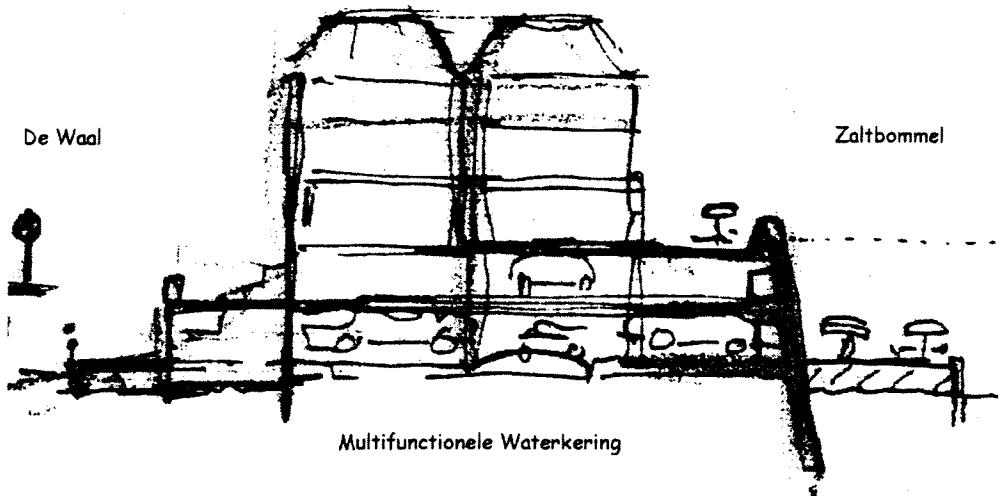


Stad aan de Rivier



Afstudeerrapport

Technische Universiteit Delft
faculteit der Civiele Techniek

Vakgroep Waterbouw
Sectie Waterbouwkunde

Afstudeerbegeleiders:

ir. K.G. Bezuyen
prof. drs. ir. J.K. Vrijling
ir. J.G. Oostveen
dhr. H. Zwanziger

M.J. van Alphen
studienummer: 012254

Juli 1999

Inhoud

1.	HISTORIE AFSTUDEERONDERWERP	4
1.1	INLEIDING	4
1.2	BEGRENZINGEN ZALTBOMMEL	7
1.3	LIGGING HUIDIGE WATERKERING	9
2.	INVENTARISATIE PROBLEEM-OMSCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE	11
2.1	KNELPUNTEN ZALTBOMMEL	11
2.2	HUIDIGE PLANNEN DIJKVERBETERING	11
2.2.1	uitgangspunten van de gemeente	11
2.2.2	uitgangspunten dijkbeheerder	12
2.2.3	Eis van de minister van verkeer en waterstaat	12
2.3	DIJKVERBETERING, STAND VAN ZAKEN	13
2.4	DIJKVERBETERINGSOPTIES VOOR ZALTBOMMEL	13
2.5	KNELPUNTEN WATERKERINGSTRACÉ	15
2.6	LIGGING TRACÉ VOLGENS HUIDIGE PLANNEN	18
2.6.1	Eerste variant tracékeuze polderdistrict	18
2.6.2	Tweede variant tracékeuze polderdistrict	19
3.	ALTERNATIEF OP HUIDIGE PLANNEN	21
3.1	ALTERNATIEF OP LIGGING TRACÉ ‘HUIDIGE PLANNEN’	21
3.1.1	variant architect H. Zwanziger	21
3.2	MULTIFUNCTIELE WATERKERING IN HET PLAN ‘ZALTBOMMEL WATERSTAD’	23
3.2.1	Standaarddoorsneden	24
3.2.2	afweging van een oplossing anders dan de traditionele dijkverzwaring	25
4.	FUNCTIESPLITSING HORIZONTAAL/VERTICAAL	28
4.1	VERSCHILLEN DIJKLICHAAM - MULTIFUNCTIELE WATERKERING T.A.V. FUNCTIEEL ASPECT	28
4.2	MOGELIJKE COMBINATIES VAN FUNCTIESPLITSING	29
4.2.1	Keuze horizontaal/verticaal combineren van functies	31
5.	GEGEVENEN T.B.V. BEREKENING	32
5.1	GRONDGEGEVENEN	32
5.1.1	inleiding	32
5.1.2	mogelijkheden bepaling grond eigenschappen	32
5.1.3	geologische opbouw van de ondergrond	34
5.1.3.1	wrijvingsgetal	34
5.1.3.2	sondering	36
5.1.4	boorprofiel	36
5.1.5	aan te houden waarden tabel 1 NEN 6740	37
5.1.5.1	gronddrukfactoren	38
5.1.5.2	Beddingsconstante	39
5.2	(GROND)WATERGEGEVENEN	40
5.2.1	gemiddelde (grond)waterstanden	40
5.2.1.1	Capillaire opstijging	41
5.2.2	grondwaterstroming	41
5.2.2.1	Methoden voor bepaling van de stijghoogen in de grondlagen	42
5.2.2.2	Stijghoogte verloop huidige waterkering: de dijk	42
5.2.2.2.1	Horizontale grondwaterstroming	43
5.2.2.2.2	Verticale grondwaterstroming	43
5.2.2.3	Veiligheid tegen opbarsten	44
5.2.3	maatgevende hoogwaterstand	44
5.3	BELASTINGEN	45
5.3.1	Permanente belastingen	45
5.3.1.1	eigen gewicht van het kunstwerk	45
5.3.1.2	belastingen door grond en grondwater	45
5.3.1.3	belastingen ten gevolge van opgelegde vervorming	46
5.3.1.4	belastingen door oppervlaktewater	46
5.3.2	Veranderlijke belastingen	46
5.3.2.1	windbelasting	46
5.3.2.2	(wind)golven	46
5.3.2.3	verkeersbelastingen	46

5.3.3 Bijzondere belastingen.....	47
5.3.4 maatgevende belastingcombinaties.....	47
6. MULTIFUNCTIONELE WATERKERING	48
6.1 ALGEMEEN	48
6.1.1 nieuwe techniek versus traditionele techniek	48
6.1.2 Basis-ontwerp multifunctionele waterkering	49
6.1.3 Uitgangspunten: Locatie, Geometrie en Materialen.....	49
6.1.3.1 locatie.....	49
6.1.3.2 Geometrie	50
6.1.4 Rekenkundige uitgangspunten.....	51
6.1.5 uitwerkingsmethodiek	51
6.1.5.1 Bovenbouw	51
6.1.5.2 Onderbouw / waterkering	52
6.1.5.2.1 parkeergarage	52
6.1.5.2.2 de waterkeringsvarianten	53
6.2 BIJZONDERE CONSTRUCTIE	55
6.2.1.1 algemeen	55
6.2.1.2 Indeling grondkerende constructies.....	55
6.3 DAMWAND.....	57
6.3.1 algemeen	57
6.3.2 Damwandoplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2	57
6.3.2.1 Standaarddoorsnede 1	58
6.3.2.2 Standaarddoorsnede 2	59
6.3.3 Resultaten ontwerpberekeningen	60
6.3.4 Bijzondere toepassingen damwanden	61
6.3.5 Haalbaarheid damwand	63
6.4 KISTDAM	64
6.4.1 algemeen	64
6.4.2 Kistdamoplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2	64
6.4.2.1 Standaarddoorsnede 1	65
6.4.2.2 Standaarddoorsnede 2	65
6.4.3 berekeningmethode	66
6.4.4 Resultaten ontwerpberekeningen	66
6.4.5 Haalbaarheid kistdam	68
6.5 KEERMUUR	70
6.5.1 algemeen	70
6.5.2 Keermuuroplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2	70
6.5.2.1 Standaarddoorsnede 1	70
6.5.2.2 Standaarddoorsnede 2	70
6.5.3 Constructieve aspecten	71
6.5.3.1 fundering	71
6.5.3.2 Gebruik van een damwandscherf bij de L-muur	71
6.5.4 Resultaten ontwerpberekeningen	72
6.5.5 Uitvoeringsmethodiek	73
6.5.6 Haalbaarheid L-muur in MFW	73
6.6 GEWAPENDE GRONDCONSTRUCTIE	74
6.6.1 algemeen	74
6.6.2 Haalbaarheid gewapende grondconstructie als MFW	74
6.7 GABIONS	75
6.7.1 Algemeen	75
6.8 ALGEMENE CONCLUSIE HOOFDSTUK 6.3 - 6.7	75
6.9 VARIANTEN WANDOPLOSSINGEN	76
6.9.1 Algemeen	76
6.9.2 Belastingen	76
6.10 DIEPWANDEN	77
6.10.1 algemeen	77
6.10.2 Diepwand in de standaarddoorsneden 1 en 2	78
6.10.2.1 Standaarddoorsnede 1	78
6.10.2.2 Standaarddoorsnede 2	78
6.10.3 Constructieve aannames t.b.v. het ontwerp	79
6.10.4 Bijzonderheden	79
6.10.5 Haalbaarheid	79
6.11 VOORGESPANNEN BETONNEN DAMWANDEN	81

6.11.1	algemeen	81
6.11.1.1	Beschrijving voorgespannen betonnen damwanden.....	81
6.11.2	Prefab betonnen damwand in standaarddoorsnede 1 en 2	82
6.11.2.1	Standaarddoorsnede 1	83
6.11.2.2	Standaarddoorsnede 2	83
6.11.3	Haalbaarheid.....	83
6.12	PALENWAND.....	85
6.12.1	algemeen	85
6.12.2	Palenwand in standaarddoorsnede 1 en 2.....	85
6.12.2.1	Standaarddoorsnede 1	85
6.12.2.2	Standaarddoorsnede 2	86
6.12.3	Haalbaarheid.....	86
6.13	COMBIWAND.....	87
6.13.1	algemeen	87
6.13.2	Combiwand in standaarddoorsnede 1 en 2	87
6.13.2.1	Standaarddoorsnede 1	87
6.13.2.2	Standaarddoorsnede 2	87
6.13.3	Haalbaarheid combiwand.....	88
6.14	TOETSINGSCRITERIA WATERKERINGSVARIANTEN.....	89
6.15	MULTICRITERIA EVALUATIE CONSTRUCTIEF ONTWERP.....	91
6.15.1	Keuze constructief ontwerp	92
7.	RIVIERKUNDIGE PROBLEMEN	94
7.1	INLEIDING	94
7.2	PROJECTGEBIED	95
7.2.1	Stroom voerende breedtes bij verschillende waterstanden.....	95
7.3	VERHANGLIJNEN.....	99
7.3.1.1	Verhanglijnvergelijking	99
7.3.1.2	Berekening uitgangssituatie	101
7.3.1.3	Berekening nieuwe toestand.....	101
7.3.2	Resultaat.....	103
7.4	HOOGWATERGOLVEN	105
7.4.1	Theorie hoogwatergolven	105
7.4.1.1	lange-golf vergelijkingen	105
7.4.2	Resultaten.....	107
7.4.3	Conclusie:.....	107
8.	BEGROTING	108
8.1.1	De calculatie van de verschillende wandvarianten	108
8.1.2	kostenvergelijking multifunctionele waterkering - traditionele dijkverzwareing	109
8.1.2.1	Baten	109
8.1.3	Begroting Zaltbommel Waterstad	110
8.1.3.1	Resultaat.....	111
9.	CONCLUSIE	112

1. HISTORIE AFSTUDEERONDERWERP

1.1 INLEIDING

Dit afstudeerverslag omvat de studie naar de toepasbaarheid van een multifunctionele waterkering aan de rivier 'de Waal' in Zaltbommel.

Zaltbommel kampt met een tekort aan bouwgrond voor woningbouw. Als de woonwijk 'de Waluwe' in Zaltbommel-zuid in het jaar 2000 is volgebouwd heeft de gemeente geen enkele ruimte meer beschikbaar voor woningbouw. In de in april 1990 opgestelde structuurvisie 'Zaltbommel waarheen' is voor het eerst het plan geopperd het buitendijks, aan de rivier, gelegen bedrijfsterrein 'De Waal' te gebruiken voor woningbouw. In deze visie spelen vier aspecten een rol:

1. Economische activiteit.

Op het bedrijfsterrein is een aantal bedrijven gehuisvest dat een belangrijke (economische) functie vervult. Het gevolg van het aanwenden van het terrein voor woningbouw zou betekenen dat deze bedrijven (ca. 15) moeten verhuizen.

2. Dijkverbetering.

Het terrein is opgenomen in een reeds bestaand plan voor dijkverbetering. Het betreft een 'conventionele' dijkverbetering met als doel de veiligheid te verhogen naar geldende of gekozen normen. De factor tijd speelt daarbij een grote rol. Het streven is om vóór het jaar 2000 de dijkverhogingen gerealiseerd te hebben. De dijkvakken in de omgevingen van Zaltbommel zijn al op geplande hoogte gebracht.

In Zaltbommel zelf wordt de waterkering plaatselijk als verkeersweg gebruikt. Deze weg loopt gedeeltelijk door de stad.

