing no.

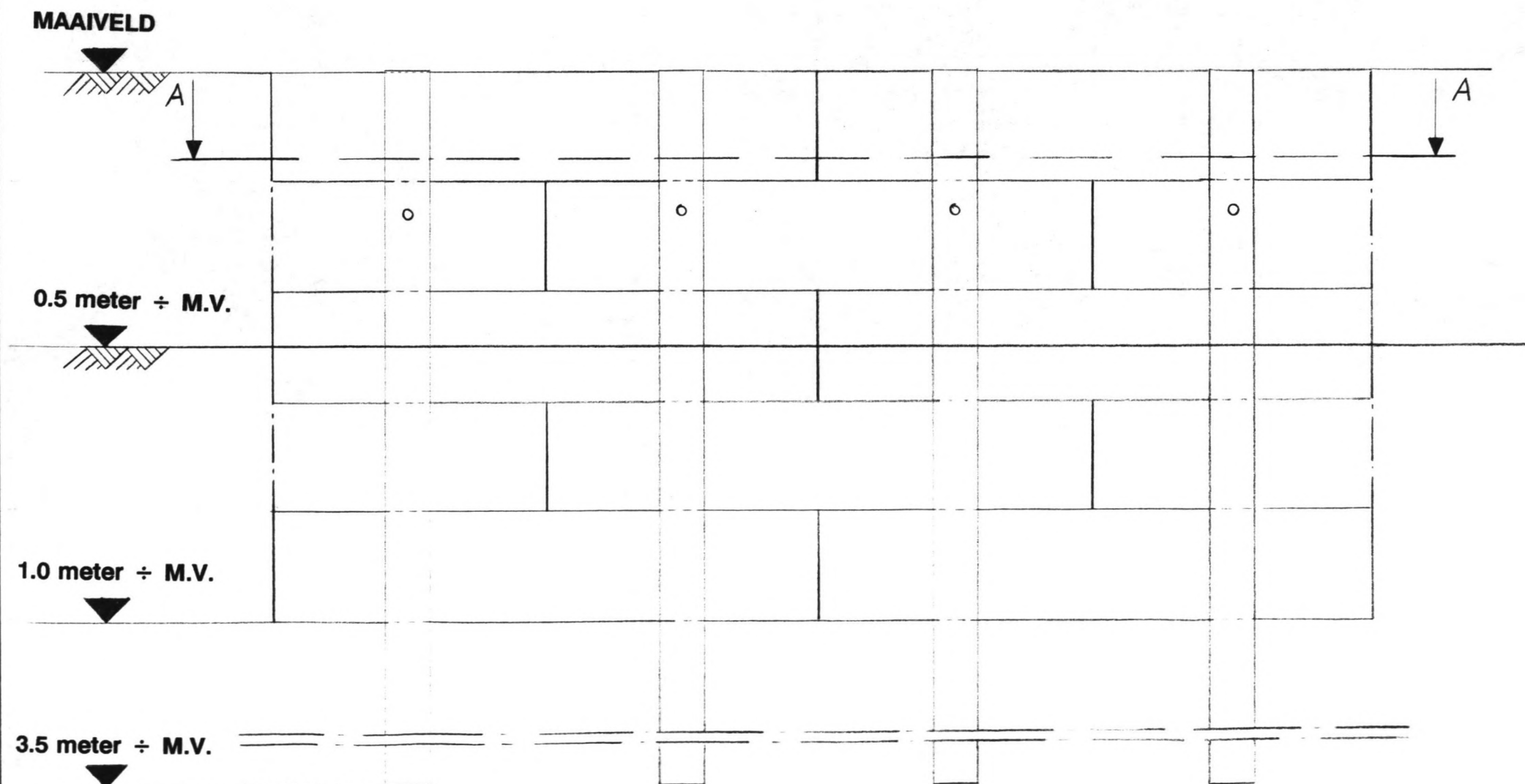
1

B44^I

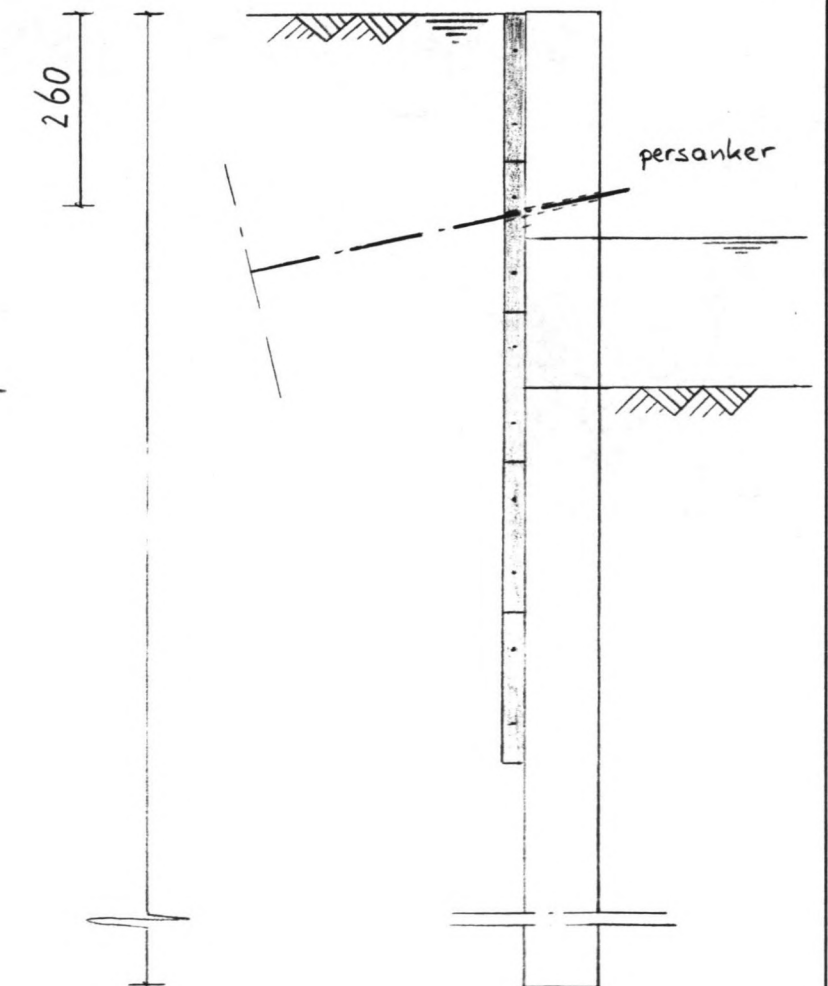


SCHAAL 1:10
Maten in mm

DOORSNEDE A-A



AANZICHT



DOORSNEDE B-B

KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

ALTERNATIEF 4 (verankerd):

drawing no.

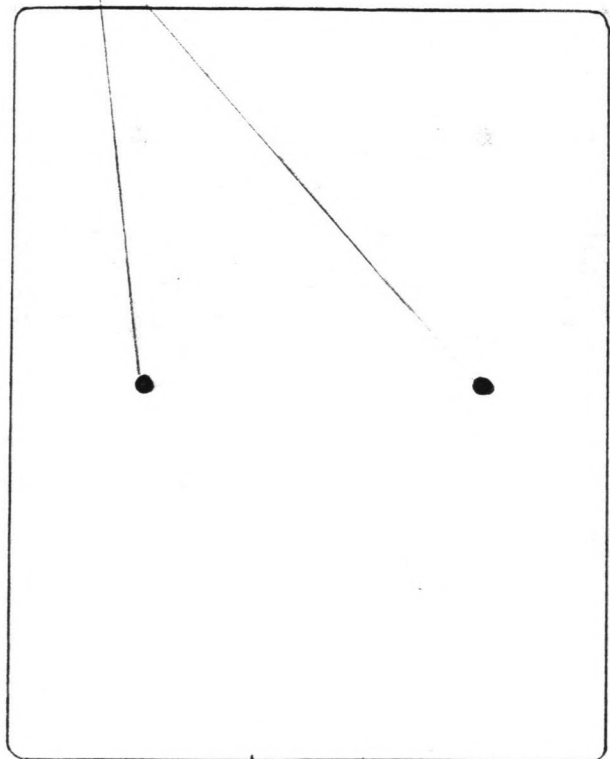
2

B44^{II}

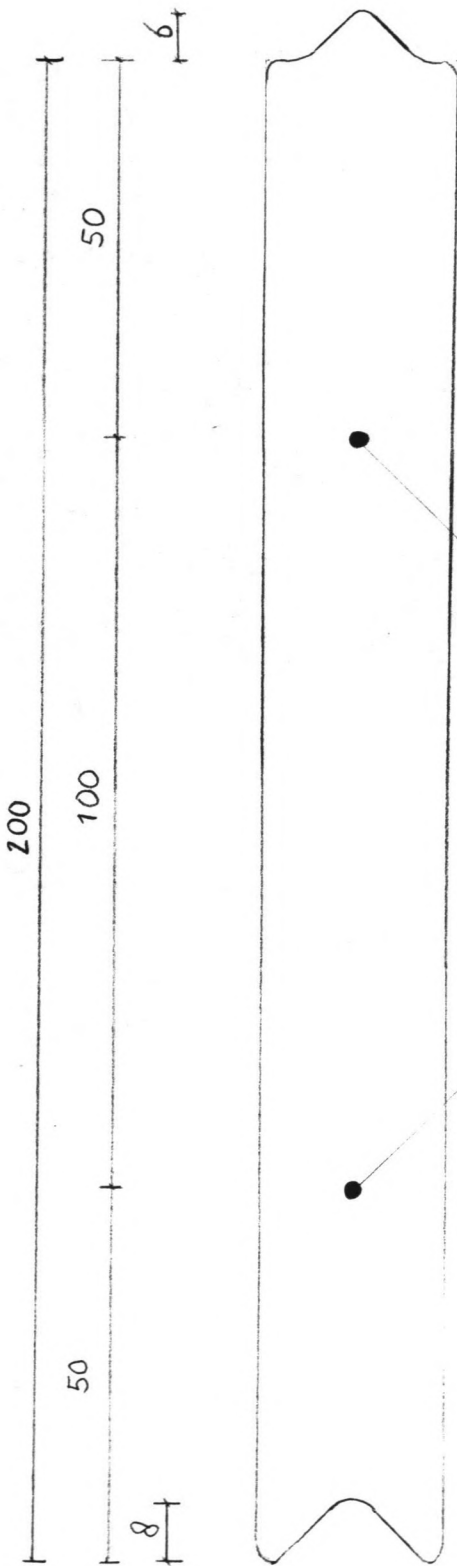
STIJL:

BETON: B45
 $Ab = 8000 \text{ mm}^2$
ARAPREE: 2 staven f20000
totale lengte 7 m

ARAPREE f20000



DETAIL STIJL, Schaal 1:1



ARAPREE f20000

PLANK (5 stuks per m oever):

BETON: B45
 $Ab = 5000 \text{ mm}^2$
ARAPREE: 2 staven f20000
totale lengte 2 m

DETAIL PLANK, Schaal 1:1

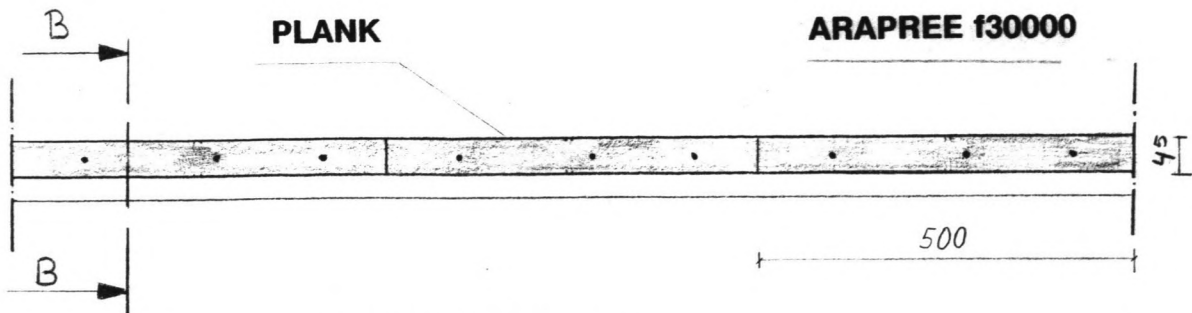
KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

ALTERNATIEF 8 (verankerd):

drawing no.