3. Bodemvervuiling

Geconstateerde bodemvervuiling zou in een ontwikkelingsplan opgenomen moeten worden doormiddel van bodemsanering. De voormalige aanwezigheid van een scheepswerf lijkt de belangrijkste oorzaak voor deze vervuiling..

4. Stedebouwkundige uitgangspunten.

De invulling van het terrein is afhankelijk van de functies die men in de ruimte wil plaatsen. Plaatsing en toekenning van oppervlak en locatie geschiedt aan de hand van een ontwikkelingsplan gedefinieerd door stedebouwkundige uitgangspunten.

De meningen over de kosten van het project lopen uiteen. De gemeente heeft het tekort voor dit plan destijds op tien miljoen gulden begroot. Dit leek in eerste instantie niet haalbaar. Intensief overleg van de gemeente met de provincie heeft tot de stelling geleid dat 'ten koste van veel' het plan moet worden gerealiseerd. Hierdoor was het plan levensvatbaar. Het plan voor de bebouwing van het bedrijfsterrein 'De Waal' en omgeving, heeft de naam 'Waalfront West' gekregen. Voor het ontwerp van 'Waalfront West' is 26 hectare beschikbaar. In 'Waalfront West' is voor de geplande woningbouw (ca. 800 woningen) uitgegaan van maximaal drie lagen.

De gemeenteraad was zeer geïnteresseerd en besloot tot een ruimtelijk-economische verkenning van het plan. Hiervoor werd een projectgroep in het leven geroepen. Deze

heeft berekend dat het project 56 miljoen gulden gaat kosten. De bouw van de woningen zou 41 miljoen opleveren. Het tekort van 15 miljoen gulden moet voor het overgrote deel van de provincie en het rijk komen, zo was de opvatting. Op basis van deze uitkomsten was de gemeenteraad unaniem voor ontwikkeling van het plangebied. De gemeente zou een bijdrage leveren van 10% van het tekort met een maximum van 3 miljoen gulden.

Na het financieringsprobleem betekende dit een nieuwe start voor 'Waalfront West'.

De politiek en de watersnood gooiden echter roet in het eten. Door de minister van verkeer en waterstaat is in april 1996 een nota opgesteld 'ruimte voor de rivier.' In de nota wordt de afvoer van de grote rivieren veilig gesteld door geen activiteiten in het winterbed van de rivier, met name bebouwing, toe te staan.

Door deze nota verdween 'Waalfront West' min of meer 'in de koelkast'.

De architect, Henk Zwanziger, uit het 15 kilometer verderop gelegen plaatsje Brakel aan de Waal, was teleurgesteld over de gang van zaken. Met name de visie achter het plan 'Waalfront West' kon volgens Zwanziger aanzienlijk verbeterd worden. Hij maakt zich sterk voor een andere visie. Zijn visie is dat, in 'Waalfront West', niet alle mogelijkheden zijn bekeken om veiligheid te garanderen én ruimte te winnen.

Zwanziger heeft zich over het probleem gebogen en daarbij een plan ontwikkeld met een filosofie die 'Den Haag' op andere gedachten moet brengen.

Het plan draagt de naam 'Zaltbommel waterstad.'

'Zaltbommel waterstad' wordt op dezelfde locatie uitgevoerd als 'Waalfront West'. In tegenstelling tot 'Waalfront West', waar over conventionele dijkverzwaringen als oplossing wordt gesproken, wordt in het plan 'Zaltbommel waterstad' gebruik gemaakt van een 'intelligente' waterkering.

In een conventionele dijkverzwaring wordt een groot deel van de ruimte ingenomen door de functie waterkeren.

Het is interessant om te onderzoeken of een alternatieve constructie voor deze functie mogelijk is die minder ruimtebeslag legt en waarbij meerdere functies kunnen worden gecombineerd.

De combinatie van meerdere functies binnen deze gereserveerde ruimte voor de functie waterkeren vormt nu het principe van de 'intelligente' multifunctionele waterkering.

In dit afstudeerverslag wordt het antwoord op de volgende vraag onderzocht:

Is de multifunctionele waterkering een reële oplossing voor een oud probleem: het waterkeren in stedelijk gebied ?

Een multifunctionele waterkering is een waterkering waarin meerdere functies (bijvoorbeeld: waterkeren, parkeren, winkelen en wonen) worden gecombineerd in de ruimte, die normaliter gereserveerd is voor de waterkering. Deze toepassing combineert het beveiligen van het gebied tegen overstromingen, met het veilig bouwen op de uiterwaarden en het scheppen van ruimte voor stedelijke uitbreiding.

De gemeente reageerde enthousiast. Het waterschap stond er niet onwelwillend tegenover.

In dit afstudeerverslag wordt het waterkeringsontwerp van ‘Zaltbommel Waterstad’ constructief uitgewerkt. In het ontwerp van ‘Zaltbommel Waterstad’ wordt er mede van uitgegaan dat het industrieterrein ‘De Waal’ binnengedijkt wordt.

De verwachting is dat uit berekening zal volgen dat de invloed van aanleg van een multifunctionele waterkering, minimaal (niet significant) zal zijn op de waterstand van de rivier bij hoogwater.

Combinatie van functies en rekening houden met de toekomst

Voor het stedebouwkundige ontwerp heeft men met verschillende functies te maken (wonen, verkeer, waterkeren e.d.) die op het (huidige bedrijfs) terrein ingepast moeten worden om optimale functionaliteit te verkrijgen. Om de ruimte op dit terrein economisch te gebruiken worden verschillende functies gecombineerd.

Omdat veiligheid voor de toekomst een belangrijke voorwaarde is voor toepassing van een nieuwe techniek is een extra voorziening opgenomen. Ten opzichte van de conventionele oplossing ‘de dijk’ heeft de multifunctionele waterkering namelijk één nadeel. Als de constructie is gebouwd, is deze niet eenvoudig aan te passen op toekomstige (veranderende) omstandigheden, zoals bijvoorbeeld zeespiegelstijging. In het ontwerp is daarom gekozen voor optimale veiligheid door mogelijkheden te scheppen voor toekomstige verhoging van de waterkering.

Toekomst voor de multifunctionele waterkering?

Er zijn meer zogenaamde ‘bastide steden’ zoals Zaltbommel, die te kampen hebben met identieke problemen. Van oudsher hebben deze steden, met het oog op logistieke processen, een bedrijfsterrein aan de rivier. Gemeenten willen de vrijheid om zelf een visie te ontwikkelen over het belang van economische bedrijvigheid en de plaats waar dit zou moeten gebeuren alsmede het aanbieden van goede woonruimte aan hun inwoners. Wellicht dat Zaltbommel met het idee van ‘Zaltbommel Waterstad’ een voorbeeldfunctie krijgt voor andere steden. Een mogelijkheid om de voordelen van het wonen aan het water te behouden en om de problemen, die typerend zijn voor het wonen aan de rivier, op te lossen op een revolutionaire manier.

1.2 BEGRENZINGEN ZALTBOMMEL

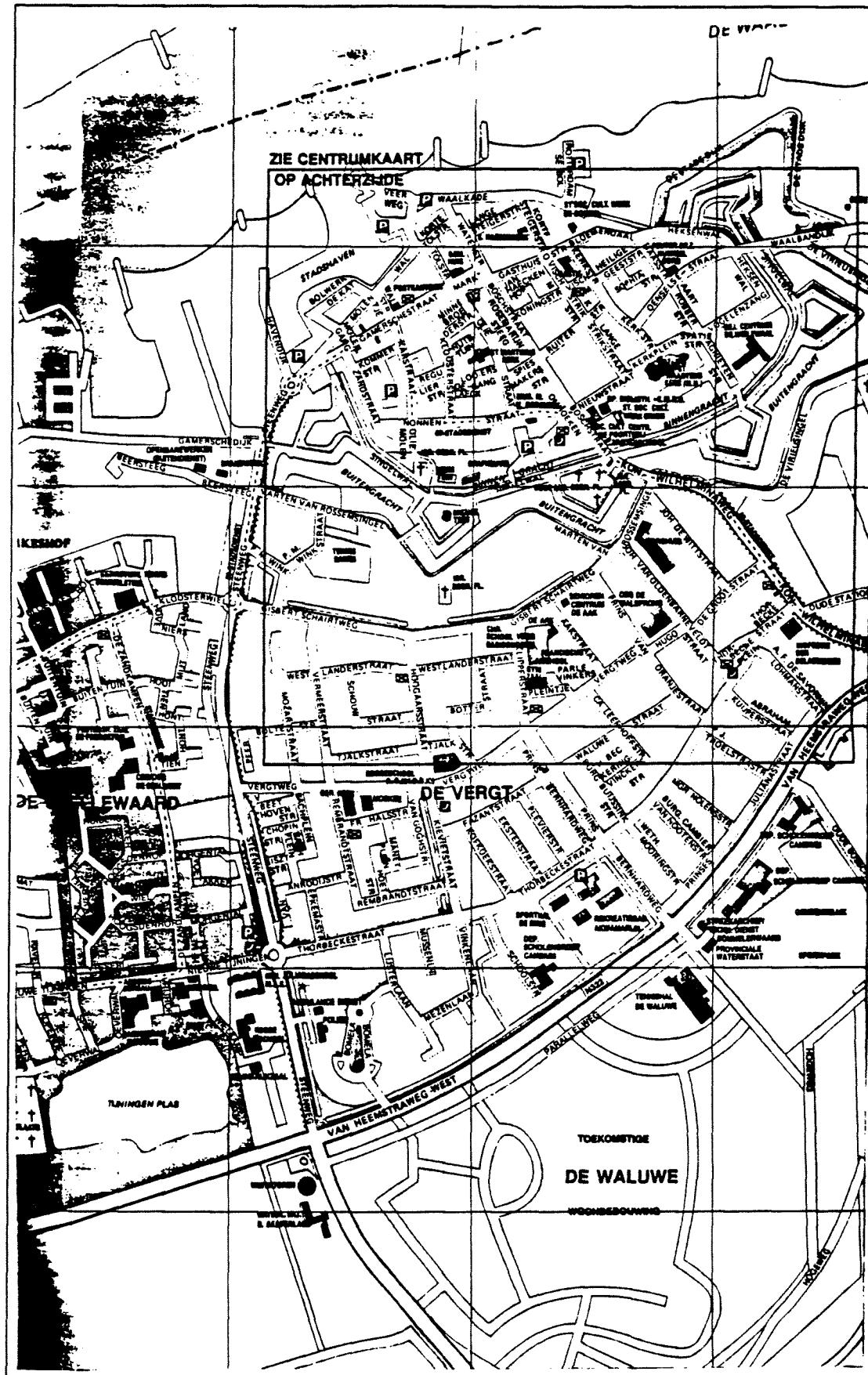
In figuur 1 is de plattegrond aangegeven van Zaltbommel.

Zaltbommel kampt met het probleem dat de stedelijke uitbreidingsmogelijkheden nagenoeg volledig benut zijn. Aan Noordzijde stelt de Waal de grens aan stedelijke uitbreiding. Oostelijk is geen uitbreiding meer mogelijk door de aanwezigheid van de snelweg A2. Ten westen wordt Zaltbommel begrensd door een kassengebied waardoor uitbreiding hier, in westelijke richting, ook niet mogelijk is. Op de beschikbare bouwgrond aan de zuidzijde van de stad wordt momenteel de nieuwe woonwijk 'De Waluwe' gebouwd.

Na voltooiing van deze wijk is de enige locatie waar nog iets met woningbouw gedaan kan worden het gebied ter plaatse van het bedrijfsterrein 'De Waal' en het terrein onder- (en eventueel ter plaatse van?) de Gamersche dijk.

In het plan van architect Zwanziger wordt het bedrijfsterrein binnengedijkt en aangewend voor woningbouw. Daarbij heeft het bedrijfsterrein voor dit plan, de naam 'Zaltbommel Waterstad' meegekregen. Het terrein wordt ingesloten door de Gamersche dijk, de Steenweg, de Stadshaven en de rivier de Waal.

Met name ter plaatse van deze locatie, wordt onderzocht of het principe van de multifunctionele waterkering kan worden toegepast.