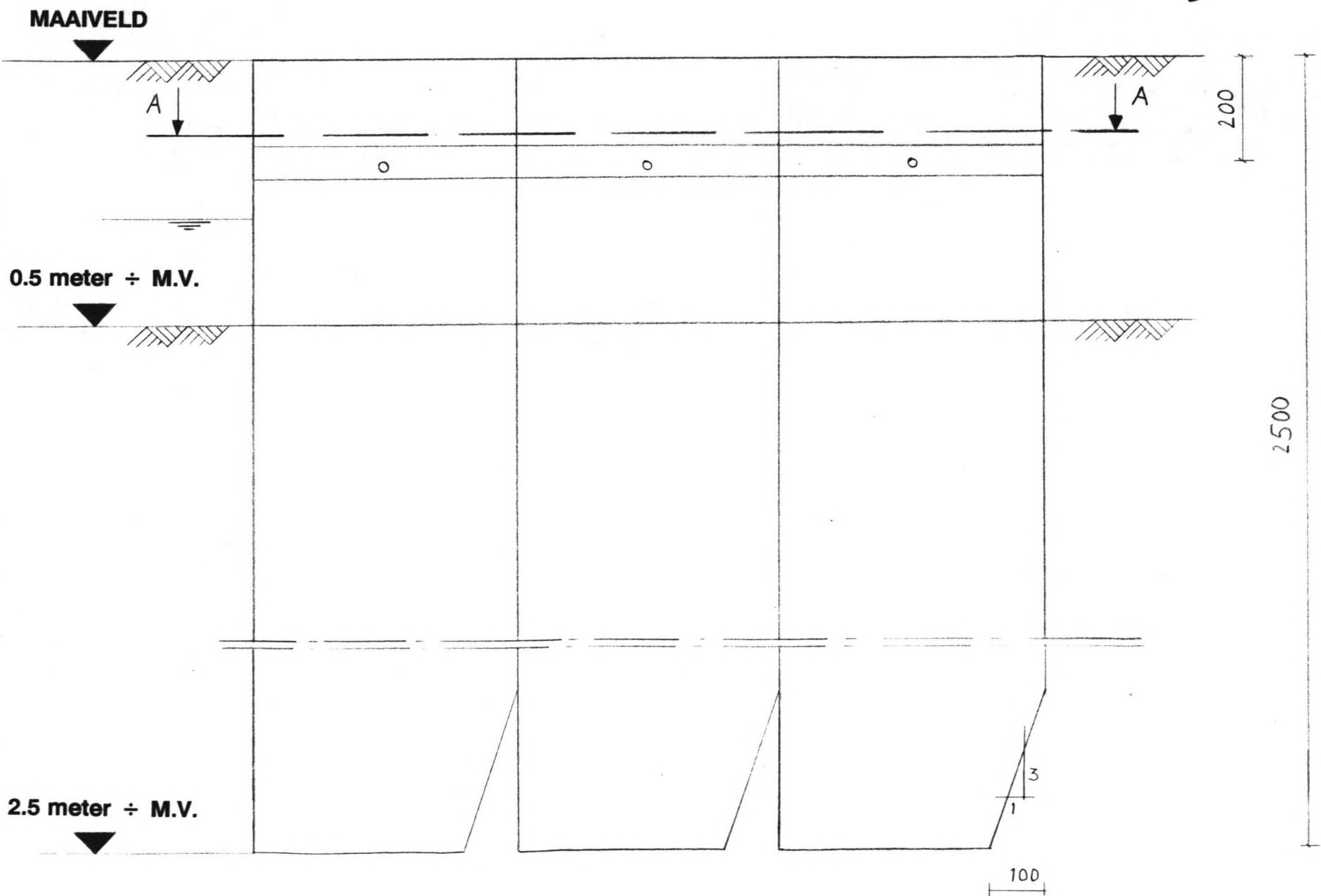
1

B₄₅^I



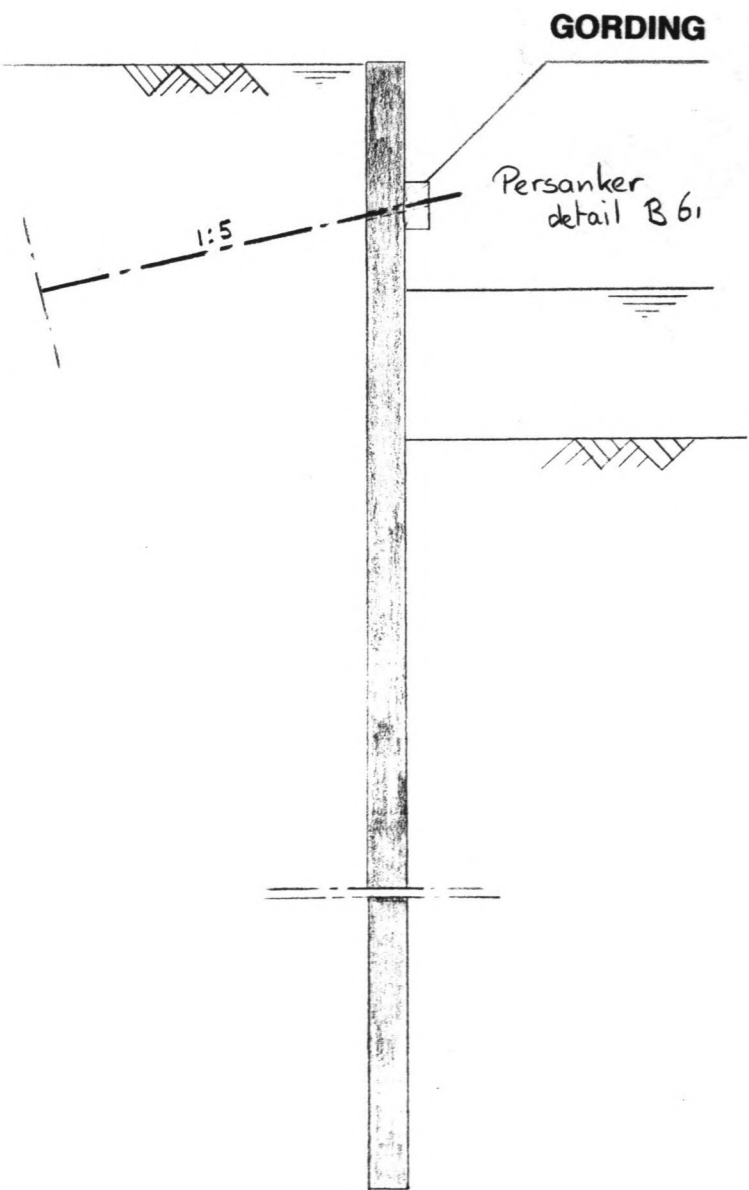
DOORSNEDE A-A

WERKRICHTING



AANZICHT

SCHAAL 1:10
Maten in mm



DOORSNEDE B-B

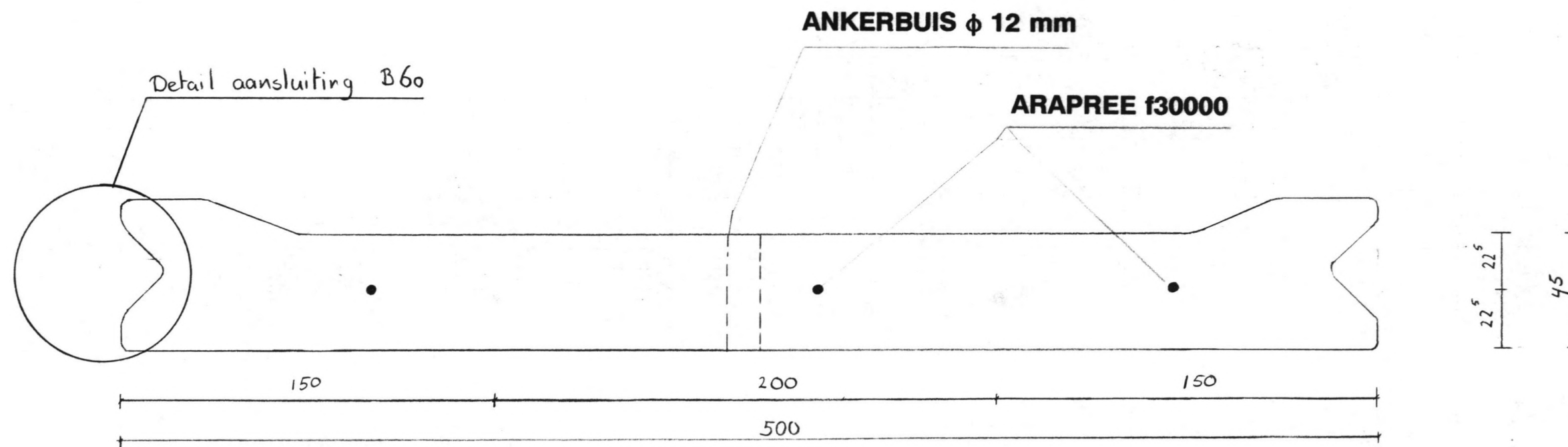
KERENDE HOOGTE 0.5 METER:

ALTERNATIEF 8 (verankerd):

drawing no.

2

B45^{II}



DETAIL PLANK, Schaal 1:2

PLANK:

BETON: B45
Ab = 22500 mm²
ARAPREE: 3 staven f30000
totale lengte 7,5 m

ARAPREE f50000

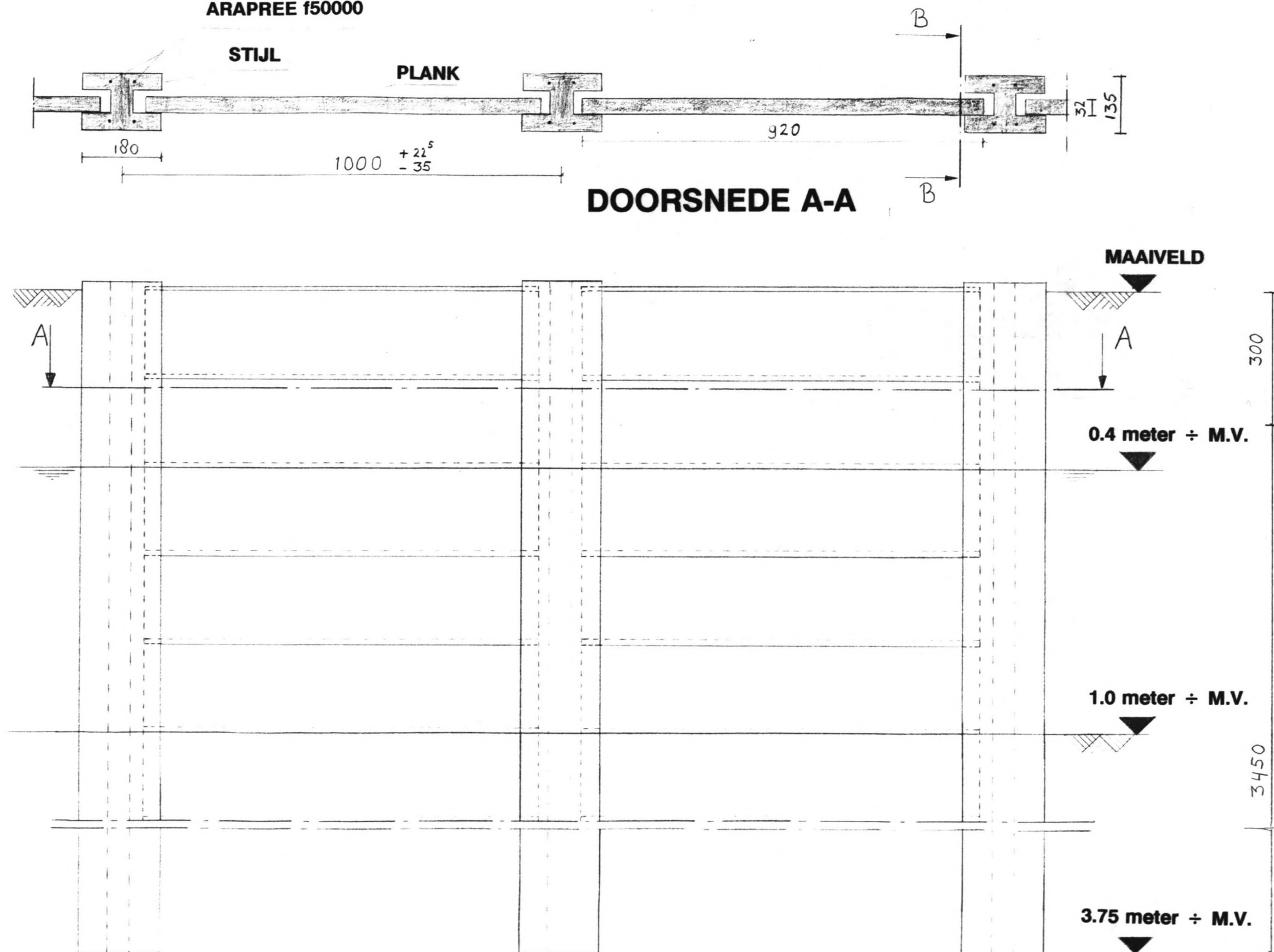
STIJL

PLANK

DOORSNEDE A-A

SCHAAL 1:10

Maten in mm



AANZICHT

DOORSNEDE B-B

KERENDE HOOGTE 1 METER:

ALTERNATIEF 2 (verankerd):

drawing no.

2

STIJL:

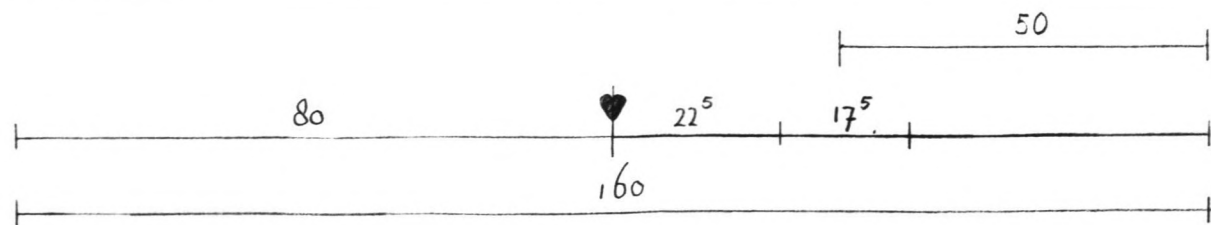
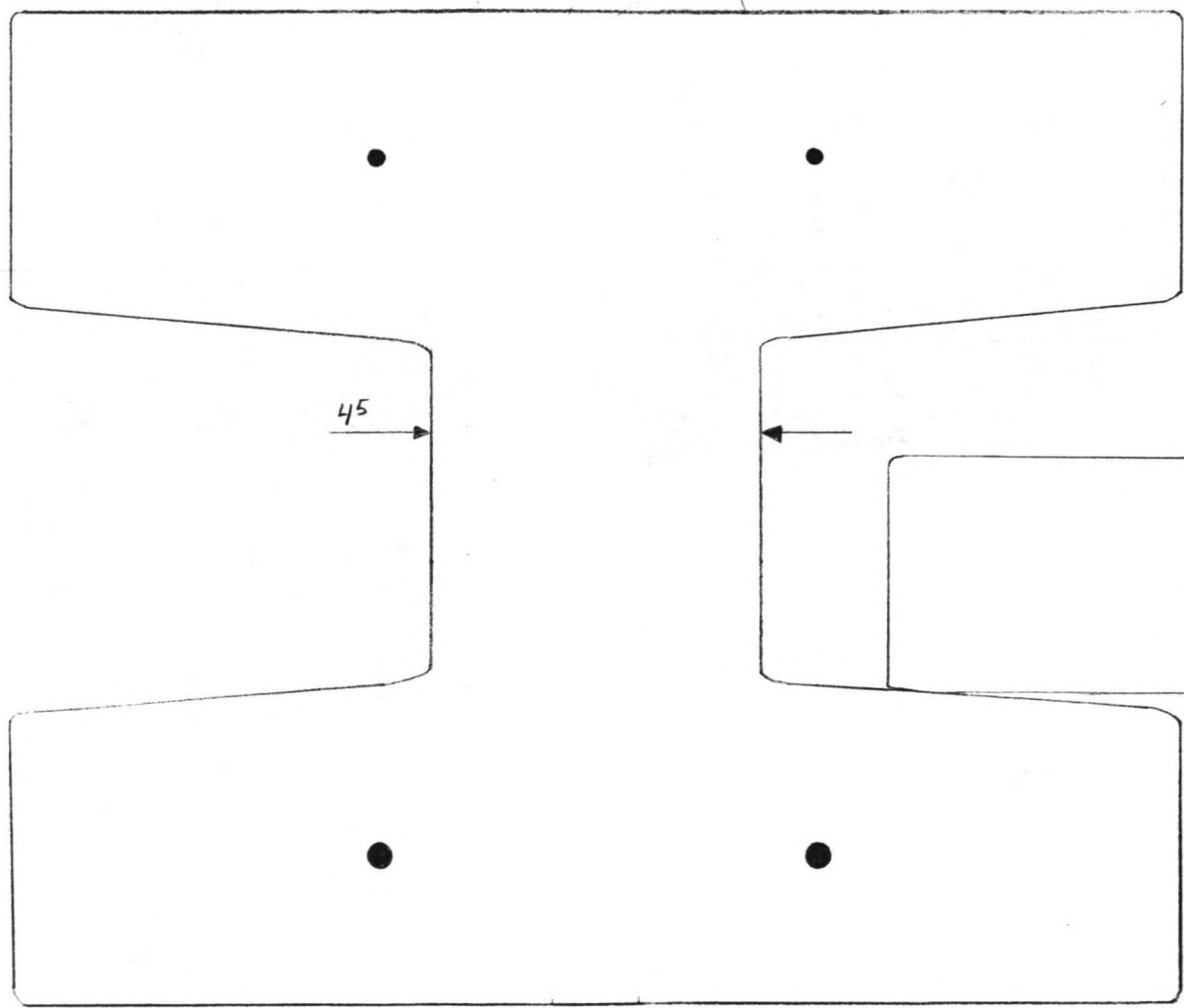
BETON: B45
Ab = 15275 mm²
ARAPREE: 4 staven f50000
totale lengte 15 m

PLANK:

BETON: B45
Ab = 6400 mm²
ARAPREE: 2 staven f50000
totale lengte 1,8 m

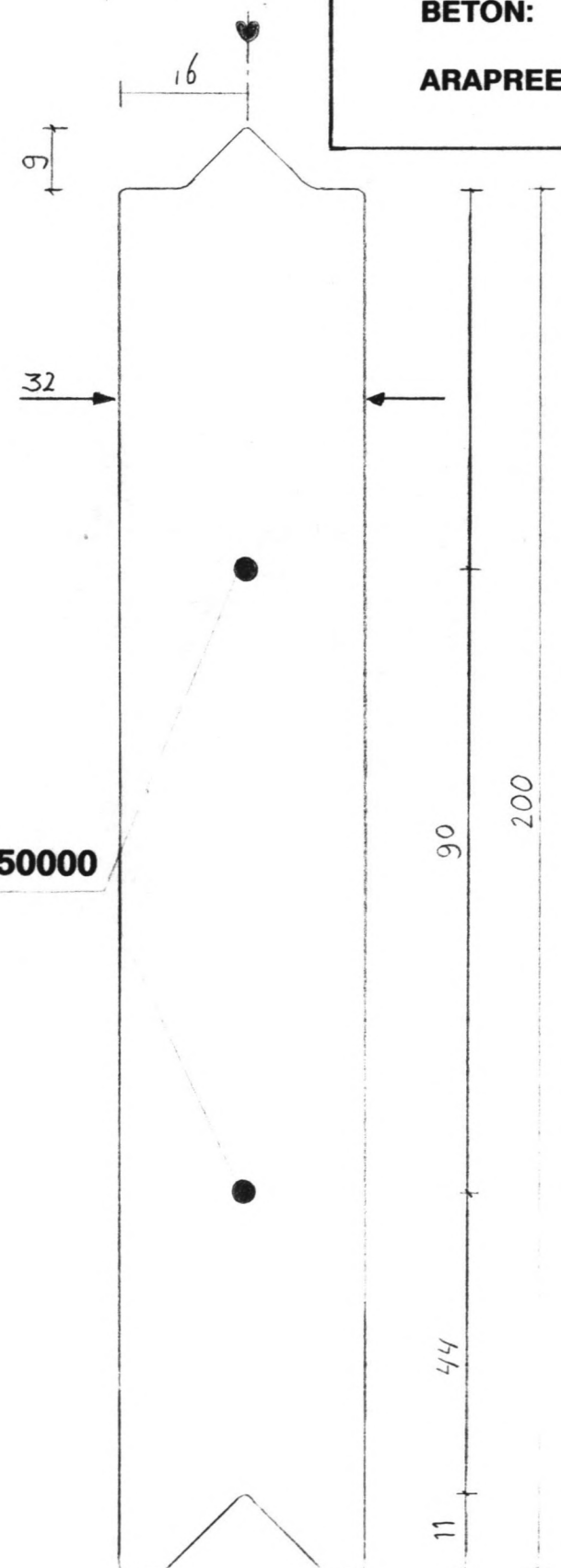
B46^{II}

ARAPREE f50000



DETAIL STIJL, Schaal 1:1

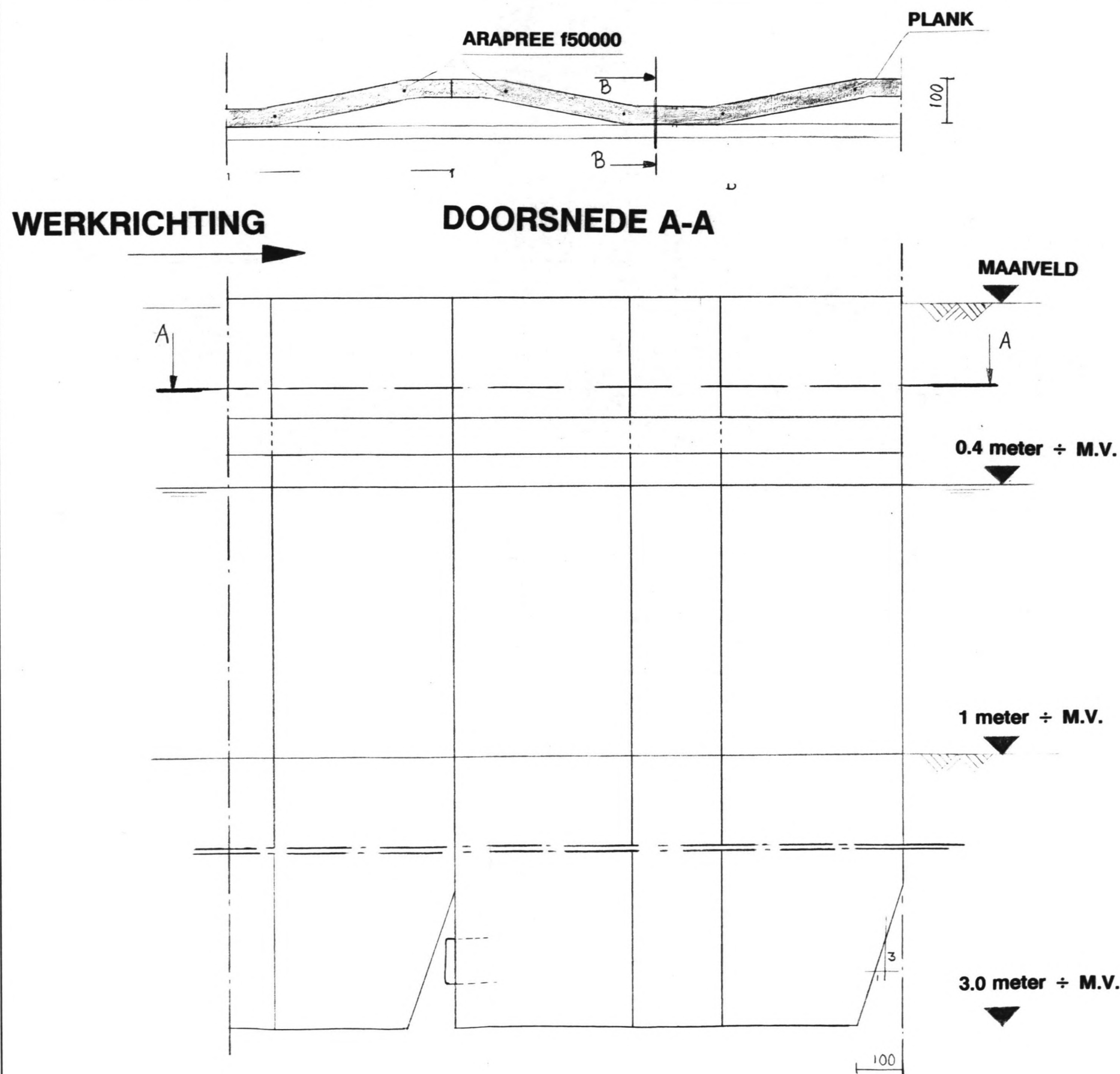
ARAPREE f50000



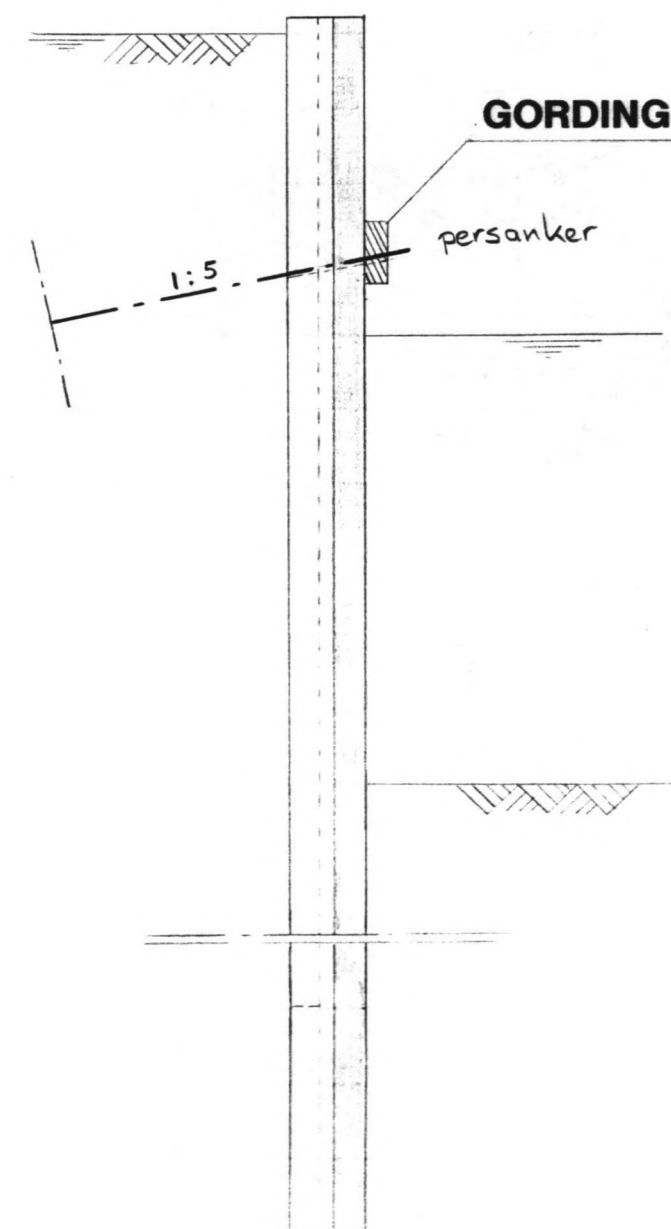
DETAIL PLANK, Schaal 1:1

SCHAAL 1:10

Maten in mm



AANZICHT



DOORSNEDE B-B

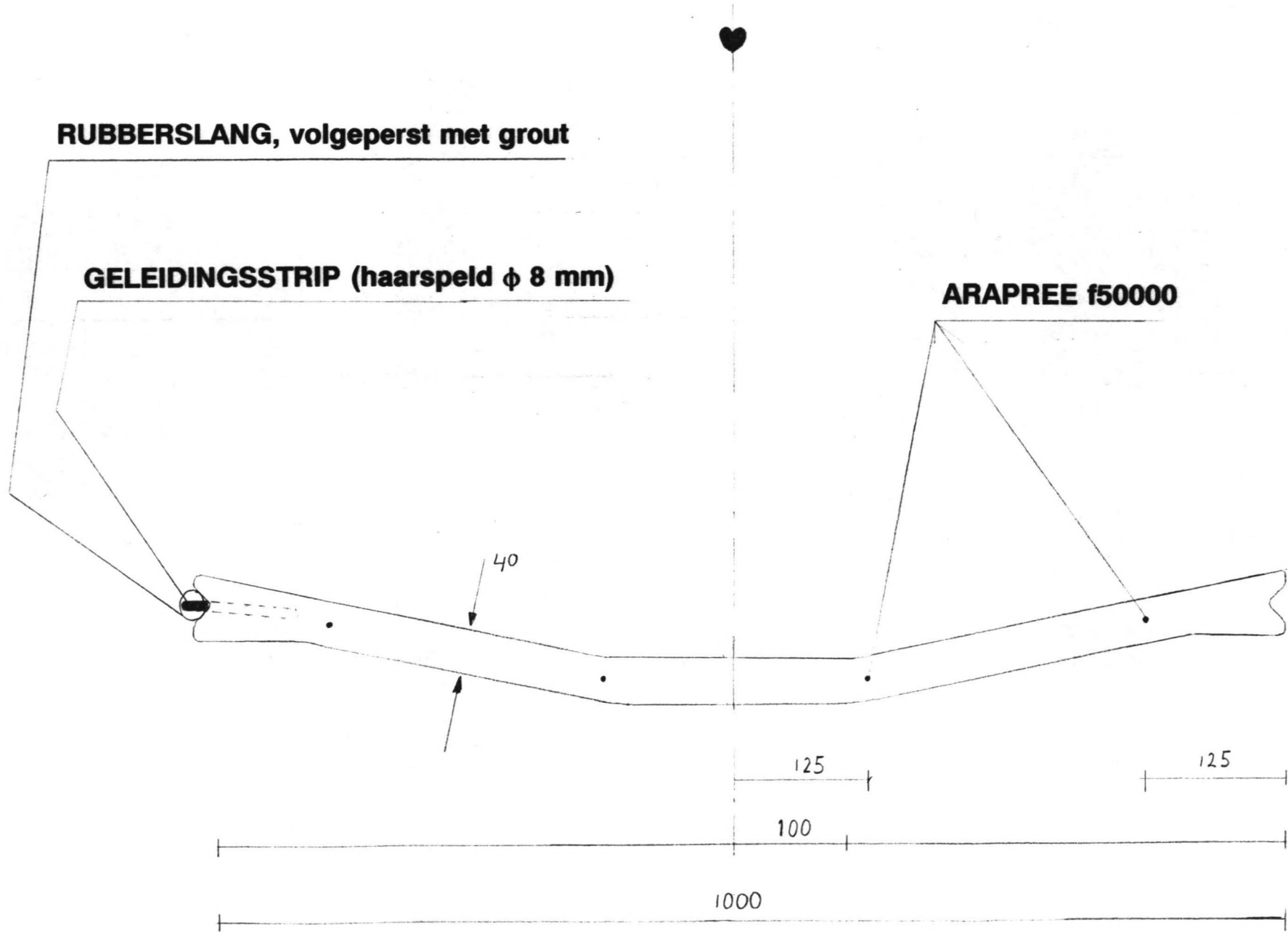
KERENDE HOOGTE 1 METER:

ALTERNATIEF 6 (verankerd):

drawing no.

2

B47^{II}



PLANK:

BETON: B45
Ab = 41000 mm²
ARAPREE: 4 staven f50000
totale lengte 12 m

DETAIL PLANK, Schaal 1:5

KERENDE HOOGTE 1 METER:

ALTERNATIEF 8 (verankerd):

drawing no.

1

B48

WERKRICHTING

ARAPREE 130000

PLANK

500

65

DOORSNEDE A-A

MAAIVELD

0.4 meter ÷ M.V.

1 meter ÷ M.V.

3.0 meter ÷ M.V.

1000

2000

300

AANZICHT

100

SCHAAL 1:10

Maten in mm

GORDING

1:5

DOORSNEDE B-B

KERENDE HOOGTE 1 METER:

ALTERNATIEF 8 (verankerd):

drawing no.

2

B49

GELEIDINGSSTRIP (haarspeld ϕ 8 mm)

RUBBERSLANG, volgeperst met grout

ARAPREE f30000

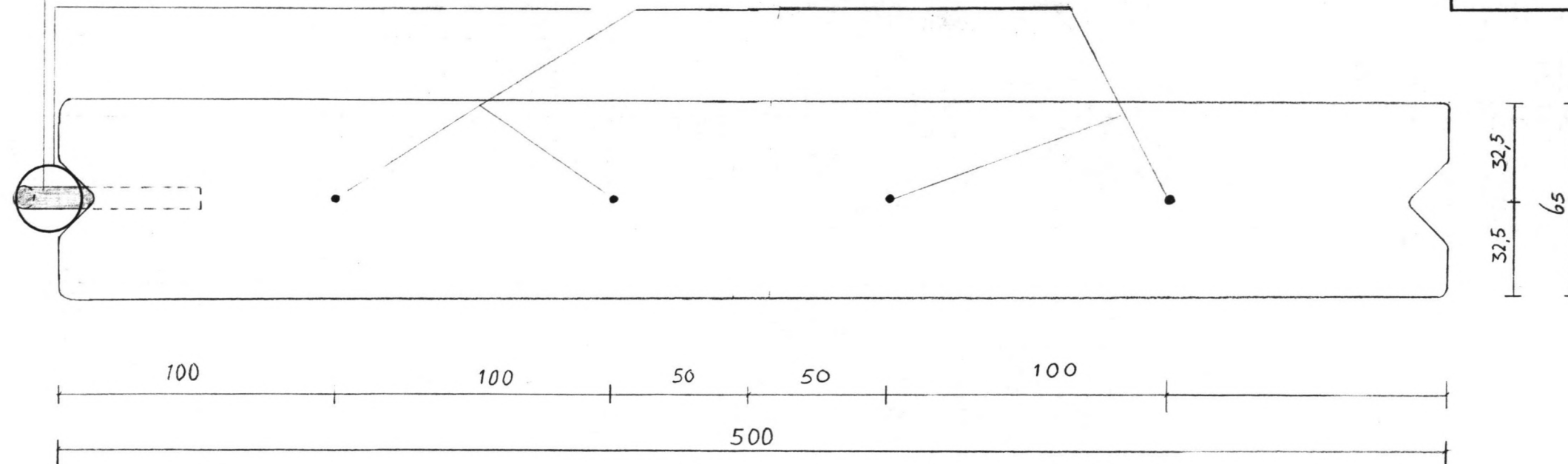
PLANK:

BETON: B45

$Ab = 32500 \text{ mm}^2$

ARAPREE: 4 staven f30000

totale lengte 12 m



DETAIL PLANK, Schaal 1:2

KERENDE HOOGTE 3 METER:

ALTERNATIEF 2 (verankerd)

drawing no.

1

B50

WERKRICHTING

200

STIJL

PLANK

ARAPREE

f200000

MAAIVELD

840

1000

300

DOORSNEDE A-A

B

55

B

140

180

100

420

SCHAAL 1:10

maten in mm

1 meter ÷ M.V.

10 meter ÷ M.V.

AANZICHT

Groutanker
detail B61

DOORSNEDE B-B

KERENDE HOOGTE 3 METER:

ALTERNATIEF 2 (verankerd):

drawing no.