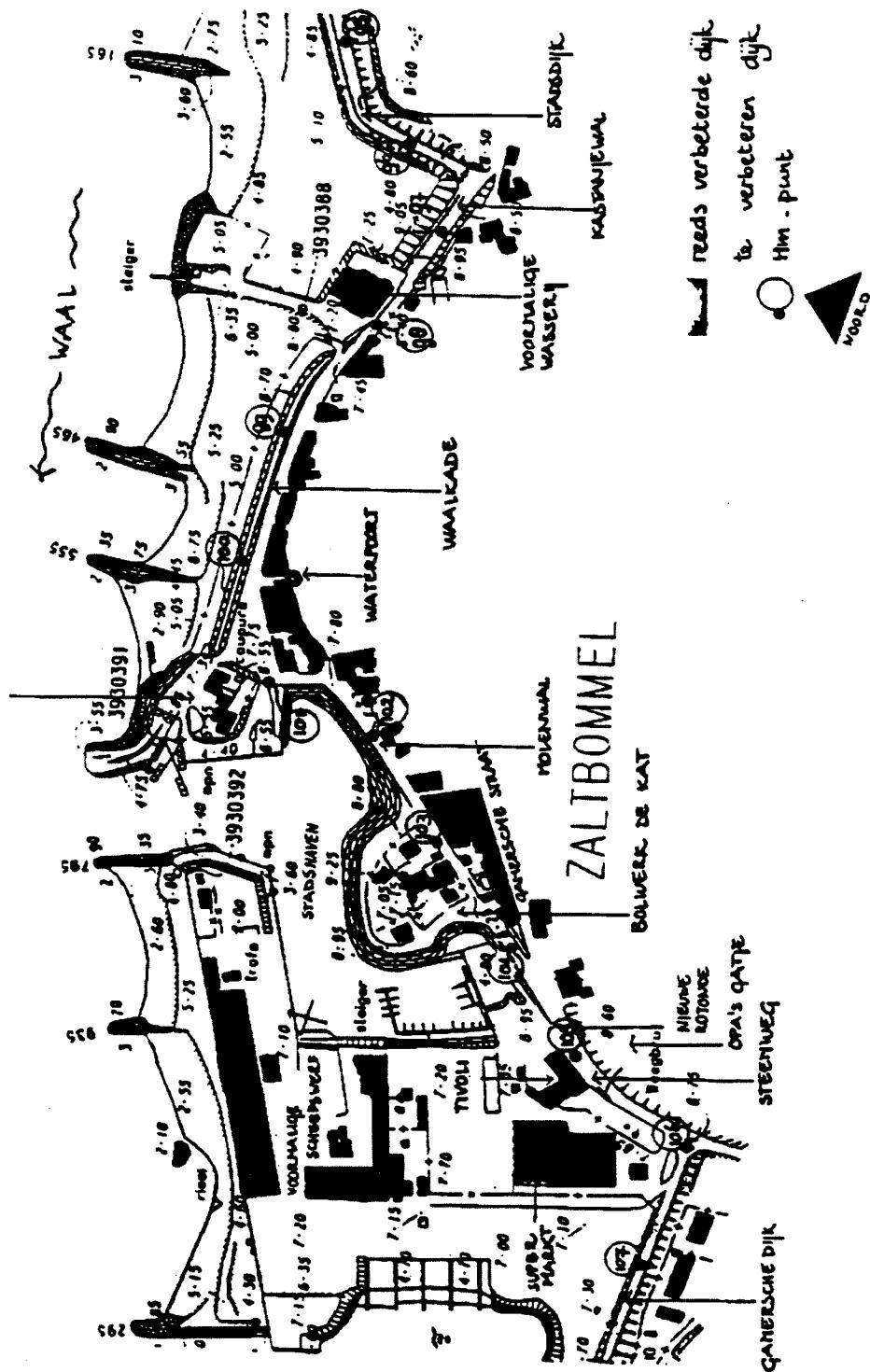


Figuur 1, plattegrond stad Zaltbommel

1.3 LIGGING HUIDIGE WATERKERING

De huidige waterkering volgt het tracé Gamersche dijk, Steenweg, Molenwal, Waalkade, Kastanjewal richting Stadsdijk. Dit is aangegeven in onderstaande figuur 2.

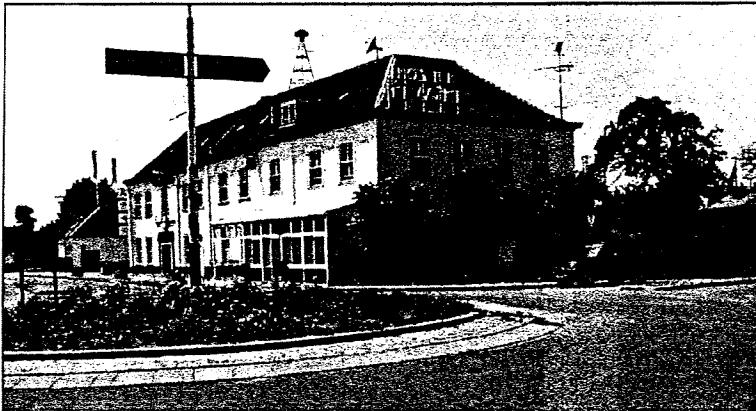
De stadshaven ligt in de huidige situatie buiten dijks. Dit geldt ook voor het bedrijfsterrein ‘De Waal’, waar een supermarkt, een scheepswerf en het hotel Tivoli gevestigd is.



Figuur 2, Ligging huidige waterkering met omgeving.

Enkele objecten van cultuurhistorische waarde die behouden moeten blijven zijn:

- het hotel Tivoli,



- het bolwerk 'de Kat' ,



- de waterpoort met omringende bebouwing en



- de voormalige Wasserij.



2. INVENTARISATIE PROBLEEM- OMSCHRIJVING HUIDIGE SITUATIE

2.1 KNELPUNTEN ZALTBOMMEL

De stad Zaltbommel kampt met een viertal problemen.

1. De huidige waterkering voldoet momenteel niet meer aan de nu geldende eisen met betrekking tot de kerende hoogte en stabiliteit van de waterkering.
2. Langs het waterkeringstracé is weinig ruimte tot verbetering van de huidige kering. Er dient rekening gehouden te worden met het historische stadsgezicht (langs de Waalkade) en monumentale objecten (aangegeven in figuur 2.)
3. Er is een verkeersprobleem. De enige aanrijdroute naar de stadskern is een tweebaansweg over de Molenwal. De aanwezige parkeergelegenheid aan het eind van de Waalkade is niet toereikend om deze (aanzielijke) verkeersstroom goed op te kunnen vangen waardoor filevorming en stagnatie ontstaat.
4. Er bestaan geen mogelijkheden meer om gebieden te ontwikkelen t.b.v. woningbouw. De begrenzingen van de stad laten dit niet toe. Uitbreiding van het (woning) aanbod moet gerealiseerd worden door effectiever gebruik te maken van de huidige oppervlakte.

2.2 HUIDIGE PLANNEN DIJKVERBETERING

Meerdere partijen hebben zeggenschap en belangen te verdedigen wanneer het gaat om veiligheid van waterkeringen, gemeentelijk aanbod en ruimtelijke ordening. Ten behoeve van een juiste- en complete beeldvorming worden onderstaand de uitgangspunten van de gemeente en van de dijkbeheerder voor de ontwikkeling van de dijkverbeteringsplannen kort genoemd. Toelichting op de uitgangspunten wordt gegeven in bijlage B1. Op plaatsen waar momenteel in het dijkvak 'Zaltbommelcentrum', dijkverzwaringen als oplossing zijn voorgesteld, kan worden onderzocht of een multifunctionele waterkering als alternatief kan dienen op bovengenoemde oplossing.

2.2.1 uitgangspunten van de gemeente

1. *bestaand gebruik en aanzicht moet in overeenstemming zijn met de verwachtingen die men heeft van een vestingsstad;*
2. *belevingswaarde van de rivier vanaf de Waalkade moet worden vergroot;*
3. *bij de situering van wandel- en fietsroutes, parkeerfaciliteiten en groenvoorzieningen moet rekening worden gehouden met relaties en behoeften van aanliggende gebieden;*
4. *vanuit historisch oogpunt verdient het de voorkeur om de belijning van de vestigingswerken in stand te houden, zo mogelijk te versterken;*
5. *de mogelijkheden om de bestaande bebouwing te versterken moeten uitgewerkt*

worden;

6. *bestaande voorzieningen dienen minimaal terug te komen bij de uitvoering van het ontwerp en de dijkverzwaring;*
7. *de financiële bijdrage, ten behoeve van niet in het kader van de dijkverbetering noodzakelijke werkzaamheden, moet binnen de meerjarenbegroting van de gemeente passen.*

2.2.2 uitgangspunten dijkbeheerder

1. *De door de Minister van Verkeer en Waterstaat vastgestelde maatgevende hoogwaterstanden langs de Nederlandse rivieren, uitgaande van een overschrijdingskans van één maal per 1250 jaar, zijn vertrekpunt bij de planvorming. Het Polderdistrict heeft in deze, geen bestuurlijke ruimte daar wijzigingen op aan te brengen. Nieuwe ontwikkelingen zullen, indien van toepassing, in de plannen worden verwerkt (bijvoorbeeld resultaten van het onlangs door de Minister aangekondigde onderzoek).*
2. *De leidraad voor het ontwerpen van riverdijken, deel 1 -bovenrivierengebied.*
3. *De verordening "Dijkverbetering Gelderland" voor de te volgen procedure.*
4. *Een onderbouwde afweging van de in het geding zijnde belangen, waartoe ook behoren stedebouwkundige en cultuurhistorische belangen.*
5. *De te realiseren oplossingen dienen toekomstgerichte ontwikkelingen, zowel t.a.v. de stad als t.a.v. de waterkering, niet te belemmeren.*
6. *De dijkverbeteringswerken moeten passen binnen de bestemmingsplannen, danwel de bestemmingsplannen zullen daarvoor moeten worden gewijzigd.*
7. *Wijzigingen in het winterbed van de rivier, tengevolge van dijkverbeteringswerken, moeten zo worden gecompenseerd, dat geen waterstandsverhoging in de rivier zal optreden.*
8. *De totale kosten dienen integraal in beeld te worden gebracht, waar mogelijk gesplitst in kosten dijkverbetering en kosten derden.*

2.2.3 Eis van de minister van verkeer en waterstaat

- de waterkering mag niet worden verplaatst in de richting van de rivier.
- geen bebouwing in de uiterwaarden voorzover dat gevolgen heeft voor de hoogwaterafvoer.

2.3 DIJKVERBETERING, STAND VAN ZAKEN

Het polderdistrict Groot Maas en Waal is bezig met de afronding van de dijkverbeteringsplannen langs de Waal in de Bommelerwaard.

Het dijkvak Zaltbommel-centrum, aangegeven in figuur 2, dat begint bij Hectometernummer 96.5 en eindigt bij Hm 106 is gelegen tussen de twee trajecten die volgens de Deltawet Grote Rivieren reeds zijn verbeterd, te weten het traject Zaltbommel-oost (Hm86.4-96.5) en het traject Zaltbommel-west (Hm 106-118.7). Het dijkvak Zaltbommel-centrum is het laatste deel dat aangepakt moet worden om de dijkverbeteringsplannen van de dijkring in de Bommelerwaard te voltooien.

2.4 DIJKVERBETERINGSOPTIES VOOR ZALTBOMMEL

Dijkverbetering bestaat uit het vergroten van de stabiliteit van de dijk en het op hoogte brengen van de dijk conform de gestelde eis aan de overschrijdingskans van hoogwaterstanden langs de Nederlandse rivieren van éénmaal per 1250 jaar.

De dijkafmetingen nemen hierdoor toe.

Bij het vaststellen van de vorm en de opbouw van het dwarsprofiel van een dijk moet in het ontwerp met de volgende aspecten rekening gehouden worden:

- De dijk moet aan waterkerende zijde zo ondoorlatend mogelijk worden uitgevoerd, waarbij het dijklichaam naar binnen toe meer doorlatend dient te worden [11]. Voorkomen moet worden dat de dijk aan de binnendijkse zijde het minst doorlatend is.
- Bij verbetering van kleidijken moet ernaar worden gestreefd het oude goed gezette dijklichaam zoveel mogelijk intact te laten en als geheel in de nieuwe constructie op te nemen.

Het Polderdistrict heeft voor de plaats van de uit te voeren dijkverbeteringen, ten opzichte van het bestaande dijkprofiel, een aantal mogelijkheden die bij Zaltbommel kunnen worden toegepast (zie figuur 3):

1. Aan binnendijkse zijde

Deze mogelijkheid geniet civieltechnisch gezien, de voorkeur. Het oude goed gezette dijklichaam komt daarbij in het dwarsprofiel van de nieuwe constructie aan de waterkerende zijde te liggen. Achter het oude dijklichaam wordt de dijk verzuwd. Dit vormt een goede oplossing voor de waterdichtheid en stabiliteit van de dijk. Bij bebouwing aan binnendijkse zijde wordt aan de eis van minister van verkeer en waterstaat, de waterkering niet naar de rivier toe verleggen, voldaan. Echter, de ruimte achter de dijk wordt wel aangetast. In Zaltbommel zal sloop van bestaande bebouwing bij dit alternatief onvermijdelijk zijn. En daarmee zal het huidige karakter van de stad aangetast worden.