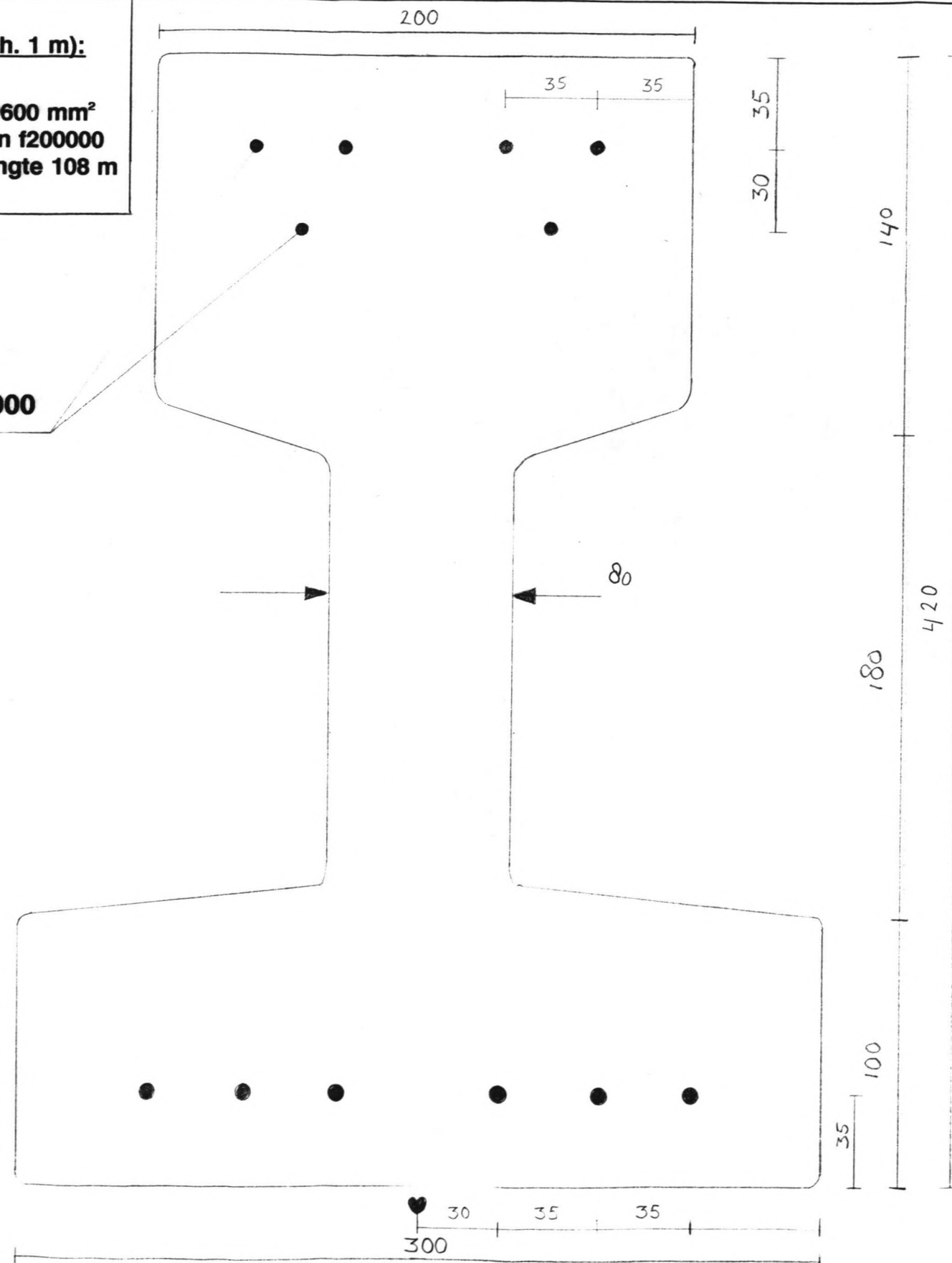
2

B51

STIJL (9 m lang; h.o.h. 1 m):

BETON: B45
Ab = 70600 mm²
ARAPREE: 12 staven f200000
totale lengte 108 m

ARAPREE f200000

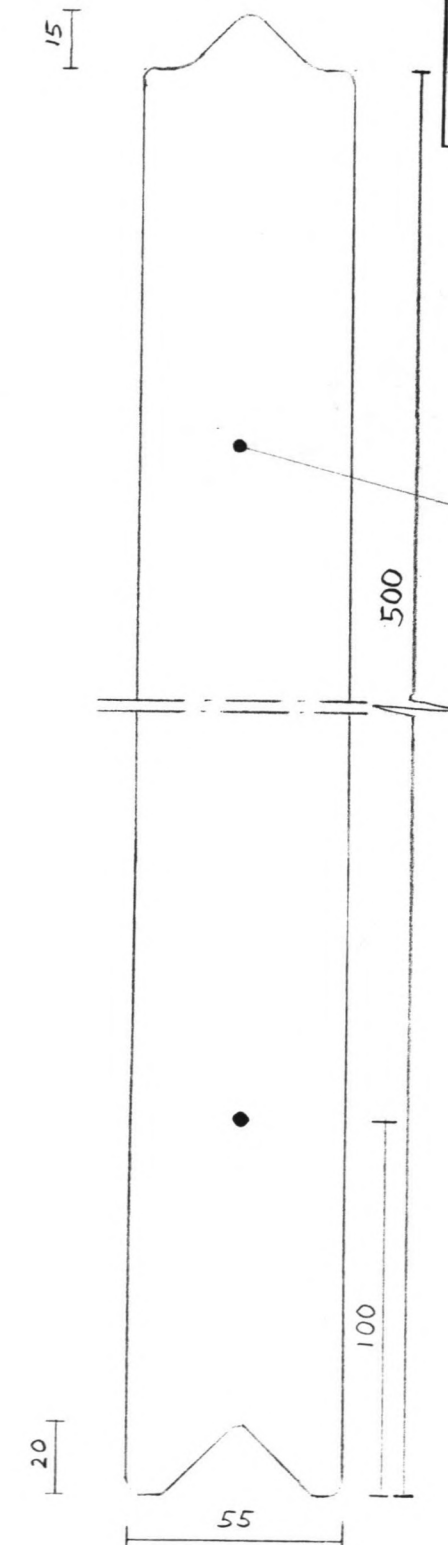


DETAIL STIJL, Schaal 1:2

PLANK (8 stuks per m oever):

BETON: B45
Ab = 27500 mm²
ARAPREE: 3 staven f100000
totale lengte 2,7 m

ARAPREE f100000



DETAIL PLANK, Schaal 1:2

KERENDE HOOGTE 3 METER:

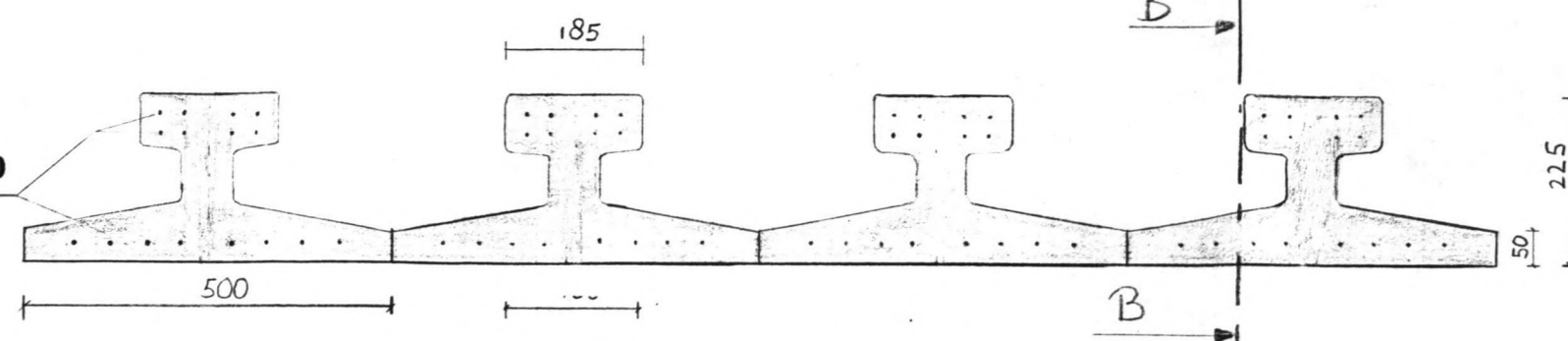
ALTERNATIEF 5 (verankerd):

drawing no.

1

B52

ARAPREE f100000



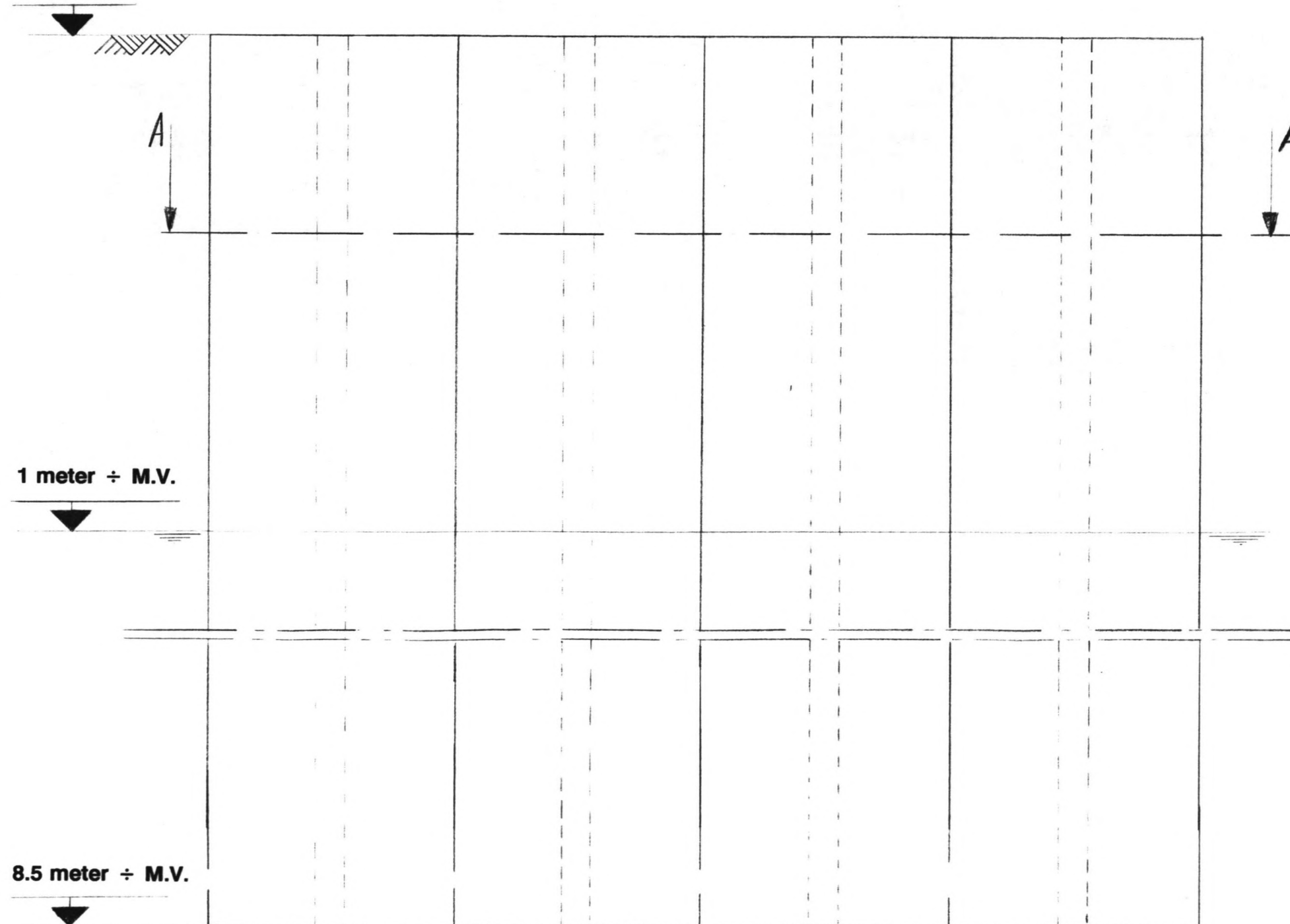
WERKRICHTING



SCHAAL 1:10
maten in mm

MAAIVELD

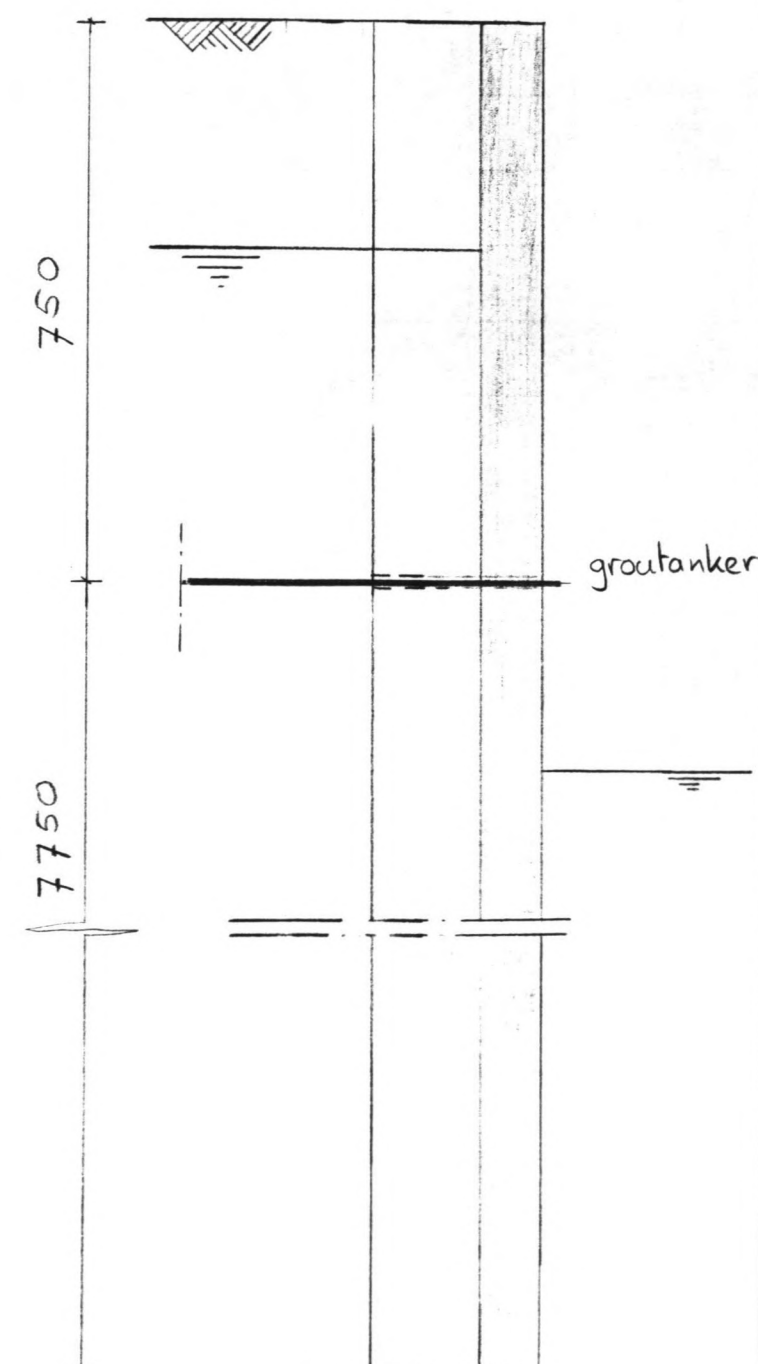
DOORSNEDE A-A



1 meter ÷ M.V.

8.5 meter ÷ M.V.

AANZICHT

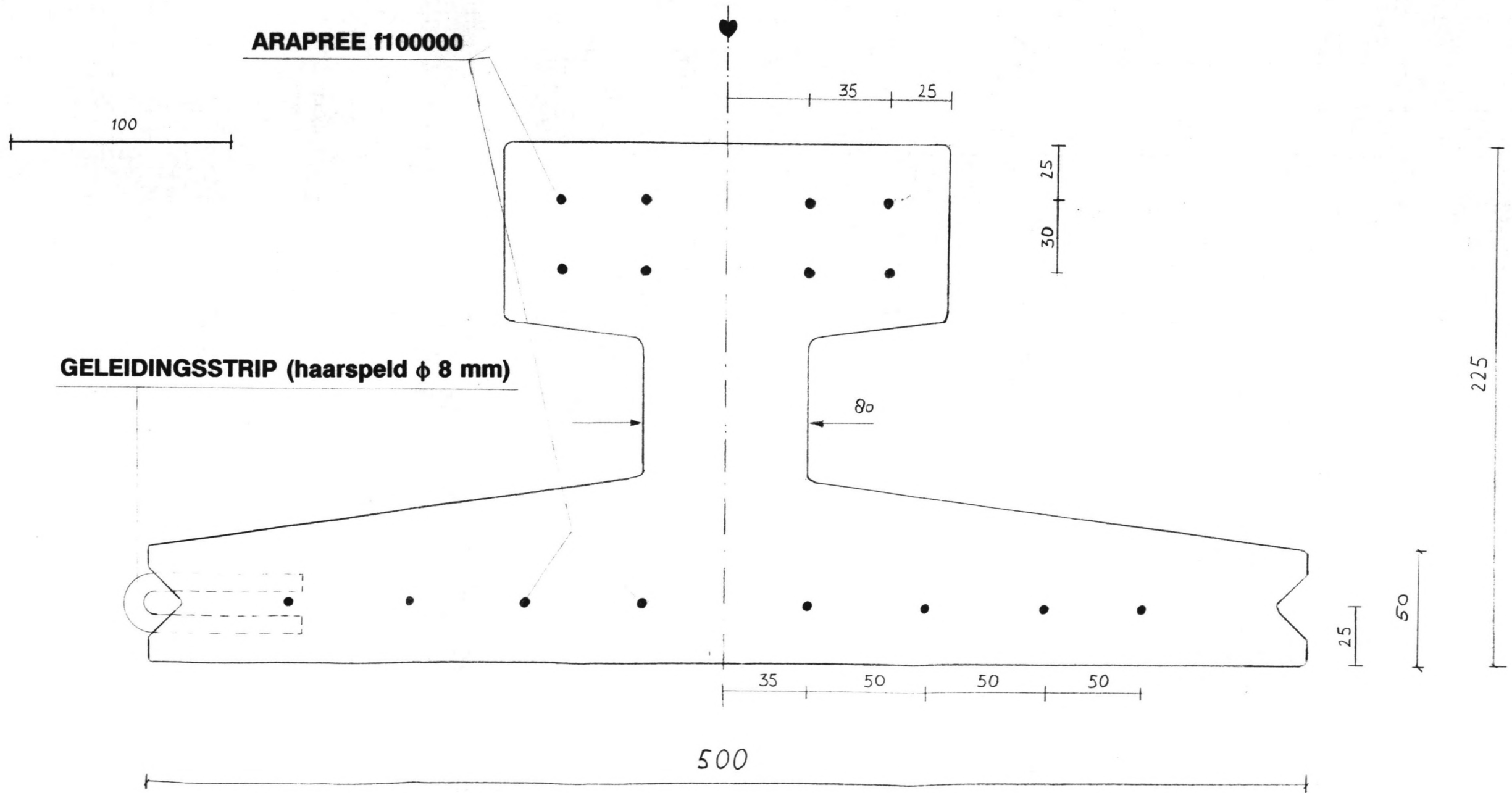


DOORSNEDE B-B

STIJL (8,5 m lang, 0,5 m breed):

BETON: B45
Ab = 45875 mm²

ARAPREE: 16 staven f100000
totale lengte 136 m



DETAIL STIJL, Schaal 1:2

KERENDE HOOGTE 3 METER:

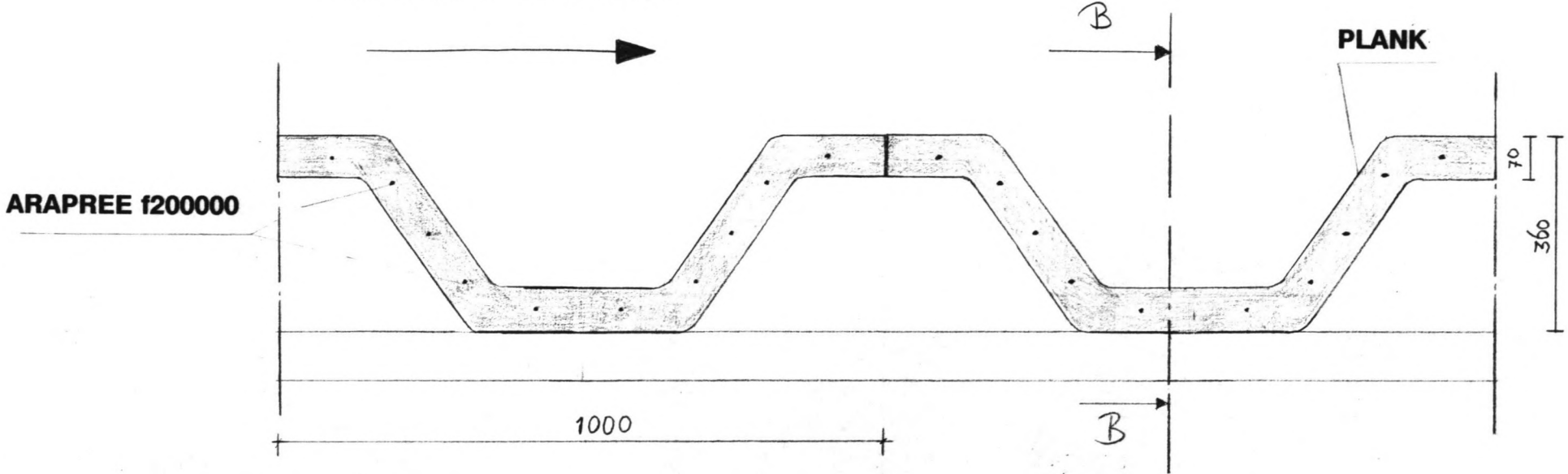
ALTERNATIEF 6 (verankerd):

drawing no.

1

B54

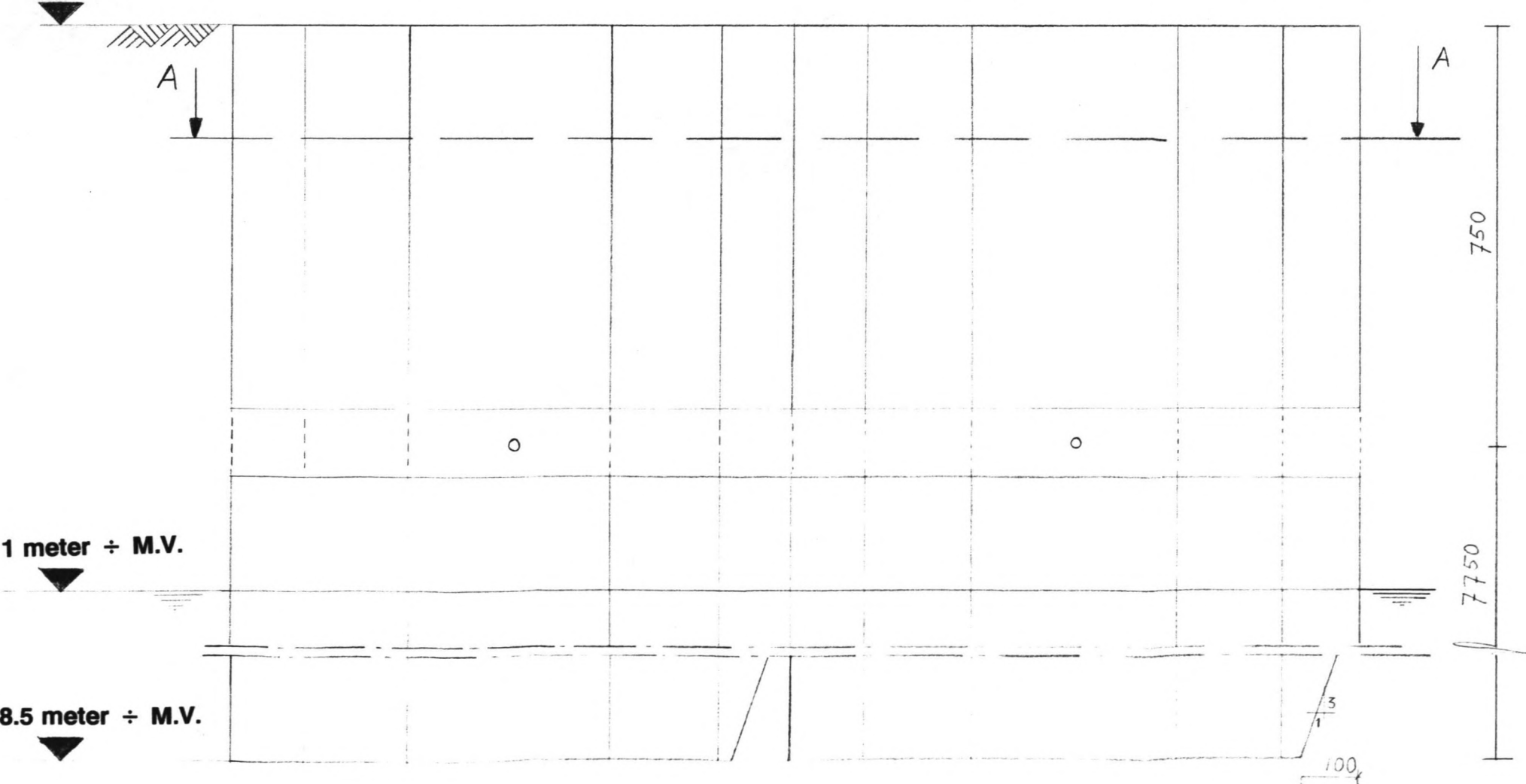
WERKRICHTING



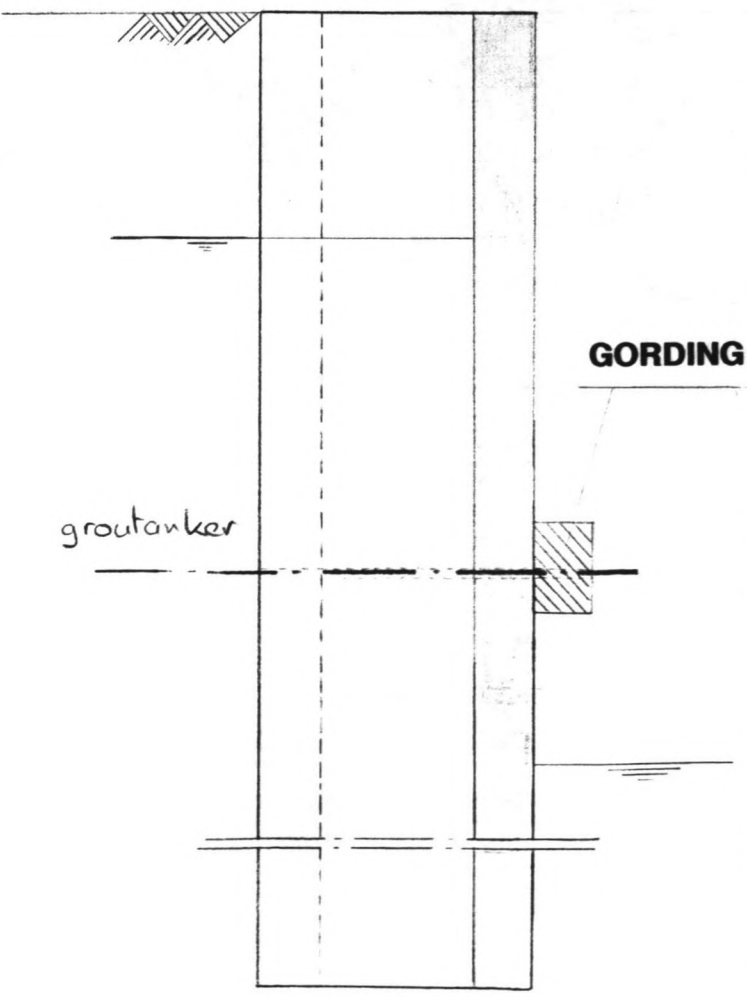
SCHAAL 1:10
maten in mm

DOORSNEDE A-A

MAAIVELD



AANZICHT



DOORSNEDE B-B

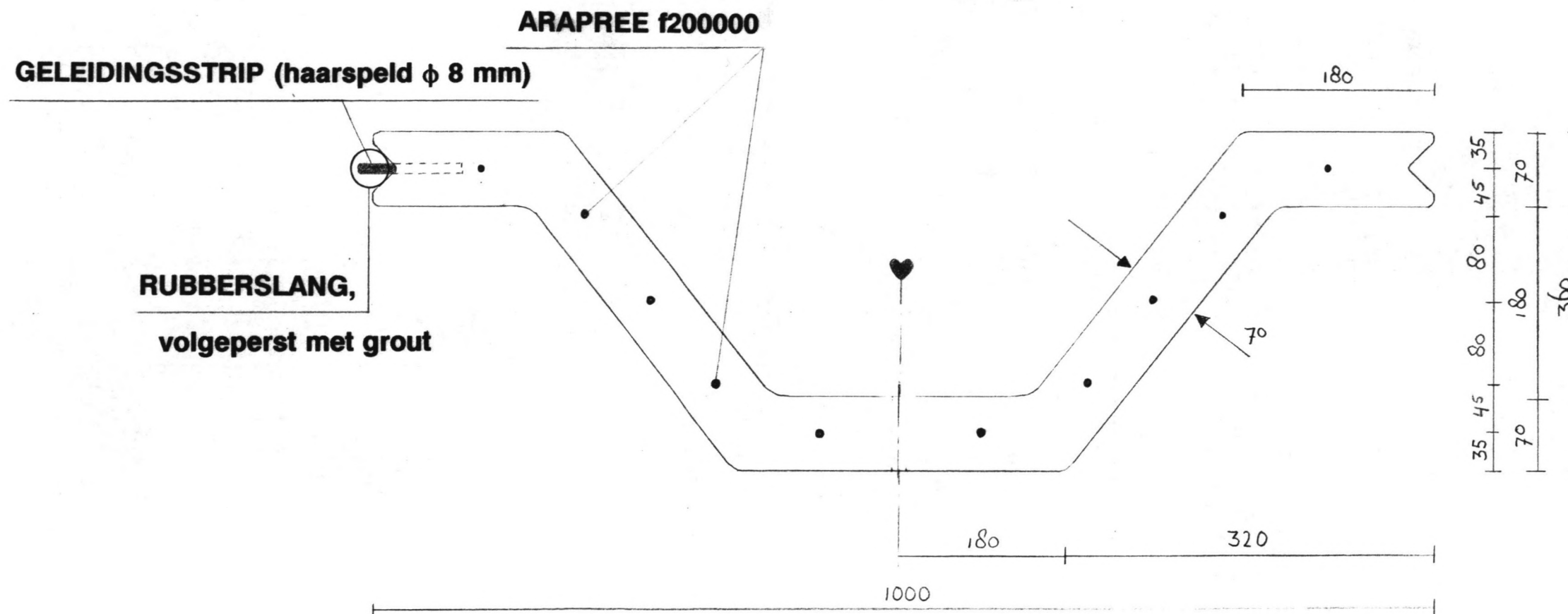
KERENDE HOOGTE 3,0 METER:

ALTERNATIEF 6 (verankerd):

drawing no.

2

B55



PLANK (8,5 m lang, 1,0 m breed):

BETON: B45
Ab = 90000 mm²
ARAPREE: 10 staven f200000
totale lengte 85 m

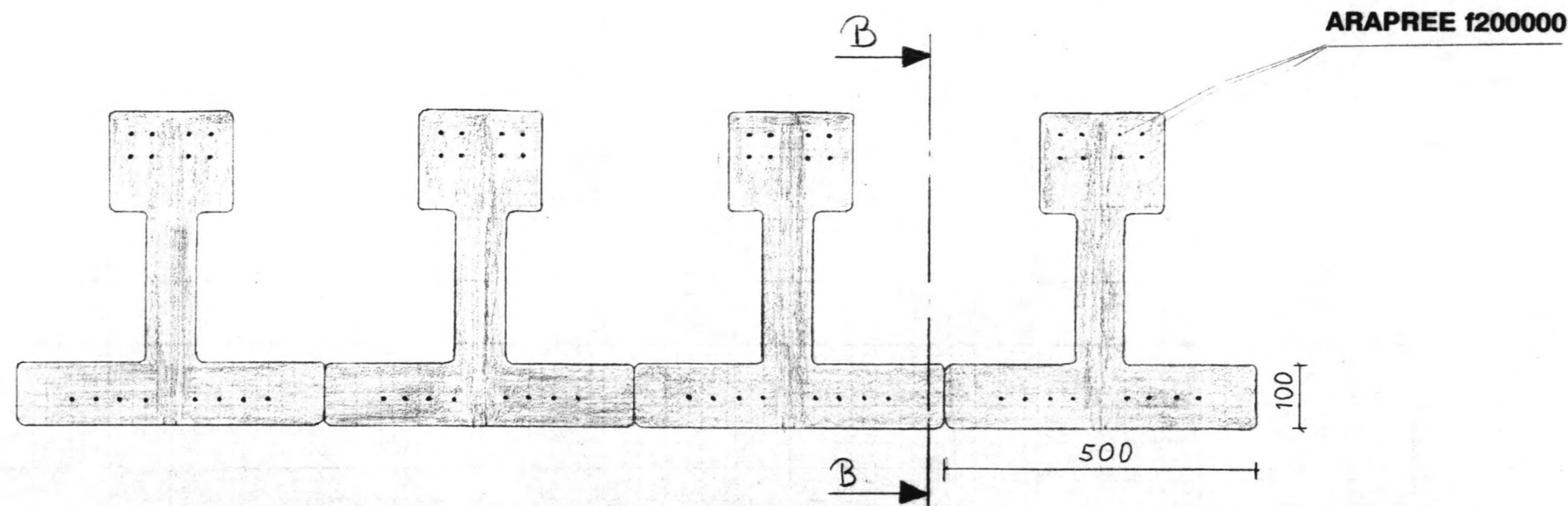
KERENDE HOOGTE 6 METER:

ALTERNATIEF 5 (verankerd):