2. Ter plaatse van de as van de bestaande dijk

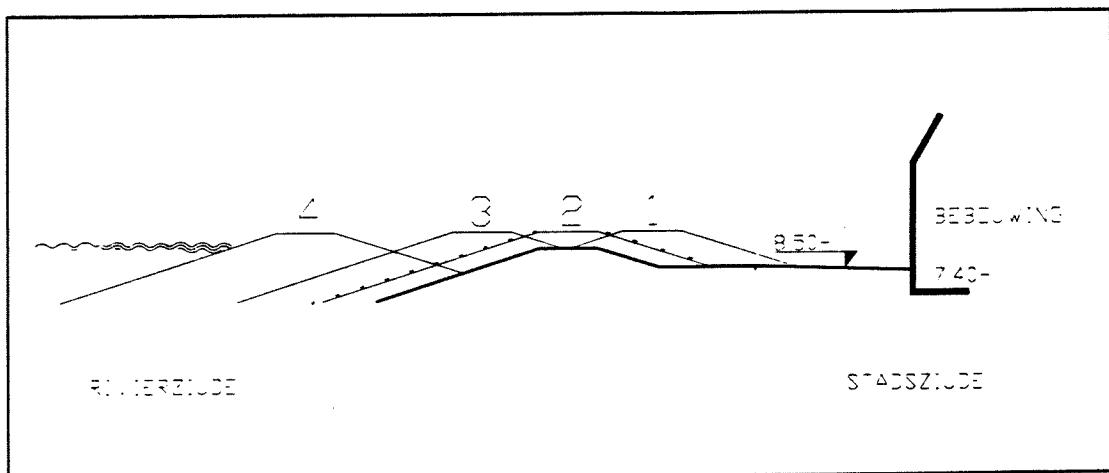
Verbetering van de dijk ter plaatse van de bestaande dijk-as is in principe goed mogelijk. De ruimte is reeds voor deze bestemming gereserveerd. Bij het voorkomen van slappe grondlagen onder het dijklichaam verdient de symmetrische dijkverzwaren de voorkeur omdat zo optimaal gebruik wordt gemaakt van de reeds geconsolideerde dijk met ondergrond [12].

3. Aan buitendijkse zijde

Om zoveel mogelijk ruimte te creëren voor de huidige bebouwing langs de waterkering, zou buitendijkse dijkverbetering een ideale oplossing zijn. Blijkt door een noodzakelijke verlegging van het tracé buitendijkse verzwaringen onontkoombaar, dan moeten deze verzwaringen bij voorkeur geheel uit klei bestaan.

4. In de uiterwaarden

Bij dit alternatief zou de bestaande waterkering kunnen verdwijnen. De waterkering is dan verplaatst richting de rivier. De stad Zaltbommel zou deze gronden kunnen gebruiken voor nieuwe stedelijke bebouwing (woningen en winkels.) Nader moet worden bekeken wat de invloed is op de waterstanden bij het verkleinen van het doorstroom-, kombergingsoppervlak van de rivier ter plaatse.



Figuur 3, plaatsingsmogelijkheden dijkverzwarening

In figuur 3 zijn voor een standaardlocatie de mogelijkheden geschatst die voor de verbetering van de dijk ten opzichte van de bestaande situatie aanwezig zijn. Voor de plaatsbepaling van de multifunctionele waterkering in het te verzwaren dijktracé door Zaltbommel kunnen dezelfde mogelijkheden aangehouden worden.

Conclusie:

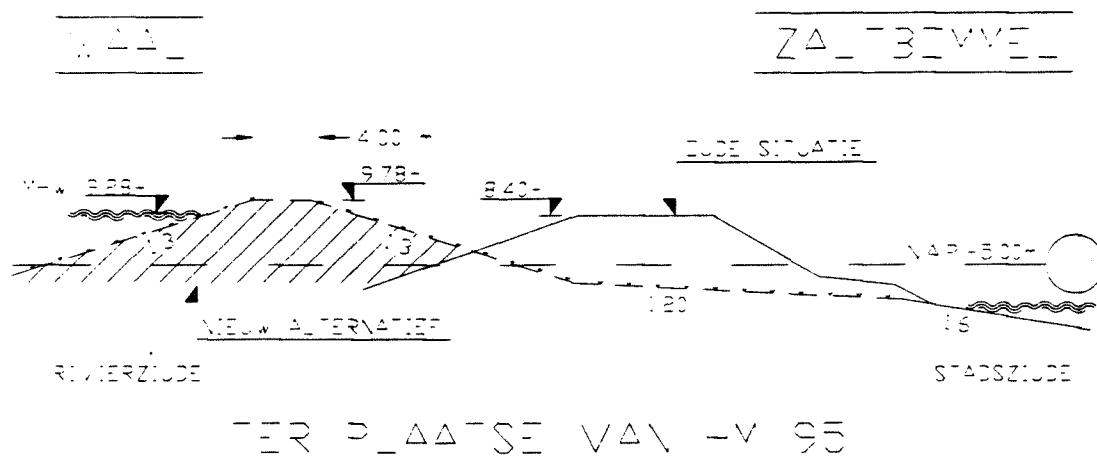
Alle 4 opties concentreren zich op het oplossen van punt 1 van de knelpunten, genoemd in paragraaf 3.1. Geen van deze opties geeft een antwoord op de overige genoemde problemen waar Zaltbommel mee te kampen heeft. Zij voldoen wel aan de veiligheidseisen die gesteld worden aan dijkverbetering maar scoren op geen van de andere punten.

2.5 KNELPUNTEN WATERKERINGSTRACÉ

In de *huidige* plannen is de keuze voor het tracé van de nieuwe waterkering afhankelijk van de ligging van het bestaande tracé. Er wordt getracht zoveel mogelijk het huidige tracé aan te houden in verband met kostenbesparing. Afwijking van het huidige waterkeringstracé kan gewenst zijn om een verbetering aan te brengen of omdat het aanhouden van het bestaande tracé teveel problemen oplevert.

Bij enkele kenmerkende doorsneden wordt, ter indicatie, kort aangegeven welke knelpunten men tegenkomt als men het tracé van de bestaande waterkering door Zaltbommel langsloopt vanaf de Stadsdijk via de Waalkade richting Gamersche dijk. Hierbij is met een stippellijn de oplossing aangegeven die door het polderdistrict is voorgesteld. Daarbij zijn breedte- en hoogtemaatvoering van het nieuwe dijklichaam overgenomen uit de plannen van het polderdistrict. In figuur 2 op bladzijde 10 is een overzicht van het bestaande tracé gegeven. Onderstaand worden enkele kritieke punten in het tracé kort besproken.

- de situatie ter plaatse van de stadsgracht tussen Hm 93 en 95



Figuur 4, doorsnede ter plaatse van de Stadsdijk

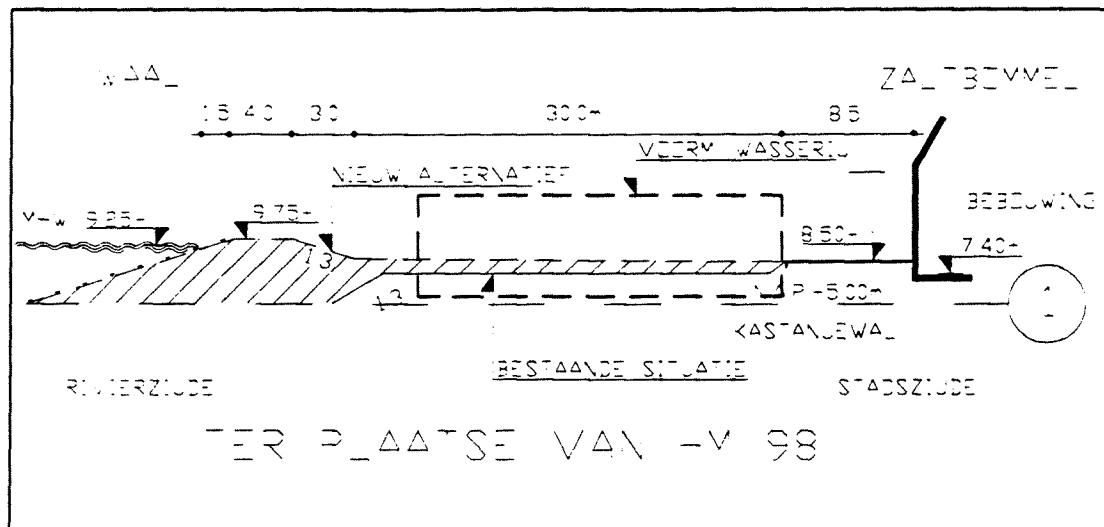
Aan de stadszijde bevindt zich een stadsgracht. Ter plaatse van de stadsgracht is weinig ruimte voor verhoging van het bestaande conventionele dijkontwerp met drainerende zandbermen.

Aantasting van de stadsgracht is uit landschappelijk oogpunt niet gewenst.

Uitwijkmöglichheid voor dijkverbreding richting stadsgracht is dus niet aanwezig.

In figuur 4 is ook het voorstel van het Polderdistrict aangegeven: verschuiving van de as van de nieuwe dijk, buitendijks.

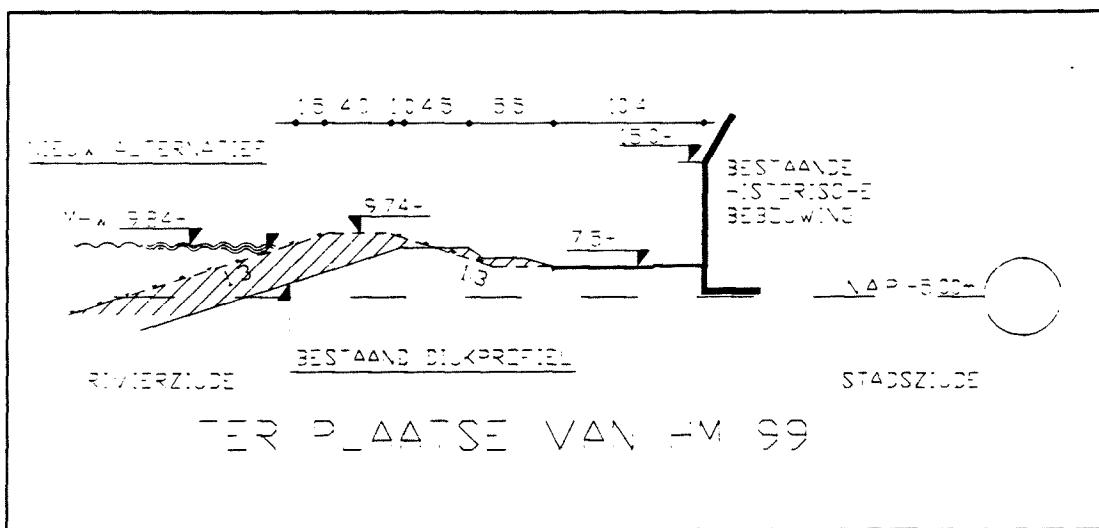
- ter plaatse van de wasserij Hm 98



Figuur 5, doorsnede ter plaatse van de voormalige wasserij

De weg vormt de huidige waterkering. Tussen de buitendijks gelegen wasserij en de binnendijks gelegen stad is zeer weinig ruimte. De wasserij is voor Zaltbommel van monumentale waarde. Voorstel polderdistrict: verschuiving as nieuwe dijk buiten de wasserij om.

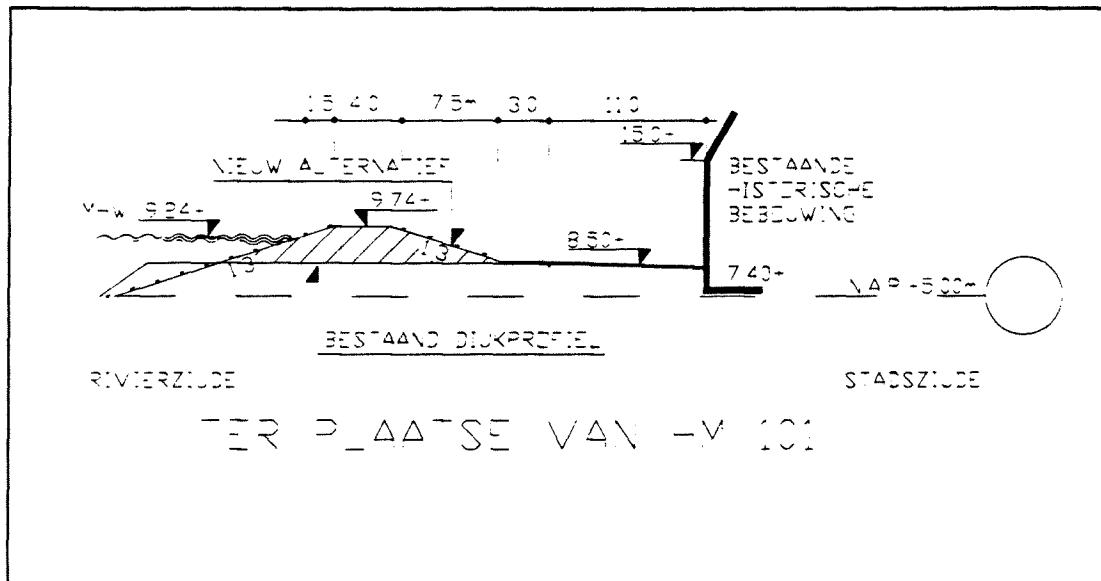
- tuimelkade ter plaatse van het beschermd stadsgezicht tussen Hm 98 en Hm 100



Figuur 6, doorsnede ter plaatse van de Waalkade

Het beschermd stadsgezicht langs de Waalkade kan bij grote ophoging, in verband met toenemende dijkbreedte, worden aangetast en dit is niet gewenst. Voorstel polderdistrict: dijkverzwaring op het buitentalud van de huidige dijk (zie figuur 6.)

- tussen Hm 100 en Hm 101

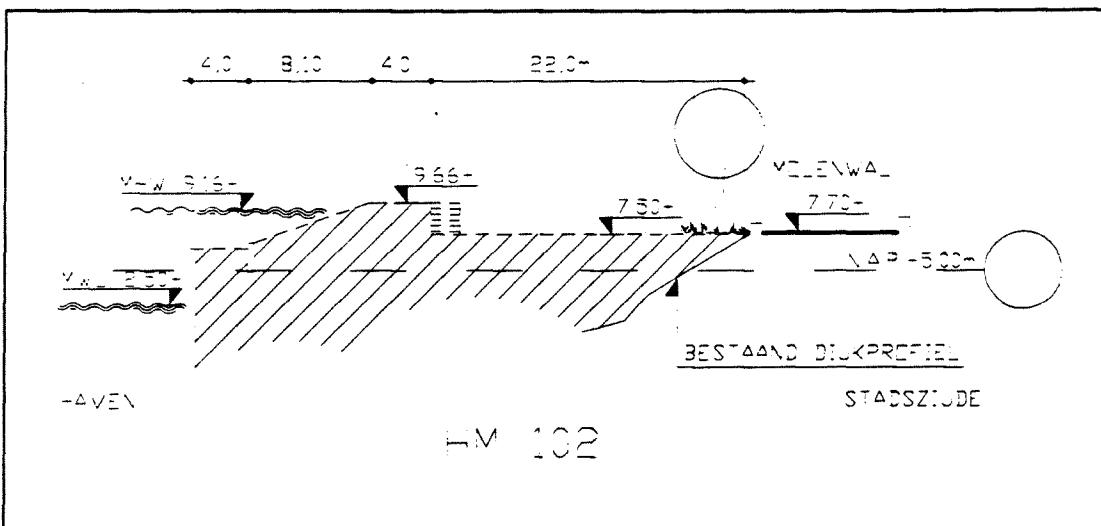


Figuur 7, doorsnede ter plaatse van de Veerweg / kop van de Waalkade

Wegen, de toegang tot de loskade van de haven, een parkeerplaats en bebouwing aan weerszijden van de waterkering vormen hier struikelblokken.

Voorstel polderdistrict: dijkverzwaring op het buitentalud van de huidige dijk

- de situatie bij de haven Hm 101 en Hm 104



Figuur 8, doorsnede ter hoogte van de Molenwal

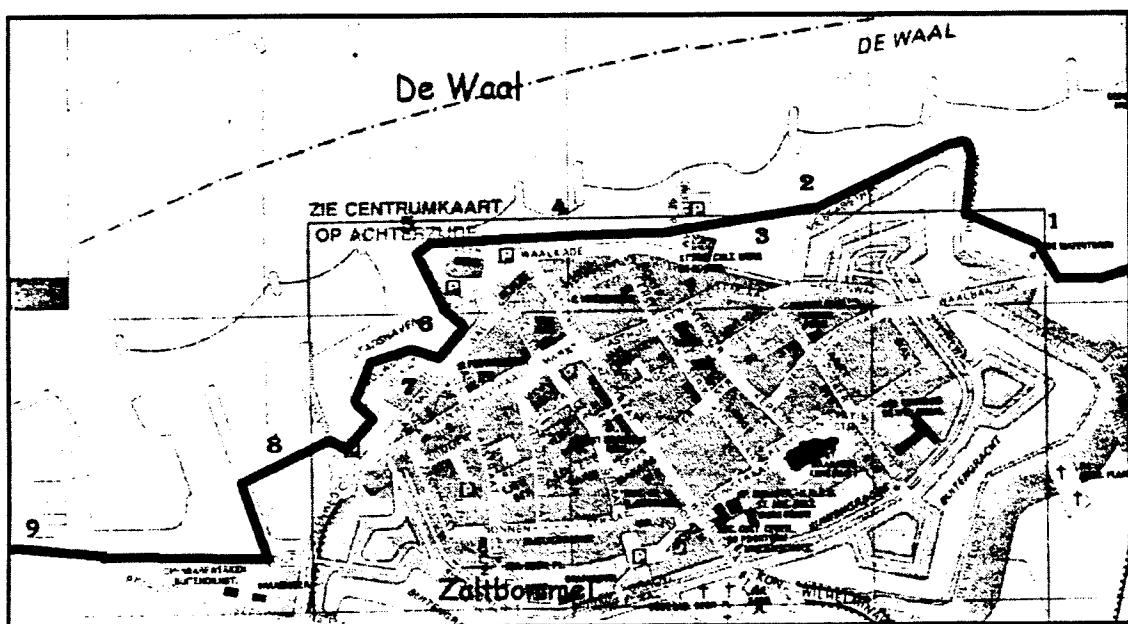
De haven moet een minimale manoeuvreerruimte behouden om bereikbaar te blijven. Op de waterkering ligt een drukke verkeersweg, de Molenwal. Er moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van riolering, kabels en leidingen. De vroegere stadsmuur schijnt ter hoogte van de verkeersweg gelopen te hebben. Funderingsresten kunnen bij de uitvoering problemen opleveren.

2.6 LIGGING TRACÉ VOLGENS HUIDIGE PLANNEN

Op basis van bovenomschreven knelpunten en de bestaande uitgangspunten van gemeente en dijkbeheerder is door het polderdistrict in de huidige plannen als oplossingsrichting een tweetal varianten gemaakt voor de tracékeuze van de uit te voeren dijkversterkingen [2]. Deze varianten worden als handvat gebruikt voor verdere uitwerking van tracévarianten.

2.6.1 Eerste variant tracékeuze polderdistrict

De eerste variant is geschetst in figuur 9. In de stadsplattegrond is het verloop van de dijkverzwaring met een dikke zwarte lijn aangegeven. Aan de hand van de in de plattegrond aangegeven nummering wordt het gekozen tracé behandeld.



Figuur 9, verloop waterkering 1e variant polderdistrict

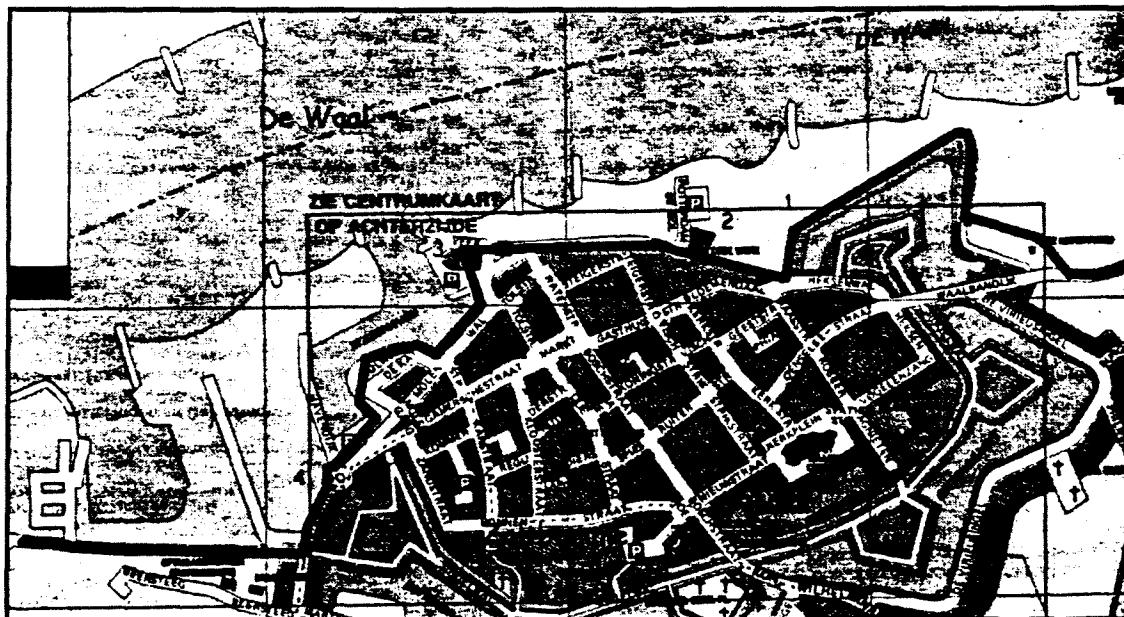
1. Op deze locatie wordt de nieuwe dijkverzwaring aangesloten op de reeds uitgevoerde dijkverzwaringen. Hier bevindt zich een oude watertoren. De ruimte tussen watertoren en stadsgracht is beperkt. Om het wateroppervlak van de gracht te handhaven is ervoor gekozen buiten de watertoren om te gaan.
2. De waterkering volgt de stadsgracht om het karakter van de gracht niet aan te tasten. Om de voormalige wasserij bij nummer 3, nu dienst doende als cultureel centrum, te handhaven wordt de waterkering vanaf dit punt, nummer 2, gestroomlijnd. Riviertechnisch wordt op deze wijze een goede oplossing gecreëerd.
3. Het Cultureel Centrum wordt door de stroomlijning van de waterkering binnengedijkt.
4. De waterkering verschuift plaatselijk tot 5 meter richting rivier (zie figuur 9.) Er ontstaat ruimte voor enkele parkeerplaatsen en beplanting langs de dijk.
5. De waterkering gaat om de bebouwing heen waardoor deze wordt binnengedijkt. Het uitzicht op de rivier gaat, gezien de aanleghoogte van deze woningen,

verloren. De belevingswaarde van deze woningen wordt sterk verminderd bij indiking. Zou de bebouwing worden buitengedijkt, dan moet de waterkering worden uitgevoerd met reeds bestaande cannelures. Waterkeringtechnisch komt dat de veiligheid niet ten goede.

6. Om de waterkering op deze locatie te verzwaren kan voor de benodigde ruimte alleen buitendijks uitgeweken worden. Dit is de enige manier om sloop van een brede strook van het beschermd stadsgezicht te voorkomen.
 7. Om het bolwerk de Kat wordt de waterkering zo getraceerd dat de oorspronkelijke vorm zoveel mogelijk wordt benaderd. Een waterkering van keermuren en asfaltbeton (= een z.g. harde waterkering) behoort hier tot de mogelijkheden.
 8. De waterkering loopt hier terplaatse van de haven. Deze wordt gedeeltelijk gedempt wat manouvreerbaarheid van schepen niet ten goede komt.
 9. De waterkering gaat hier om de plaatselijk gelegen supermarkt en hotel Tivoli heen en sluit aan op de reeds op hoogte gebrachte waterkering ter plaatse van de Garnersche dijk.

2.6.2 Tweede variant tracékeuze polderdistrict

De tweede variant is geschetst in figuur 10. De afwijkingen ten opzichte van de eerste variant worden aan de hand van de nummering 1 t/m 4 (ingeschreven in het kaartje in de figuur) besproken. Deze variant volgt het tracé van de oude waterkering. Het gevolg is dat plaatselijk bestaande bebouwing moet worden gesloopt. Dit betreft o.m. de voormalige wasserij aan de Kastanjewal. Aangezien afgelopen jaar nog subsidie voor restauratie van de wasserij is verstrekt heeft dit alternatief niet dit eerste keuze.



Figuur 10, verloop waterkering 2e variant polderdistrict

1. De waterkering volgt hier het verloop van de oude waterkering en is niet gestroomlijnd zoals in de eerste variant.
 2. Het gevolg is dat de voormalige wasserij moet wijken voor de nieuwe waterkering.

3. Ook hier wordt de oude waterkering gevuld. De bestaande parkeergelegenheid die momenteel buitendijks gelegen is wordt zo gehandhaafd. Nadeel is echter dat met deze oplossing met behulp van coupures de waterkering wordt verzorgd.
4. De waterkering wordt langs de steenweg geleid. Het gevolg is dat hotel Tivoli moet wijken door deze tracering. Hotel Tivoli is voor de stad van monumentale waarde. Sloop van dit pand is niet gewenst.

Conclusie:

Bovengenoemde alternatieven concentreren zich op het verbeteren van de veiligheid (en voldoen aan gestelde normen hiervoor) middels dijkverbetering. Geen van beide alternatieven geeft een antwoord op de overige genoemde problemen waar Zaltbommel mee te kampen heeft, namelijk gebrek aan ruimte voor stedelijke uitbreiding en verkeersproblemen. Door alleen de conventionele waterkering te overwegen wordt Zaltbommel de mogelijkheid ontnomen om ook een kwalitatieve verbetering door te voeren, gecombineerd met het creëren van ruimte. Bovendien komt het bedrijventerrein 'De Waal' in beide varianten buitendijks te liggen. Dit betekent dat bij hoog water het terrein onder water loopt. Geen goed vooruitzicht voor de economische bedrijvigheid.