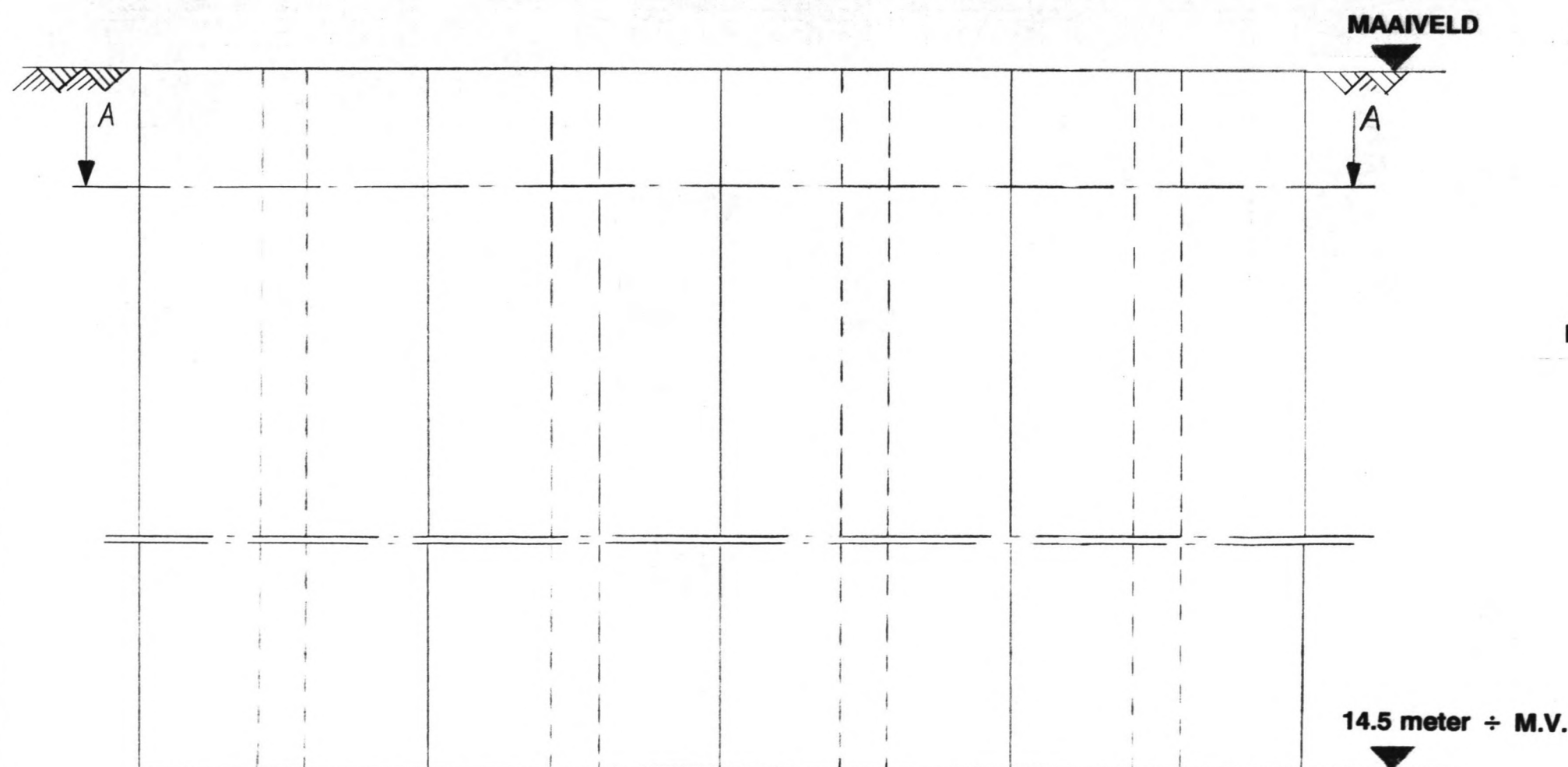
drawing no.

1

B56



DOORSNEDE A-A, Schaal 1:10



AANZICHT, Schaal 1:10

Maten in mm

hartlijn anker

groutanker

DOORSNEDE B-B, Schaal 1:20

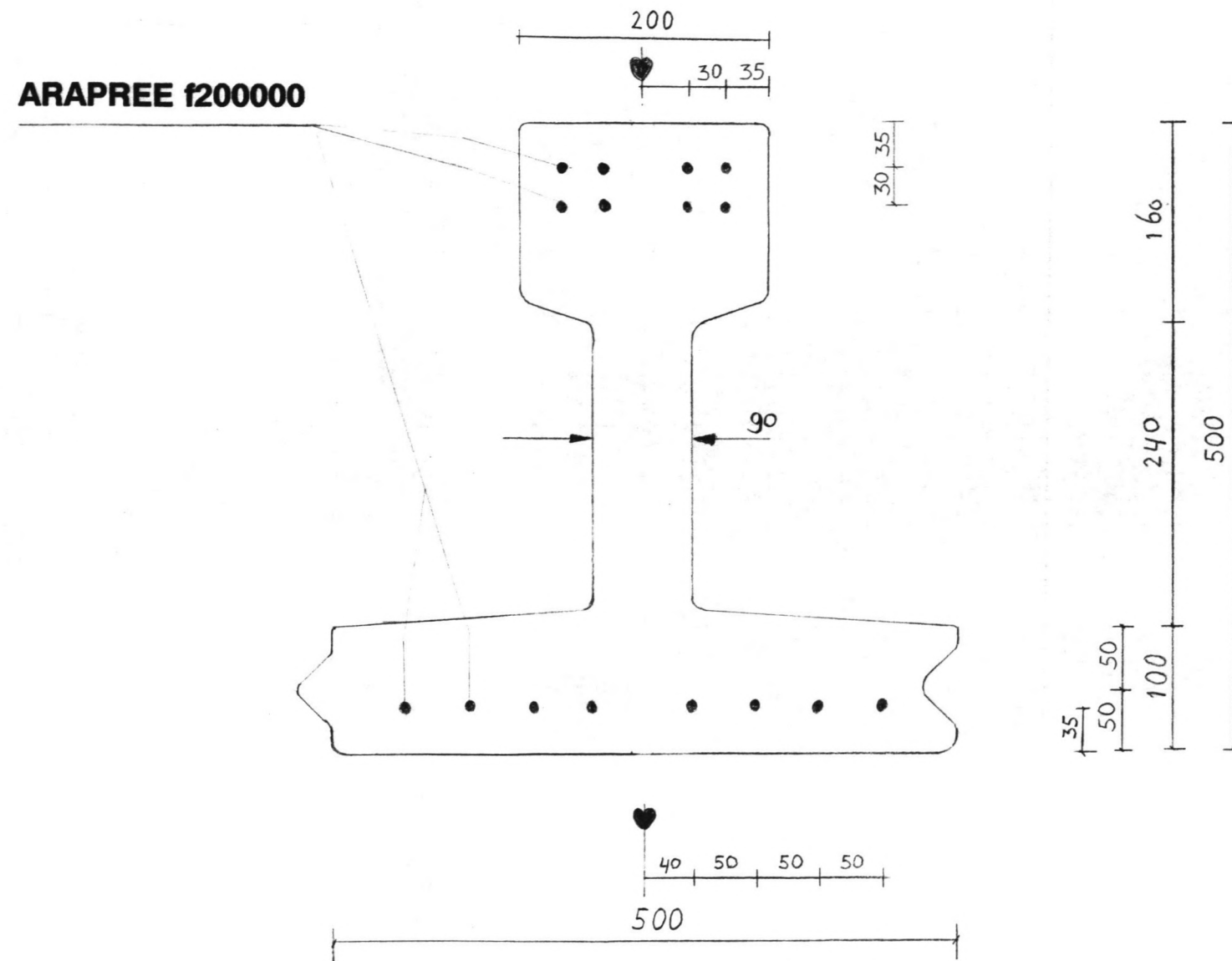
KERENDE HOOGTE 6 METER:

ALTERNATIEF 5 (verankerd):

drawing no.

2

B57



STIJL (14.5 m lang, 0.5 m breed):

BETON: B45

Ab = 101200 mm²

ARAPREE: 16 staven f200000

totale lengte = 232 meter

DETAIL STIJL, Schaal 1:5

KERENDE HOOGTE 6 METER:

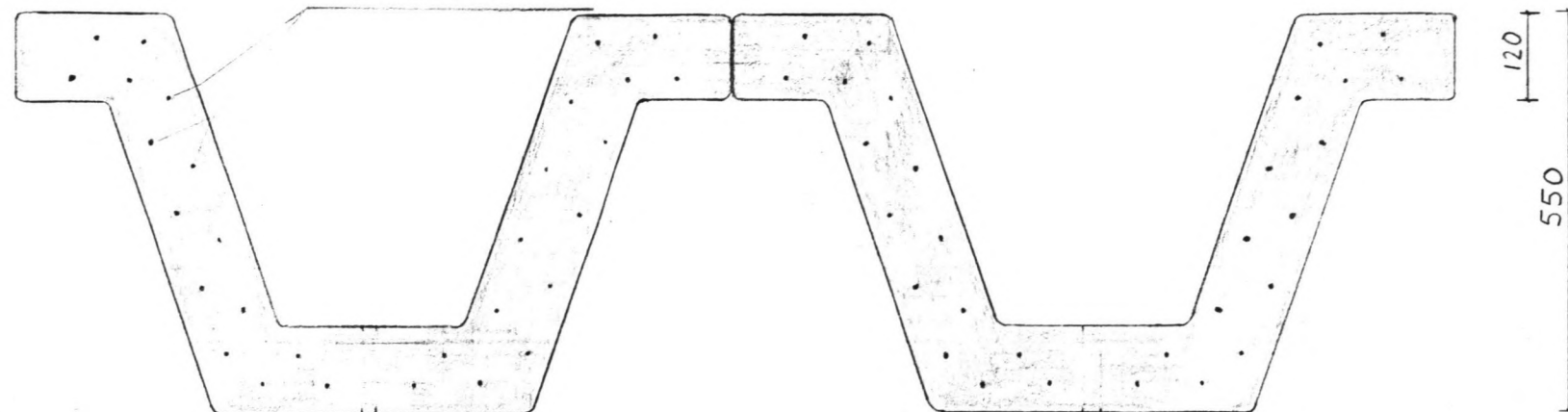
ALTERNATIEF 6 (verankerd):

drawing no.

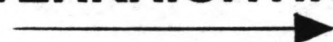
1

B58

ARAPREE f200000

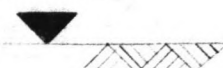


WERKRICHTING



DOORSNEDE A-A, Schaal 1:10

MAAIVELD



A



B



A



B

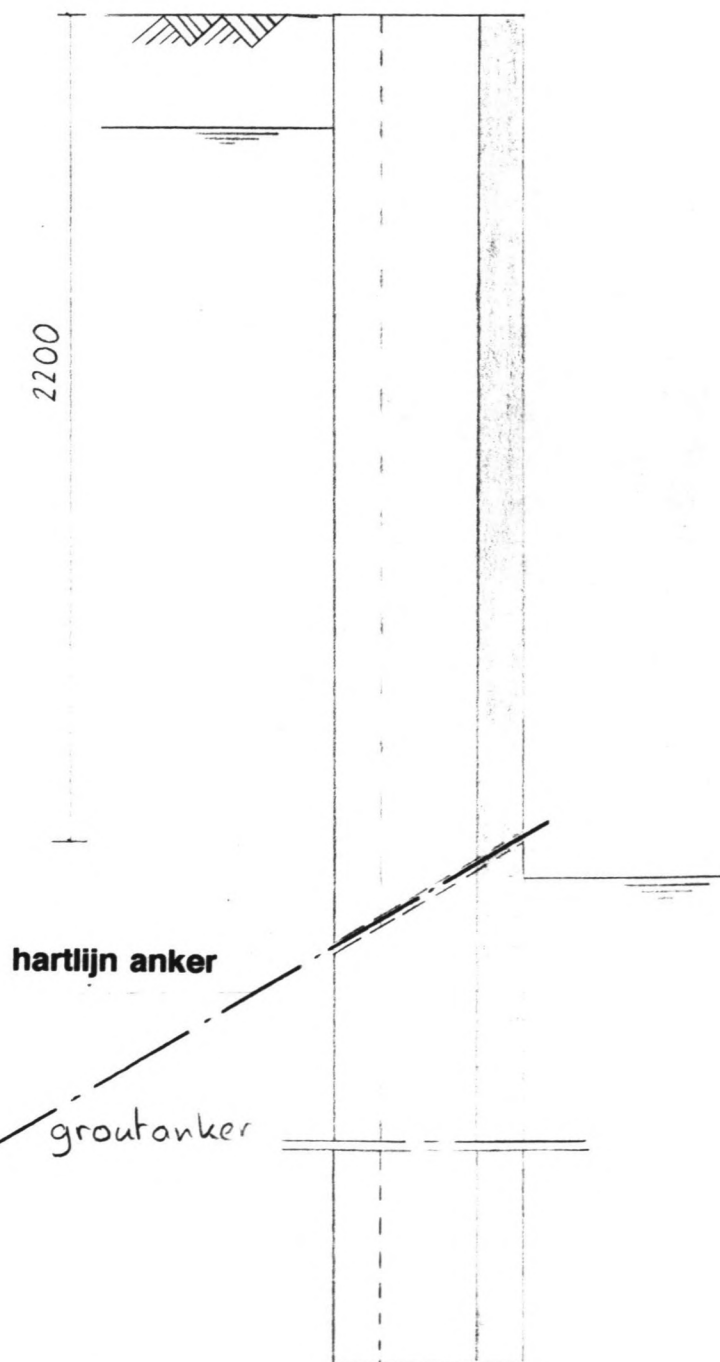


14.5 meter ÷ M.V.