3. ALTERNATIEF OP HUIDIGE PLANNEN

Als alternatief op de huidige plannen voor de dijkverbetering zoals door het polderdistrict zijn voorgesteld wordt daarom in dit hoofdstuk voor een tracé gekozen dat bebouwing van het bedrijfsterrein ‘De Waal’ en daarmee het plan van Architect H. Zwanziger ‘Zaltbommel waterstad’ mogelijk maakt.

Voor realisatie van ‘Waalfront West’ of ‘Zaltbommel waterstad’ zal het terrein beveiligd moeten worden tegen hoogwater. Daarbij zal het tracé van de waterkering, ter hoogte van het bedrijfsterrein, een wezenlijk ander verloop krijgen dan het waterkeringstracé in de eerder genoemde varianten.

3.1 ALTERNATIEF OP LIGGING TRACÉ ‘HUIDIGE PLANNEN’

Op de tracéligging zoals geschetst in de huidige plannen worden twee alternatieven besproken. Het eerste alternatief is afgestemd op het plan ‘Zaltbommel waterstad’ van architect H. Zwanziger. Het tweede alternatief behelst eveneens bebouwing van het bedrijfsterrein maar gaat uit van een kleiner beschikbaar bouwoppervlak. Mocht het benodigde binnen te dijken oppervlak voor ‘Zaltbommel waterstad’ om waterbouwkundige redenen niet haalbaar blijken dan wordt de mogelijkheid van toepassing van dit tweede alternatief onderzocht (zie bijlage B2).

3.1.1 variant architect H. Zwanziger

Het ontwerp van architect H. Zwanziger voor de stedebouwkundige invulling van het bedrijfsterrein ‘De Waal’ gaat uit van het gebruik van een multifunctionele waterkering. De ruimte die bij een traditionele dijkoplossing voor de waterkering is gereserveerd is doorgaans aanzienlijk. Bij toepassing van een multifunctionele waterkering kan deze ruimte voor andere functies (zoals wonen, parkeren of winkels) benut worden.

De voordelen van de oplossing van architect H. Zwanziger zijn:

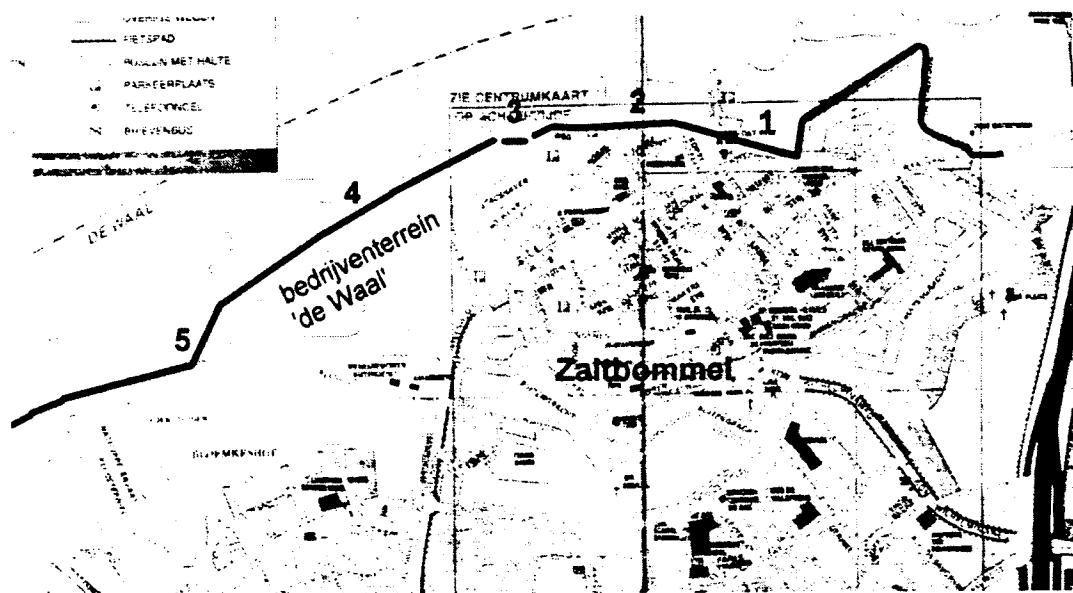
1. de ruimte op het bedrijfsterrein ‘De Waal’ wordt optimaal benut.
2. Het plan voorziet in uitbreidingsmogelijk voor stedelijke ontwikkeling (meer woningen).
3. Er wordt speciale aandacht geschonken aan het oplossen van de verkeersproblemen door bestemmingsverkeer parkeergelegenheid te bieden (en dus het aantal ‘zoekers’ verminder).
4. In tijd gezien biedt dit plan de mogelijkheid om de multifunctionele waterkering te combineren met de plannen voor conventionele dijkverbetering langs Zaltbommel.

Bovendien wordt een nieuwe, revolutionaire oplossing geïntroduceerd die wellicht meer mogelijkheden biedt in de toekomst.

In zijn plan wordt de multifunctionele waterkering vanaf de stadsdijk gestroomlijnd doorgetrokken naar de Veerweg. Daarbij wordt de voormalige wasserij (nummer 1) binnengedijkt. Vanaf de Veerweg gaat de waterkering langs de oevers van de rivier de Waal verder richting Gamersche dijk (5). Daarbij wordt het huidige bedrijfsterrein ‘De Waal’ (tussen 3 en 4) binnengedijkt.

Eventueel kan voor een deel van het tracé voor een traditionele oplossing gekozen worden en het resterende deel voor de multifunctionele waterkering. Vanaf de stadsdijk langs de Molenwal en de Waalkade naar de Veerweg (tussen nummer 2 en 3.) wordt dan uitgevoerd als een traditionele dijkverzwaring. Daarbij wordt het bestaande waterkeringstracé gevuld. Vanaf de Veerweg, langs het huidige bedrijfsterrein 'De Waal' (tussen 3 en 4) richting Gamersche dijk (5) wordt de waterkering dan als multifunctionele waterkering uitgevoerd. Ter plaatse van de Gamersche dijk wordt aangesloten op de reeds gerealiseerde dijkverbetering.

Met dit alternatief wordt ruimte gecreëerd voor bebouwing in de nabije omgeving van het centrum.



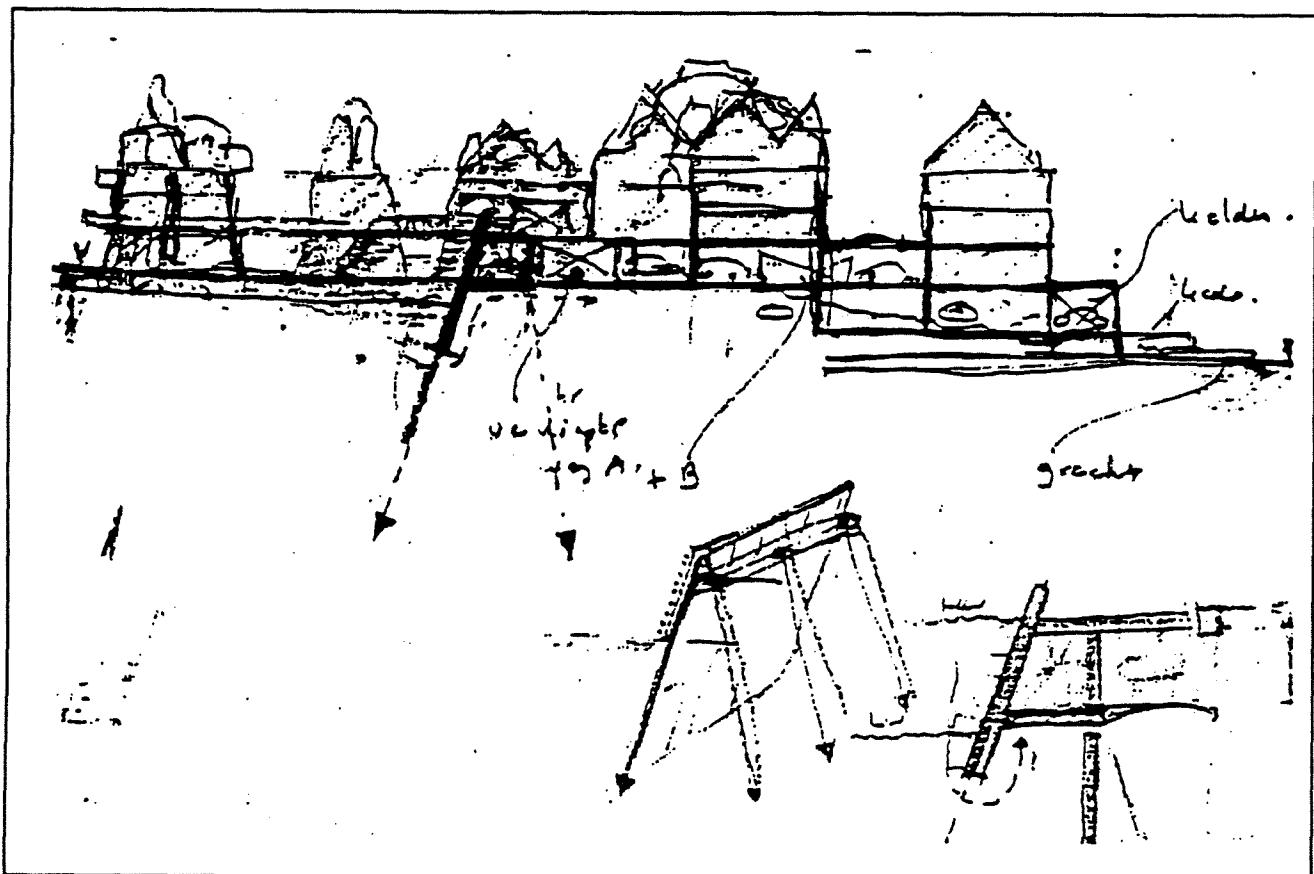
Figuur 11, tracelijging, oplossing volgens Architect H. Zwanziger

1. De nieuwe waterkering loopt van de Stadsdijk via de kastanjewal naar de Waalkade.
2. De nieuwe waterkering volgt het tracé van de bestaande waterkering.
3. In de multifunctionele waterkering zal een kunstwerk opgenomen worden om vanaf de Waal de bestaande stadshaven te kunnen bereiken.
4. Door de multifunctionele waterkering wordt het bedrijfsterrein binnen gedijkt. De huidige werkhaven wordt in dit plan gedempt. De waterkering wordt doorgetrokken richting Gamersche dijk. De Gamersche dijk fungeert als primaire waterkering.
5. De nieuwe waterkering sluit op dit punt aan op de reeds op hoogte gebrachte Gamersche dijk.

In dit plan 'Zaltbommel waterstad' wordt evenals in het plan 'Waalfront west' de waterkering naar de rivier toe verplaatst. Dit gaat ten koste van kombergingsoppervlak van de rivier. Het oppervlak dat hierbij op de rivier gewonnen wordt, is voor een groot deel reeds bebouwd en fungeert als bedrijfsterrein. Bij hoog water loopt het terrein nu onder water.

Het plan heeft wel de consequentie dat het deel van de reeds op hoogte gebrachte Gamersche dijk wat achter de nieuwe multifunctionele waterkering ligt, haar functie verliest en afgegraven zal moeten worden om de beschikbare ruimte goed te kunnen invullen.

3.2 MULTIFUNCTIONELE WATERKERING IN HET PLAN 'ZALTBOMMEL WATERSTAD'



Figuur 12, dwarsdoorsnede 'Zaltbommel waterstad'

Het idee voor de uitvoering van de multifunctionele waterkering in het plan 'Zaltbommel waterstad' is door architect H. Zwanziger geschatst in figuur 12. De waterkering wordt daarbij uitgevoerd als een verticaal waterkerend element en daarmee civieltechnisch gespecificeerd als '*bijzondere constructie*'.

'Bijzondere waterkerende constructies' worden doorgaans toegepast om waterkeringen te versterken, of een deel van de dijk te vervangen. Dit gebeurt op plaatsen in het tracé van de dijkverbetering waar een object ligt, dat vanwege landschaps, natuur- of culturele waarde gespaard moet worden [10]. Hier wordt verder op ingegaan in paragraaf 6.2.

De waterkering heeft in het plan de uitstraling van een stadsmuur. Om dit te accentueren, is de waterkering uitgevoerd onder een helling ten opzichte van de verticaal. Door de bouw van een parkeergarage in de waterkering (zie ook figuur 12) wordt het parkeerprobleem ter plaatse van het centrum aangepakt. Door de parkeerplaatsen op maaiveldniveau te situeren kan de weg door de parkeergarage

eventueel onderdeel zijn van het ontsluitingsplan van het stadscentrum. De stadskant van de garage moet dan een open karakter krijgen. Boven de parkeergarage is ruimte voor winkels en woningen. In de Waal worden kleine donjons te gebouwd die het idee geven van kasteeltjes. Vanaf de Waal richting stad wordt de locatie afgewisseld door in de hoogte verlopende bebouwing gelegen aan stadsgrachten. De multifunctionele waterkering biedt door de modulaire opbouw, de mogelijkheid op diverse locaties de functies verschillend te combineren:

1. alléén een waterkering met al dan niet een wandelpromenade.

Het verticaal waterkerende element heeft alléén een waterkerende functie.

2. een waterkering met wandelpromenade, gecombineerd met een parkeergarage.

Het verticaal waterkerende element heeft in het ontwerp een waterkerende functie en een dragende functie.

3. een waterkering met wandelpromenade, gecombineerd met een parkeergarage, woningen en winkels.

Het verticaal waterkerende element heeft in het ontwerp een waterkerende functie en een dragende functie:

Combinatie 3. wordt uitgewerkt. Daarbij worden de minimaal benodigde afmetingen aangehouden. De parkeergarage kan in de multifunctionele waterkering één- of tweelaags uitgevoerd worden. Uitgegaan wordt van een éénlaagse parkeermogelijkheid.

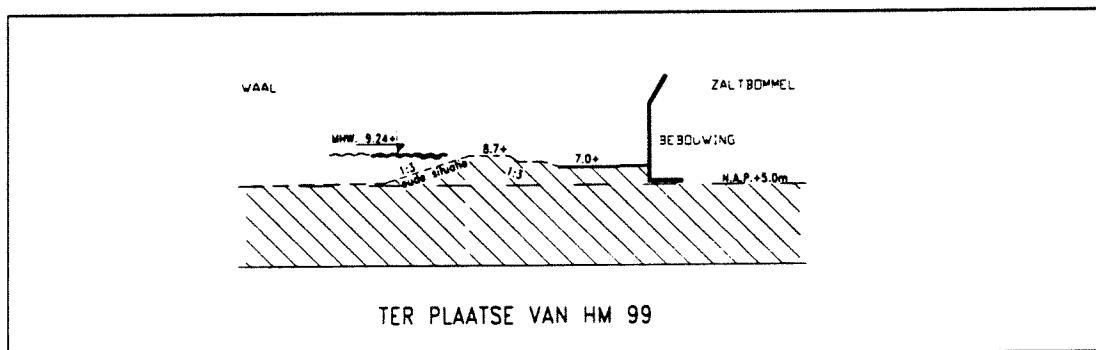
3.2.1 Standaarddoorsneden

Bij de afweging of het gebruik van een multifunctionele waterkering, als alternatief voor de traditionele dijkverzwareing interessant is op deze locatie, wordt gebruik gemaakt van twee doorsneden van de bestaande situatie die als karakteristieke doorsneden zijn aan te merken. Deze doorsneden worden in het vervolg aangemerkt als ‘standaarddoorsneden.’

Het gaat om één doorsnede ter plaatse van de Waalkade, Hm 99 (zie figuur13) en één doorsnede ter plaatse van het bedrijfsterrein de Waal, Hm 104 (zie figuur14.) Het gebruik van twee standaarddoorsneden, waarbij in de eerste doorsnede de traditionele dijk aanwezig is en in de tweede doorsnede niet, werkt inzichtelijk voor de inventarisatie van aanwezige problemen en mogelijke oplossingen.

Uitgangspunten standaard-doorsnede 1:

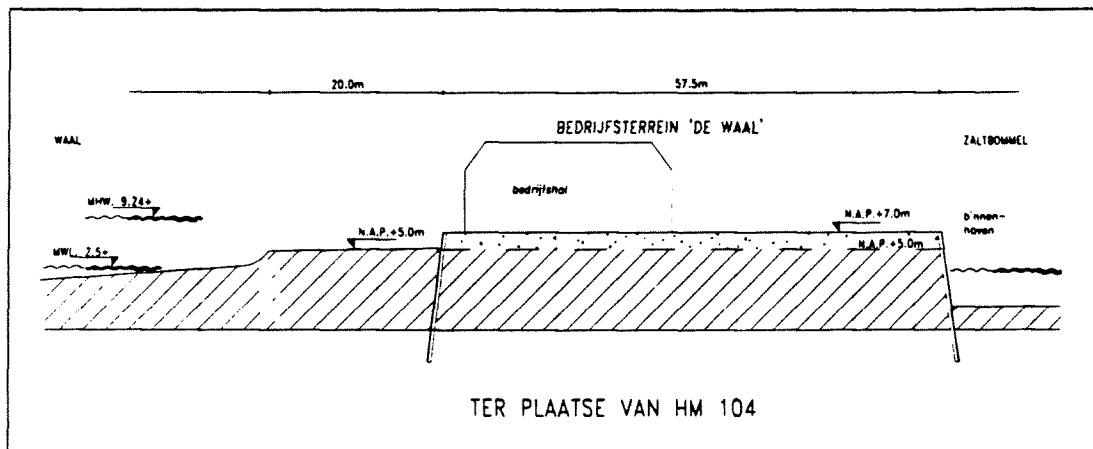
- Voorland op NAP+5,0m
- Maaiveld achter de dijk op NAP+7,0m



Figuur 13, standaard-doorsnede 1, t.p.v. Hm. 99

Uitgangspunten standaard-doorsnede 2:

- Voorland op NAP.+5,0m
- Maaiveldniveau ter plaatse van het bedrijfsterrein: NAP.+7,0m



Figuur 14, standaard-doorsnede 2, t.p.v. Hm. 104

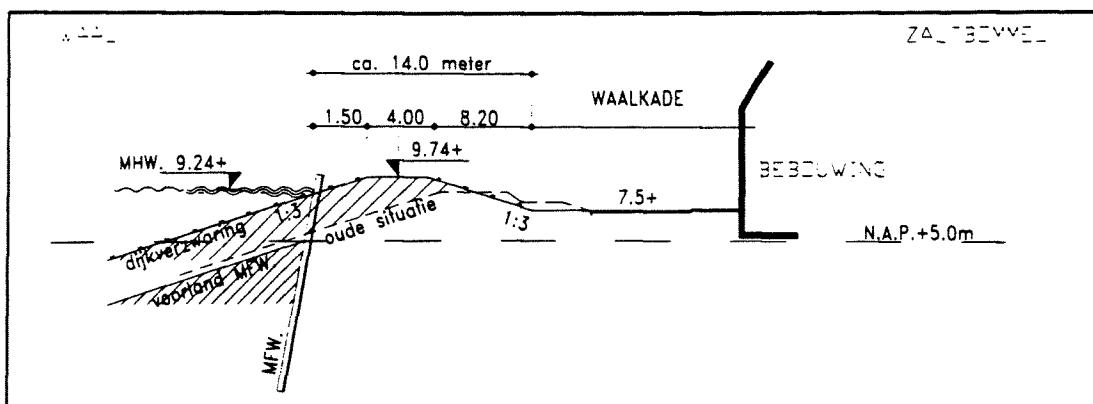
Op basis van deze standaarddoorsnedes worden de verschillende oplossingen beoordeeld.

3.2.2 afweging van een oplossing anders dan de traditionele dijkverzwaring.

Als de afweging gemaakt wordt tussen toepassing van een traditionele dijkverzwaring en een revolutionaire oplossing spelen de volgende zaken een rol:

- **Ruimtebesparing** in het dijkprofiel t.o.v. toepassing van een traditionele dijkverzwaring.

De ruimte die bij een traditionele dijkoplossing voor de waterkering wordt gereserveerd, is qua afmeting doorgaans aanzienlijk. Bij een dijkverzwaring worden met het oog op stabiliteit, de taluds met een helling van 1:3 of flauwer opgezet.



Figuur 15, dijkverzwaring versus MFW. t.p.v. Hm. 99

Bij hoogwater moet de dijk goed bereikbaar en begaanbaar blijven daarom wordt een minimale kruinbreedte van 4.0 meter vereist waarop nog een goede inspectieweg aangebracht kan worden. In figuur 15 is de doorsnede van de

bestaande situatie ter hoogte van de Waalkade, samen met de dijkverzwareing ingetekend.

Wordt bij toepassing van een multifunctionele waterkering (=MFW.) het verticale waterkerende element ingebracht op het snijpunt van maatgevend hoogwater met het buitentalud van de geplande dijkverzwareing zoals geschetst in figuur 15, dan geeft de toepassing van een multifunctionele waterkering ten opzichte van dijkverzwareing, binnendijks een ruimtebesparing van ca. 14.0 meter. De gewonnen ruimte kan door andere functies (zoals wonen, parkeren of winkels) benut worden. Vanzelfsprekend kan ervoor gekozen worden het verticale waterkerende element van een multifunctionele waterkering ten opzichte van de geplande dijkverzwareing op een andere plaats in te planten dan aangegeven in figuur 15.

- **Duurzame constructie** in vergelijking met een traditionele waterkering

De stabiliteit van een duurzame constructie is niet afhankelijk van (wijzigingen in) grondwaterstanden, (het verminderen van) de kwaliteit van dijkbekleding en andere externe invloeden zoals bijv. rattengangen, graverij ed.

Als een nadeel van een duurzame constructie kan genoemd worden het feit dat deze niet eenvoudig aan te passen is aan veranderende waterstanden, echter indien hiermee in de constructie rekening in wordt gehouden, is hier een voorziening voor te treffen. In dit ontwerp wordt door het bewust op bepaalde wijze indelen van de functies ruimte vrijgehouden voor een eventuele verzwareing van de constructie.

- **Leereffect**

Bij het toepassen van een nieuwe techniek ten opzichte van een conventionele techniek hebben we te maken met een zowel technisch als organisatorisch nieuw proces. Door verbeteringen in aanpak, coordinatie en communicatie op de bouwplaats ontstaat na verloop van tijd optimalisatie in het uitvoeringsproces. Deze optimalisatie wordt het leereffect genoemd die invloed heeft op de kosten.

Organisatorisch is het zo dat de planning, onderhoud en vernieuwing van conventionele waterkeringen een zeer beproefd proces is dat uitgevoerd wordt door organisaties die met deze technieken zeer veel ervaring hebben en wiens primaire verantwoordelijk het is te zorgen voor optimale beveiliging. Het inzetten van nieuwe technieken zal een geheel andere werkwijze vereisen, daarnaast zal de motivatie van beleidsmakers (in dit geval Verkeer en Waterstaat) om nieuwe technieken toe te passen die andere doelen dienen naast optimale veiligheid, niet groot zijn.

Macro-economisch gezien is het ontwikkelen en toepassen van nieuwe technieken interessant zo niet noodzakelijk om de goede positie die Nederland inneemt in het civieltechnische veld, op zijn minst te handhaven. Investeringen hierin zijn niet alleen in het belang van Zaltbommel, maar dienen een nationaal economisch belang.

4. FUNCTIESPLITSING HORIZONTAAL/VERTICAAL

De huidige waterkering in de vorm van een dijklichaam heeft een aanzienlijk ruimtegebruik om slechts één functie te kunnen garanderen: het keren van water onder extreme omstandigheden, veiligheid garanderen dus.

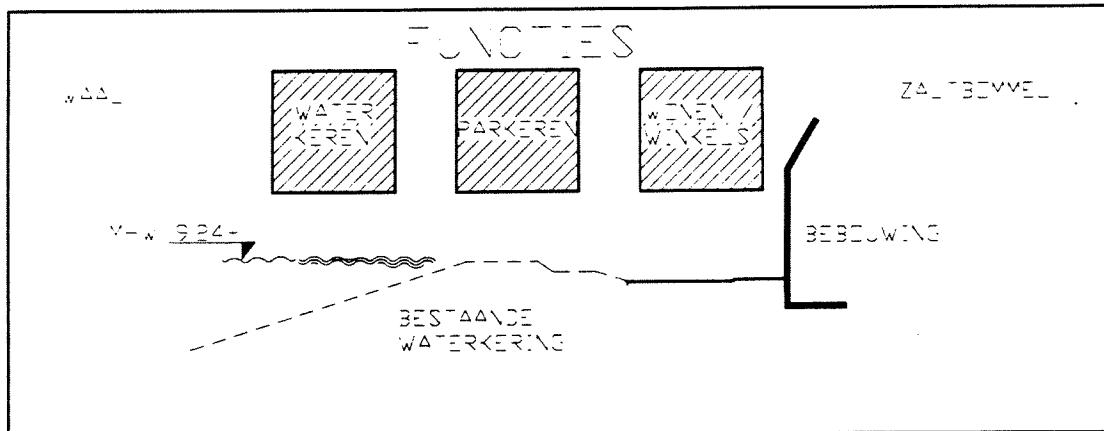
Het idee van de multifunctionele waterkering gaat uit van het combineren van meerdere functies binnen oppervlak dat voor de waterkering beschikbaar is.. In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke mogelijkheden men heeft om de verschillende functies binnen de beschikbare ruimte te combineren.

4.1 VERSCHILLEN DIJKLICHAAM - MULTIFUNCTIONELE WATERKERING T.A.V. FUNCTIONEEL ASPECT

Het idee van de multifunctionele waterkering is op een aantal punten wezenlijk anders dan de bestaande toestand:

- functies

Het voornaamste onderscheid is het uitgangspunt dat de nieuwe waterkering meerdere functies combineert binnen het oppervlak waarop de huidige waterkering is gebouwd. De huidige waterkering heeft in de hiervoor gereserveerde ruimte één voornamme functie: het keren van water. De nieuwe waterkering schept de mogelijkheid tot intensiever (en ander) gebruik van de ruimte.