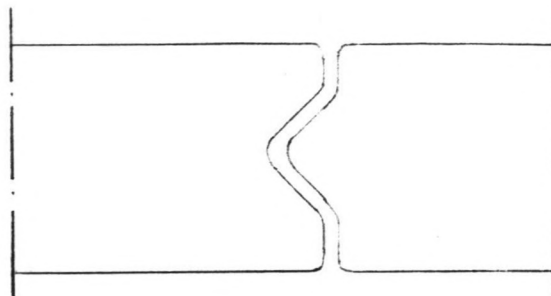
AANZICHT, Schaal 1:10

maten in mm

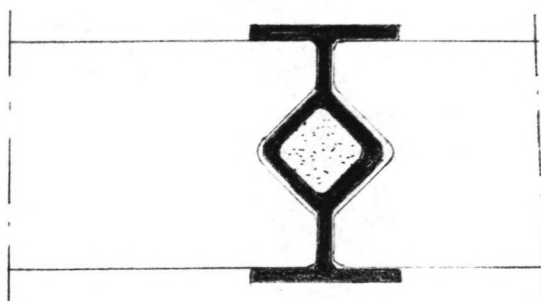


DOORSNEDE B-B, Schaal 1:20

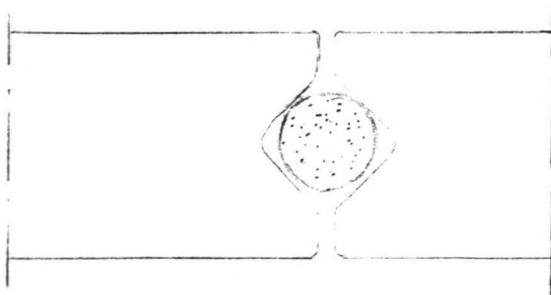
1. VISBEKAANSLUITING



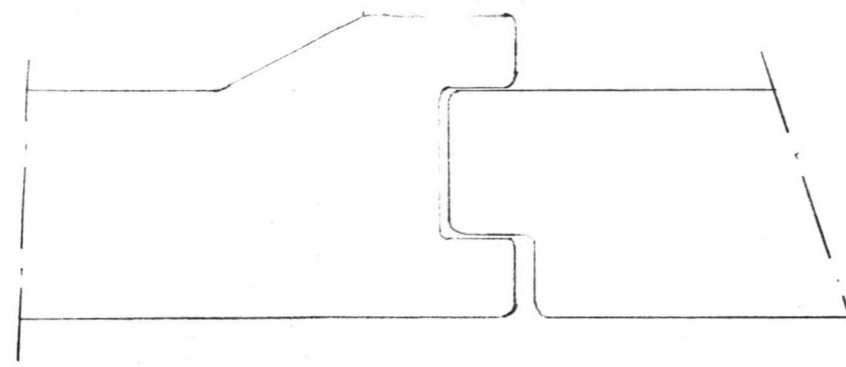
2. WEERSZIJDEN GROEVEN MET STALEN PROFIEL



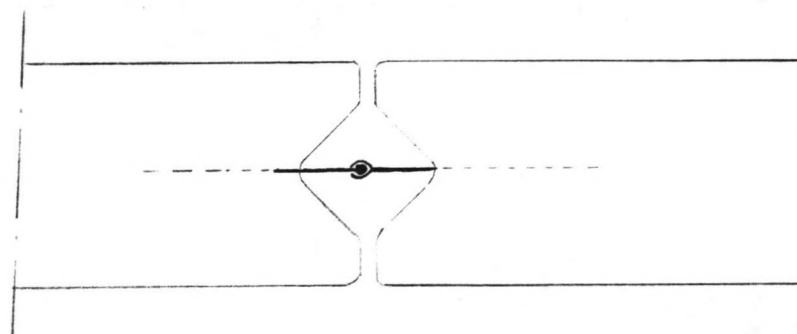
3. WEERSZIJDEN GROEVEN MET STALEN BUIS



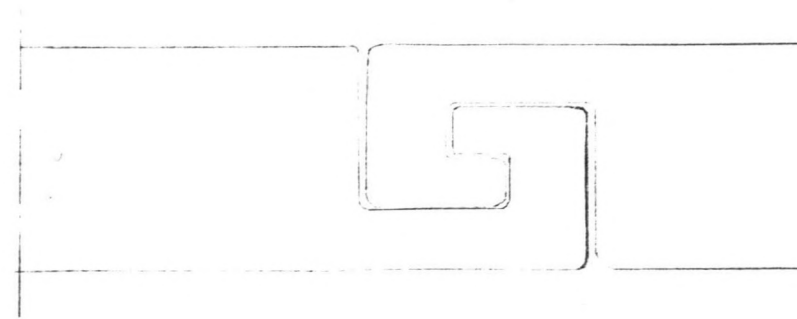
4. "STOMPE" AANSLUITING



5. AANSLUITNG MBV KUNSTSTOF PROFIEL

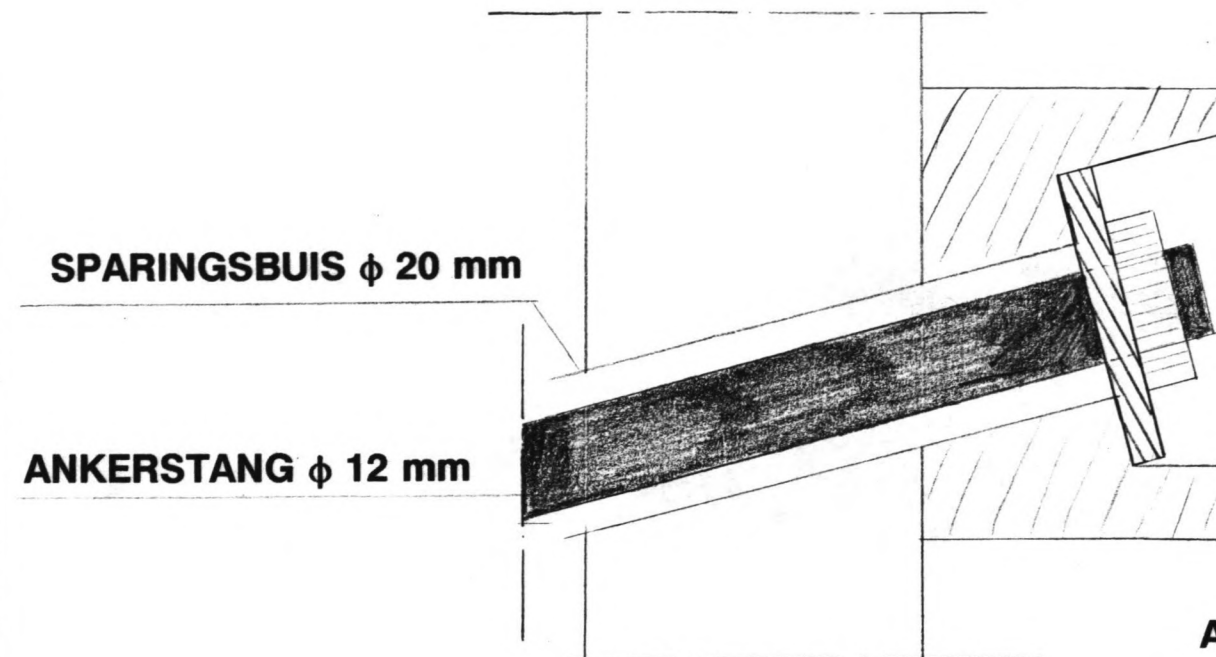


6. (VEZELVERSTERKT) BETONNEN AANSLUITING



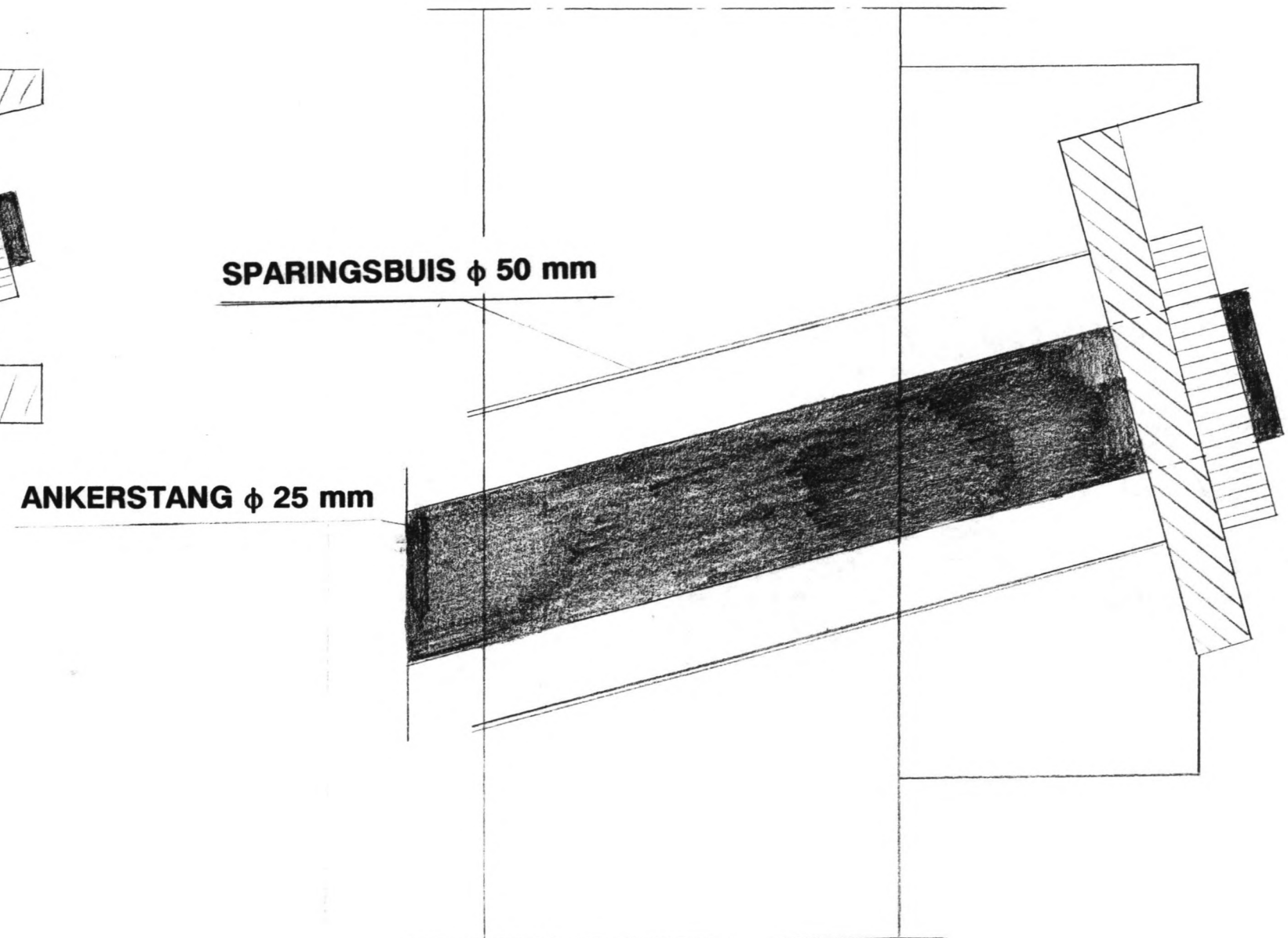
VOORBEELDEN AANSLUITINGEN

PERSANKER



AANSLUITING PERSANKER MET PROFIEL

GROUTANKER



AANSLUITING GROUT ANKER MET PROFIEL

BIJLAGE 7: Kosten betonnen profielen

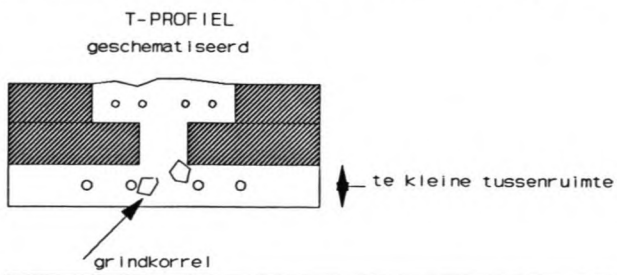
In hoofdstuk 7 is uiteengezet dat de fabricagekosten van de betonnen profielen als volgt zijn opgebouwd:

- materiaalkosten:
 - beton,
 - ARAPREE,
- kosten fabricage-proces:
 - mal,
 - arbeid,
- transportkosten,
- algemene kosten.

De overige kosten die verbonden zijn aan de fabricage van profielen (olie voor de mal, opslag grondstoffen en betonprodukten, materieel en dergelijke) zijn verrekend verondersteld in de algemene kosten. Achtereenvolgens zijn de bovenstaande kosten hieronder kort toegelicht voor zover dat nog niet is gedaan in hoofdstuk 7. Ook is aangegeven op welke wijze deze kosten zijn doorberekend in de fabricagekosten.

Betonkosten

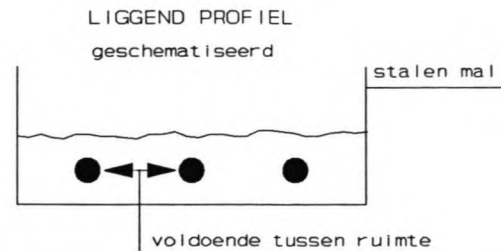
Voor profielen met een minimale afmeting (bijvoorbeeld de flens- of lijfdikte of de dikte van de plank) van 75 millimeter is een toeslag-diameter van het grind van 16 millimeter aangehouden. De belangrijkste reden hiervoor is de noodzaak om het beton in de mal te krijgen. Indien de dikte van de mal, of een gedeelte daarvan, kleiner is dan twee keer de diameter van het grind is het vrijwel onmogelijk een goede verdeling van de grindkorrels te krijgen. Het is dan moeilijk de grindkorrel langs de wapening te storten (zie nevenstaande figuur). Daarom is 80 millimeter aangehouden als "scheidingsmaat" tussen een toepassing van 32 en die van 16 millimeter. Voor de profielen welke "liggend" worden gestort (zie plank in nevenstaande figuur), geldt een kleinere maat als minimum afstand tussen de wapening en de buitenkant. Het beton is bij deze planken makkelijk te storten en vindt geen hinder van de kleine ruimte tussen de wapening en de buitenkant. Hier is als "scheidingsmaat" 70 millimeter aangehouden. Bij de zeer kleine dikten (25



tot 35 millimeter voor de beschoeiing) is uitgegaan van een diameter van 8 millimeter.

Voor alle grinddiameters zijn verschillende "kuub"-prijzen aangehouden voor het beton, te weten Fl 130,- , Fl 140,- en Fl 175,- voor respectievelijk 32, 16 en 8 millimeter. Deze waarden zijn ook

gegeven in hoofdstuk 7 in de grafiek voor de betonkosten.



ARAPREE

Zoals in het desbetreffende hoofdstuk is vermeld, is een lineair verband aangehouden tussen het aantal filamenten en de kostprijs van het ARAPREE. Dit behoeft geen verdere toelichting.

Malkosten

Uitgegaan is van twee stalen fabrieksmallen met een lengte van 80 en een breedte van 5 meter. Op deze wijze is een goede geautomatiseerde fabricage (weinig arbeid nodig) te realiseren. De kosten van een dergelijke mal bedragen ongeveer Fl 2.000,- per m² voor het staal. Dit resulteert in een kostprijs van Fl 1.600.000,- voor de beide stalen mallen. Het betonnen blok, benodigd om de mal op te plaatsen en de krachten op te nemen (van onder andere het spannen), kost Fl 120,- per m³. De kostprijs van de totale mal bedraagt nu Fl 1.696.000,-. Er is uitgegaan van een levensduur van de stalen mal (incl. het beton, hoewel dit niet tot weinig zal slijten gedurende het gebruik) van 5 jaar. Na deze periode is het oppervlak van de mal dermate aangetast (door het zagen van de profielen en slijtage als gevolg van veelvuldig beton storten en trillen) dat deze aan vervanging toe is. Er is rekening gehouden met een restwaarde van 5% voor de totale mal.

Om deze mal is een hal geplaatst van 100 * 20 m² met een levensduur van 10 jaar. De kosten voor een dergelijke hal bedragen Fl 1.000,- per m², resulterend in een totaal bedrag van Fl 2.000.000,-. Ook voor de hal is een restwaarde van 5% aangehouden.

Zoals in hoofdstuk 7 is vermeld is gekozen voor de afschrijvingsmethode der gelijkblijvende annuïteiten. Hierbij is uitgegaan van een constant bedrag (afschrijving en rente) dat per jaar moet worden betaald.

Deze annuïteit is bepaald met behulp van:

$$A_n = \frac{(1 + r)^n \cdot r}{(1 + r)^n - 1}$$

waarbij:

A_n = afschrijving per jaar (annuïteit),
 r = rentevoet (= 8%),
 n = levensduur.

De formule voor de jaarlijkse kosten is als volgt:

$$K_j = A_n \cdot W \cdot (1 - 0,05)$$

met:

K_j = jaarlijkse kosten
 W = aanschafwaarde.

Deze zijn voor de mal respectievelijk de hal, Fl 405.000 en Fl 285.000,- per jaar. Beide kosten zijn omgeslagen naar het aantal m² bovenoppervlak van de mal. De m²-prijs bedraagt Fl 4,30 bij een produktie per jaar zoals in het bovengenoemde hoofdstuk is vermeld.

Voor de berekening van de fabricagekosten is uitgegaan van Fl 5,- per m², vanwege onvoorziene extra uitgaven (kosten voor onderhoud van de mal en van "inzetstukken" voor het vervaardigen van I-, T- of V-elementen).

Bij het bepalen van de kosten voor de mal is uitgegaan van de zware mal dat voor ieder profiel kan worden gebruikt. Indien later blijkt dat alleen lichte elementen haalbaar zijn, zijn de malkosten te verlagen.

Arbeidskosten

Deze kosten zijn net als de kapitaalkosten, uitgedrukt in een prijs per m² bovenoppervlak van de mal. Deze kosten zijn ook afhankelijk van het totaal aantal staven ARAPREE. De berekening van de arbeidskosten per profiel-type is als volgt:

- bepalen aantal manuren voor het vervaardigen van het desbetreffende profiel voor de gehele bank, lengte 80 meter, per meter breedte. Dit is de tijd die nodig is voor het doorlopen van de fasen 1 tot en met 7

uit hoofdstuk 7. Voor de profielen welke een breedte kleiner dan 1 meter hebben, betekent dat meerdere profielen naast elkaar worden vervaardigd,

- vermenigvuldigen van deze uren met het uurloon (Fl 40,-) en dit bedrag delen door het totale oppervlak ($80 \times 1 = 80 \text{ m}^2$) van de mal.

Dit is voor elk relevant profiel-type gedaan en resulteert in 8 verschillende arbeidsprijzen per m^2 . Deze procedure is samengevat in tabel B17.

Profiel-type	Omschrijving	# manuren	Totale kosten voor gehele mal	Kosten per m^2 bovenoppervlak
1	2 staven; plank breed 0,2 meter	14	f 560,-	f 7,-
2	4 staven; plank breed 0,5 meter	10	f 400,-	f 5,-
3	4 staven; V-planken	25	f 1000,-	f 12,50
4	10 staven; V-planken	30	f 1200,-	f 15,-
5	30 staven; V-planken	35	f 1400,-	f 17,50
6	4 staven; I-stijlen	35	f 1400,-	f 17,50
7	12 staven; I-stijlen	45	f 1800,-	f 22,50
8	15 staven; T-stijlen	30	f 1200,-	f 15,-

Tabel B17: Bepalen arbeidskosten per m^2

Transportkosten

Voor de transportkosten is uitgegaan van twee verschillende waarden, te weten voor kleine en voor grote elementen. Voor de eerste soort zijn extra kosten berekend voor palleteren en sealen. Deze handelingen vergen extra arbeid (en tijd) waardoor deze profielen duurder zijn voor transport. Bij grote profielen (lengte meer dan 5 meter en "niet te stapelen" profiel-vormen, zoals V-planken en T-stijlen) is dit niet mogelijk en zijn de elementen te vervoeren zoals bijvoorbeeld betonnen heipalen. De aangehouden kosten zijn berekend aan de hand van de prijs per vrachtwagen.

Voor een vrachtwagen is Fl 800,- per dag gerekend en een maximum laadvermogen van 30 ton. Er is aangenomen dat deze wagen 1,5 keer per dag naar het werk rijdt zodat de kosten per ton zijn, voor grote profielen:

$$\frac{800}{1,5 \cdot 30} = f 17,80$$

en voor kleine elementen:

$$\frac{800}{1,5 \cdot 30} \cdot 1,5 = f 26,70$$

Hierbij is aangenomen dat er een verschil van 50% is tussen de transportprijs van grote en die van kleine profielen.

Algemene kosten

Voor het bepalen van de algemene kosten is de m³-prijs van betonnen heipalen beschouwd, zoals deze is gehanteerd bij de verkoop van palen bij Schokindustrie. Hier is uitgegaan van een prijs van Fl 550,- per m³ betonpaal. Ook deze prijs is opgebouwd uit een aantal onderdelen, te weten materiaalkosten (beton en staal), arbeidskosten, transportkosten en algemene kosten. Nu is gesteld dat de algemene kosten bij deze produktie gelijk zijn aan die van de produktie van betonnen damwand-profielen. Door nu elk kosten-onderdeel van de heipaal te bekijken, is een schatting te maken voor het percentage algemene kosten. De posten zijn hieronder per m³ beschreven:

o beton: Fl 130,- (diameter 32 millimeter),

o staal (100 kilogram staal per m³ beton à Fl 2,00):

Fl 200,- (voorspanstaal)

o arbeids- en malkosten (paal van 0,4 * 0,4 m² à Fl 25,- per m² bovenvlak, resulterend in Fl 10,- / 0,16 m²):

Fl 65,- per m³

o transportkosten (Fl 18,- per ton, totaal 2,4 ton):

Fl 45,- per m³

Dit geeft een totaal van Fl 440,- per m³ beton. Uitgaande van de bovengenoemde kostprijs, zijn de algemene kosten in dit voorbeeld 25% van de

totale kosten. Verondersteld mag worden dat de algemene kosten bij een nieuw produkt in eerste instantie hoger zijn, zodat uitgegaan is van 30%.

In de tabellen op de volgende vier bladzijden zijn voor elke hoogte de bovenstaande kosten per profiel berekend (aan de hand van de gegeven profielwaarden) en zijn de totale kosten per profiel, het aantal elementen en de kosten per meter oever weergegeven.

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

ALTERNATIEF	BETONKOSTEN		ARAPREE-KOSTEN		MAL-KOSTEN	
	# m ³	FL.	# staven	FL.	bovenbreedte	FL.
2, stijl	0,044	6,14	4	7,70	0,15 m	2,63
plank	0,006	0,97	3	1,52	0,20 m	0,92
4, stijl	0,028	3,92	2	3,85	0,08 m	1,40
plank	0,005	0,88	2	1,10	0,20 m	1,00
8v, plank	0,056	7,88	3	6,19	0,50 m	6,25
8, plank	0,120	16,80	4	16,50	0,50 m	7,50

	ARBEIDSKOSTEN		TRANSPORTKOSTEN		TOTALE KOSTEN per element (excl A.K.)	Alg. KOSTEN (30%)
	profiel-type	FL.	# kg	FL.		
2, stijl	6	9,19	105	2,81	f 28,48	f 8,54
plank	1	1,29	13	0,35	f 5,05	f 1,51
4, stijl	1	1,96	67	1,79	f 12,92	f 3,88
plank	1	1,40	12	0,32	f 4,70	f 1,41
8v, plank	2	6,25	135	3,60	f 30,16	f 9,05
8, plank	2	7,50	288	7,68	f 55,98	f 16,79

	TOTALE KOSTEN per element	AANTAL p/m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
2, stijl	f 36,99	1	f 70,16
plank	f 6,56	5	
4, stijl	f 16,80	2	f 64,28
plank	f 6,10	5	
8v, plank	f 39,21	2	f 78,42
8, plank	f 72,77	2	f 145,55

Tabel B18: Kerende hoogte 0,5 meter.

ALTERNATIEF	BETONKOSTEN		ARAPREE-KOSTEN		MAL-KOSTEN	
	# m ³	FL.	# staven	FL.	bovenbreedte	FL.
2, stijl	0,058	8,13	4	20,90	0,16 m	3,04
plank	0,006	1,03	2	2,53	0,20 m	0,92
6v, plank	0,123	17,22	4	16,50	1,00 m	15,00
6, plank	0,258	36,18	10	110,00	1,00 m	20,00
8v, plank	0,098	13,65	4	9,90	0,50 m	7,50
8, plank	0,190	24,70	4	88,00	0,50 m	10,00

	ARBEIDSKOSTEN		TRANSPORTKOSTEN		TOTALE KOSTEN per element (excl A.K.)	Alg. KOSTEN (30%)
	profiel-type	FL.	# kg	FL.		
2, stijl	6	10,64	139	3,71	f 46,42	f 13,93
plank	1	1,29	14	0,38	f 6,15	f 1,84
6v, plank	3	37,50	295	7,87	f 94,09	f 28,23
6, plank	4	60,00	620	16,54	f 242,71	f 72,81
8v, plank	2	7,50	234	6,24	f 44,79	f 13,44
8, plank	2	10,00	456	12,16	f 144,86	f 43,46

	TOTALE KOSTEN per element	AANTAL p/m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
2, stijl	f 60,35	1	f 132,85
plank	f 7,99	9	
6v, plank	f 122,32	1	f 122,32
6, plank	f 315,53	1	f 315,53
8v, plank	f 58,23	2	f 116,45
8, plank	f 188,32	2	f 376,64

Tabel B19: Kerende hoogte 1,0 meter.

De kostprijsberekening van de variant op alternatief 2 (met andere uitvoeringsmethode) is weergegeven op bladzijde B 71 (zowel voor een hoogte van 1,0 als 3,0 meter).

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

ALTERNATIEF	BETONKOSTEN		ARAPREE-KOSTEN		MAL-KOSTEN	
	# m ³	FL.	# staven	FL.	bovenbreedte	FL.
2, stijl plank	0,635	88,96	12	594,-	0,30 m	13,50
	0,025	3,54	3	8,-	0,50 m	2,30
5v, stijl	0,390	54,59	8	374,-	0,50 m	21,25
5, stijl	1,129	146,80	15	990,-	0,50 m	30,00
6v, plank	0,765	107,10	10	468,-	1,00 m	42,50

	ARBEIDSKOSTEN		TRANSPORTKOSTEN		TOTALE KOSTEN per element (excl A.K.)	Alg. KOSTEN (30%)
	profiel-type	FL.	# kg	FL.		
2, stijl plank	7	60,75	1525	27,11	f 784,31	f 235,29
	2	2,30	61	1,62	f 17,35	f 5,21
5v, stijl	8	63,75	936	16,64	f 530,23	f 159,07
5, stijl	8	90,00	2710	48,18	f 1304,98	f 319,49
6v, plank	4	127,50	1836	32,64	f 777,24	f 233,17

	TOTALE KOSTEN per element	AANTAL p/m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
2, stijl plank	f 1019,61	1	f 1200,09
	f 22,56	8	
5v, stijl	f 689,30	2	f 1378,59
5, stijl	f 1696,47	2	f 3392,94
6v, plank	f 1010,41	1	f 1010,41

Tabel B20: Kerende hoogte 3,0 meter.

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

ALTERNATIEF	BETONKOSTEN		ARAPREE-KOSTEN		MAL-KOSTEN	
	# m ³	FL.	# staven	FL.	bovenbreedte	FL.
5v, stijl	1,467	190,76	16	1276,-	0,50 m	36,25
6v, plank	2,488	323,48	30	2393,-	1,00 m	72,50

	ARBEIDSKOSTEN		TRANSPORTKOSTEN		TOTALE KOSTEN per element (excl A.K.)	Alg. KOSTEN (30%)
	profiel-type	FL.	# kg	FL.		
5v, stijl	8	108,75	3521,8	62,61	f 1674,37	f 502,31
6v, plank	5	253,75	5972,0	106,17	f 3148,40	f 944,52

ALTERNATIEF	TOTALE KOSTEN per element	AANTAL p/m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
5v, stijl	f 2176,68	2	f 4353,96
6v, plank	f 4092,93	1	f 4092,93

Tabel B21: Kerende hoogte 6,0 meter.

Zoals in hoofdstuk 7 is vermeld, veranderen de afmetingen en fabricagekosten van alternatief 2 door een andere uitvoeringsmethode. Door de planken in de grond te drukken, zijn de momenten waarop de stijl en de planken worden berekend, kleiner dan in de aangehouden berekeningen. In de onderstaande tabellen is een nieuwe kostprijs berekend (bij 1,0 en 3,0 meter kerende hoogte) voor deze variant.

HOOGTE 1,0 m ALTERNATIEF	BETON	ARAPREE	MAL	ARBEID	TRANSPORT	TOTAAL (excl. A.K.)
2, stijl	6,78	16,72	3,04	10,64	3,10	40,28
plank	1,02	1,98	0,92	1,29	0,38	5,73

	KOSTEN per element	# per m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
2, stijl	52,37	1	f 117,54
plank	7,42	9	

HOOGTE 3,0 m ALTERNATIEF	BETON	ARAPREE	MAL	ARBEID	TRANSPORT	TOTAAL (excl. A.K.)
2, stijl	61,78	396,00	13,50	60,75	20,30	552,30
plank	2,90	7,59	2,30	2,30	1,34	16,41

	KOSTEN per element	# per m oever	TOTALE KOSTEN per meter oever
2, stijl	717,99	1	f 895,86
plank	21,34	8	

Tabel B22: Variant op alternatief 2.

BIJLAGE 8: Fabricagekosten huidige oplossingen

In hoofdstuk 8 zijn de huidige oplossingen besproken met de bijbehorende materiaal gegevens (sterkten, minimum en maximum afmetingen, corrosie (voor staal) en de aangehouden kostprijzen per eenheid). In deze bijlage zijn de afmetingen van de oplossingen bepaald, alsmede de bijbehorende kosten.

Afmetingen

Bij het bepalen van de afmetingen van de profielen is uitgegaan van dezelfde momenten als bij de betonnen alternatieven. De afmetingen van hout zijn bepaald met behulp van de formule:

$$W = \frac{M \cdot b}{\sigma} \quad (1)$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad (2)$$

Bij een gekozen breedte is de hoogte nu te berekenen. Voor de stijlen geldt dat de breedte gelijk is aan de hoogte. Voor hout zijn nu de afmetingen te bepalen. Zoals vermeldt in het hoofdstuk, is voor de afmetingen van de GRC-delen uitgegaan van de waarden opgegeven door de fabrikant.

Voor staal geldt een aparte bepaling van de afmetingen. Deze is als volgt:

de stalen profielen (Hoesch en Larssen) zijn getabelleerd zodat bij een gegeven moment het profiel direct te kiezen is; met dit profiel is de corrosie berekening (vermindering van de doorsnede aan de waterzijde en daarmee een verlaging van het weerstandsmoment en het opneembaar moment) uitgevoerd met een belastingscoëfficiënt van 1,2 aa het einde van de levensduur (50 jaar); indien het profiel niet voldoet aan deze eis is een groter profiel genomen net zolang totdat een profiel, met een minimaal gewicht, voldoet; deze corrosie-eis blijkt in alle gevallen maatgevend voor het bepalen van het profiel.

De afmetingen zijn weergegeven per hoogte in de volgende tabellen.

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

Kerende hoogte 0,5 meter				
	Materiaal	Anker?	Dikte (mm)	Lengte (m)
Hout_1	Azobé damwand	nee	30	3,0
Hout_2	Naalddh.damwand	nee	45	3,0
Hout_3	Azobé stijl	ja	40	3,5
	beschoeiing		10	1,0
Hout_4	Naalddh.stijl	ja	60	3,5
	beschoeiing		10	1,0
GRC_1	Azobé stijl	ja	40	3,5
	GRC-deel		10	1,5

Kerende hoogte 1,0 meter				
	Materiaal	Anker?	Dikte (mm)	Lengte (m)
Hout_1	Azobé damwand	ja	30	3,0
Hout_2	Naalddh. damwand	ja	35	3,0
Hout_3	Azobé stijl	ja	60	3,7
	beschoeiing		10	1,0
Hout_4	Naalddh. stijl	ja	90	3,7
	beschoeiing		20	1,0

Kerende hoogte 3,0 meter					
	Materiaal	Anker	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Lengte (m)
Hout_1	Azobé damwand	ja	100	300	8,5
			Profieltype	Gewicht (kg/m ²)	Lengte (m)
Staal_1	Stalen damwand	nee	Larssen 24	175	12,0
Staal_1v	Stalen damwand	ja	Larssen 61	94	8,5
Staal_2	Stalen damwand	nee	Hoesch 175	175	12,0
Staal_2v	Stalen damwand	ja	Hoesch 95	95	8,5

Opmerkingen bij de tabellen:

- voor azobé is de minimum dikte bij lage oevers maatgevend, terwijl voor naalddhout een toepassing bij 3,0 meter niet mogelijk is (maximum

Kerende hoogte 6,0 meter					
Materiaal		Anker	Profieltype	Gewicht (kg/m ²)	Lengte (m)
Staal_lv	Stalen damwand	ja	Larssen 23	155	14,5
Staal_2v	Stalen damwand	ja	Hoesch 134	134	14,5

dikte). Voor de beschoeiing zijn twee dikten aangehouden, te weten 10 en 20 millimeter. Voor alle toepassingen geldt dit als een minimum maat,

- in de meeste gevallen is een verankerde wand bekeken omdat dan een vergelijking met de betonnen damwanden mogelijk is (deze zijn immers ook verankerd); bij de houten damwanden voor een hoogte van 0,5 meter is de benodigde dikte van een onverankerde wand al minder dan de minimum eis zodat bij deze hoogte geen anker is toegepast.

Voor het bepalen van de fabricagekosten is uitgegaan van gegevens verstrekt door het bedrijfsbureau van de Hollandsche Beton en Waterbouw. Samen met de afmetingen uit de voorgaande tabellen resulteert dit in fabricagekosten per hoogte (zie onderstaande tabellen). Voor elke oplossing zijn de kosten van een element berekend. Deze zijn vermenigvuldigd met het aantal elementen per meter oever, te weten:

- houten stijlen 2
- houten planken 5 (hoogte 0,5 meter)
8 (hoogte 1,0 meter)
- houten damplanken 3,3
- stalen profielen 1

Voor staal zijn coatingskosten berekend a Fl 30,- per m² oppervlak. Dit oppervlak is gelijk aan de kerende hoogte (plus iets extra's) keer de breedte (=1,0 meter) van de plank (4,0 m² voor 3,0 meter hoogte en 8,0 m² voor 6,0 meter kerende hoogte).

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

ALTERNATIEF	VOLUME (m ³)	MATERIAAL KOSTEN per eenheid	EENHEID	FL. mat.	FL. totaal (incl transp.) per element
Hout_1	0,027	1200,-	m ³	32,40	32,97
Hout_2	0,036	700,-	m ³	25,20	25,56
Hout_3 stijl	0,006	12,-	stuk	12,00	12,12
plank	0,002	40,-	m ²	8,00	8,04
Hout_4 stijl	0,013	6,-	stuk	6,00	6,13
plank	0,004	20,-	m ²	4,00	4,04
GRC_1, stijl	0,007	12,-	stuk	12,00	10,14
plank	0,015	35,-	stuk	35,00	35,99

Tabel B27: Kerende hoogte 0,5 meter.

ALTERNATIEF	VOLUME (m ³)	MATERIAAL KOSTEN per eenheid	EENHEID	FL. mat.	FL. totaal (incl transp.) per element
Hout_1v	0,027	1200,-	m ³	32,40	32,97
Hout_2v	0,036	800,-	m ³	28,80	29,16
Hout_3 stijl	0,013	20,-	stuk	20,00	20,26
plank	0,002	40,-	m ²	8,00	8,04
Hout_4 stijl	0,028	13,-	stuk	13,00	13,28
plank	0,004	20,-	m ²	4,00	4,04

Tabel B28: Kerende hoogte 1,0 meter.

ALTERNATIEF	VOLUME (m ³)	MATERIAAL KOSTEN per eenheid	EENHEID	FL. mat.	FL. totaal (incl transp.) per element
Hout_1v	0,255	1200,-	m ³	408,00	413,36
	GEWICHT				per m oever
Staal_1v	799,0	1400,-	ton	1118,60	1252,08
Staal_2v	807,5	1400,-	ton	1130,50	1264,63

Tabel B29: Kerende hoogte 3,0 meter.

De kosten per meter oever zijn voor de goedkoopste oplossingen weergegeven in hoofdstuk 8.

HAALBAARHEIDSSSTUDIE BETONNEN DAMWANDEN

ALTERNATIEF	GEWICHT (kg)	MATERIAAL KOSTEN per eenheid	EENHEID	FL. mat.	FL. totaal (incl transp.) per m oever
Staal_1v	2248	1400,-	ton	3146,50	3425,87
Staal_2v	1943	1400,-	ton	2720,20	3003,20

Tabel B30: Kerende hoogte 6,0 meter.