Figuur 16, functies multifunctionele waterkering

- materiaal

De huidige waterkering is uit één materiaal opgebouwd: grond. Daarbij is voornamelijk gebruik gemaakt van klei als grondsoort. Klei bevat goede eigenschappen met betrekking tot waterdichtheid en taaïheid, maar minder goede eigenschappen met betrekking tot draagvermogen en de daarmee gepaard gaande vervormingen. De nieuwe waterkering zal uit meerdere materialen zijn opgebouwd. Gezien de gunstige eigenschappen van beton op het gebied van sterkte, stijfheid, waterdichtheid en duurzaamheid, zal hiervan in combinatie met andere materialen gebruik worden gemaakt. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om de waterkering slanker te construeren.

- dwarsprofiel

De huidige waterkering bestaat uit een grondlichaam waarbij het dwarsprofiel relatief veel ruimte inneemt ten opzichte van de kerende hoogte. Dit komt omdat de taluds in het materiaal grond niet zo steil opgezet kunnen worden met het oog op stabiliteit. Hellingen van ca. 1 op 3 zijn gebruikelijk. In principe is bij een multifunctionele waterkering met toepassing van constructieve elementen een verticale scheiding van grond en water mogelijk. Dit leidt tot efficient ruimtegebruik omdat het dwarsprofiel van de waterkering beperkt blijft.

- fundering

De huidige waterkering bestaande uit een dijk, is op staal gefundeerd. De stabiliteit is bij wisselende belasting afhankelijk van de schuifweerstandseigenschappen van de grond. De fundering van de nieuwe waterkering zal afhankelijk van de belasting op staal of op palen gefundeerd worden.

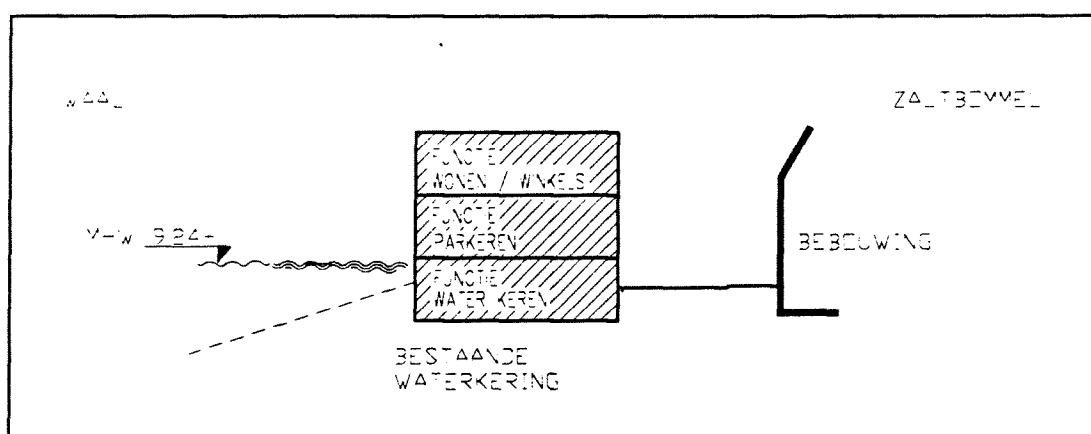
4.2 MOGELIJKE COMBINATIES VAN FUNCTIESPLITSING

De kracht van de multifunctionele waterkering is gebaseerd op het feit dat er meerdere mogelijkheden zijn om de verschillende functies binnen de beschikbare ruimte te combineren.

- door verschillende functies (wonen, parkeren en waterkeren) **verticaal** te combineren in de beschikbare ruimte (zie figuur 17.)

De constructieve onderdelen hebben hierbij meerdere functies.

Zo kan de wand van de parkeergarage als constructief onderdeel van de parkeergarage ook een waterkerende functie hebben en een dragende functie voor de woningbouw.



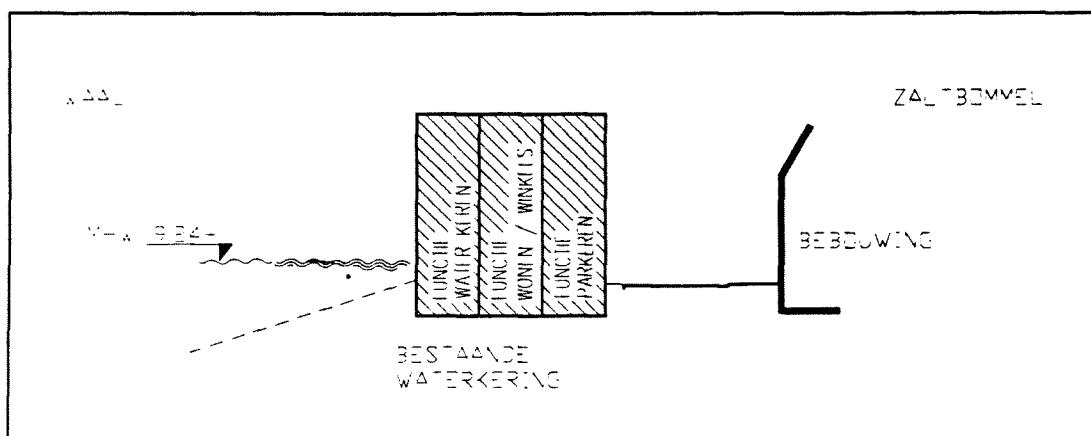
Figuur 17, verticaal combineren van verschillende functies

Voordeel is dat voor de woonfunctie de totale breedte van het voormalige dijklichaam gebruikt kan worden.

Nadeel is dat door deze samenvoeging van functies een aanpassing van één functie in de toekomst, bijvoorbeeld vergroten van de kerende hoogte, moeilijk te realiseren is.

- door de verschillende functies **horizontaal** te combineren waarbij iedere functie aan een deel van de beschikbare ruimte gekoppeld wordt (zie figuur 18.)

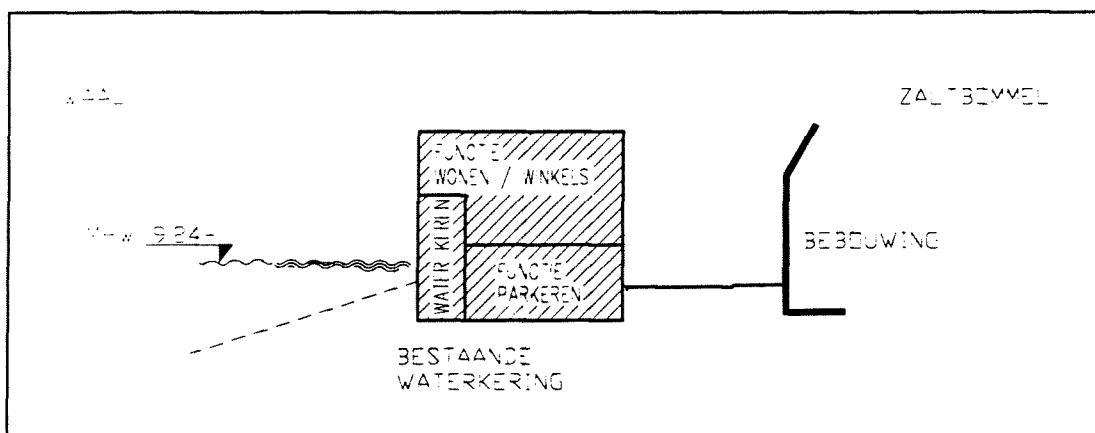
Er is een bepaalde breedte aanwezig waarin de drie functies terug moeten komen. Bij deze combinatie kunnen de verschillende onderdelen van de multifunctionele waterkering onafhankelijk van elkaar gebouwd worden (met de nodige voorzorgsmaatregelen.) Omdat iedere functie een specifieke breedte eis heeft is het nadeel van dit alternatief dat de totale breedte een maatgevende beperkende factor is voor het ontwerp van de waterkering.



Figuur 18, horizontaal combineren van verschillende functies

- Een ander alternatief is om de verschillende functies **zowel horizontaal als verticaal** te combineren (figuur 19.)

Gezien de belangrijke taak die de waterkering te verwezenlijken heeft , is het verstandig om de waterkering goed bereikbaar te maken voor onderhoud en reparaties. Dit is te bereiken door de functie ‘waterkeren’ los te koppelen van de andere twee functies ‘wonen en parkeren’. Combineert men de functie wonen en parkeren verticaal en combineert men deze twee functies horizontaal met de functie waterkeren, dan is de bereikbaarheid van de waterkering beter te waarborgen is dan het eerste alternatief en de aanlegbreedte van de waterkeringsontwerp minder dan het tweede alternatief.



Figuur 19, horizontaal/ verticaal combineren van functies

4.2.1 Keuze horizontaal/verticaal combineren van functies

Bij het horizontaal combineren van de functies is de onderlinge samenhang van de verschillende onderdelen aanzienlijk minder dan bij verticaal combineren. Het idee achter de multifunctionele waterkering -het integreren van verschillende functies in één ontwerp- komt bij zuiver horizontaal combineren van de functies niet tot zijn recht. Immers iedere functie kan onafhankelijk van de andere, ontworpen en uitgewerkt worden.

De waterkering zou als L-muur toegepast kunnen worden als de functie horizontaal met elkaar worden gecombineerd. De ruimte achter de L-muur aan stadszijde kan, zolang de stabiliteit van de L-muur gewaarborgd blijft, naar believen ingevuld worden. Op deze manier wordt de maximale vrijheid van ontwerpen en daarmee ruimte-invulling gehaald. Dit ontwerp wordt al veelvuldig toegepast en is zeker niet innovatief.

Wil men toch enige samenhang in het ontwerp terug laten komen, wat de achterliggende gedachte is van de multifunctionele waterkering, dan zullen de verschillende functies (wonen, parkeren en waterkeren) afhankelijk van elkaar gemaakt moeten worden. De functies dienen daarvoor (in ieder geval voor een deel) verticaal in de ruimte gecombineerd te worden. Om toch een zekere ontwerp vrijheid te behouden en de verschillende functies daarbij afhankelijk van elkaar te maken kan gekozen worden voor een combinatie van horizontaal en verticaal integreren van functies.

Door bijvoorbeeld de voor iedere functie benodigde fundering te combineren tot één gezamelijke fundering, wordt een aanzet gegeven tot de integratie van de verschillende functies. Op deze manier ontstaat ook een samenhang tussen de verschillende onderdelen in het ontwerp.

De keuze is dan ook gevallen op het combineren van de verschillende functies (wonen, parkeren en waterkeren) in horizontale èn in verticale zin.

5. GEGEVENS T.B.V. BEREKENING

Dit deel van de afstudeeropdracht gaat in op de technische aspecten van het project ‘Zaltbommel Waterstad’. Hierin worden de gegevens behandeld die benodigd zijn voor het uitwerken van constructiealternatieven.

Om de waterkeringsconstructie te kunnen dimensioneren, moeten de belastingen worden vastgesteld die op de waterkering werken. Voor de afdracht van de belastingen naar de ondergrond moeten de eigenschappen van de ondergrond bekend zijn. In dit hoofdstuk worden de eigenschappen van de ondergrond bepaald aan de hand van grond-, grondwater- en watergegevens. Het volgende hoofdstuk behandelt de verschillende belastingen die op de waterkering werken.

De grondeigenschappen uit dit hoofdstuk en de belastingsgegevens uit hoofdstuk 6 vormen de uitgangspunten voor de constructieve- en waterbouwkundige berekeningen waarmee de constructie dan gedimensioneerd gaat worden.

5.1 GRONDGEGEVENS

5.1.1 inleiding

Voor waterbouwkundige berekeningen op geotechnisch gebied zijn met name de sterkte- en stijfheidseigenschappen van de grond van belang. Deze eigenschappen kunnen afgeleid worden uit het verband tussen vervormingen en normaal- en schuifspanningen. De sterkte van de grond wordt bepaald door de combinatie van normaal- en schuifspanningen die maximaal opgenomen kunnen worden zonder het optreden van extreme vervormingen. De stijfheid van de grond bepaalt de mate waarin de vervorming onder invloed van spanningen wordt beperkt.

Voor bepaling van de sterkte van de grond wordt het Mohr-Coulomb criterium aangehouden. Hierbij wordt uitgegaan van het door Coulomb gevonden rechtlijnige verband voor de kritische combinaties van normaal- en schuifspanning.

In formulevorm geldt: $\tau_f = c + \sigma \tan\varphi$ waarbij:

τ_f = kritische schuifspanning

c = cohesie

σ = normaalspanning

φ = hoek van inwendige wrijving

Grondeigenschappen met betrekking tot sterkte en stijfheid kunnen uitgedrukt worden in grondparameters. Met behulp van deze parameters (zoals c en φ) kan de sterkte van de grond bij verschillende spanningscombinaties berekend worden.

5.1.2 mogelijkheden bepaling grondeigenschappen

Om iets te kunnen zeggen over sterkte en stijfheidseigenschappen van de grond en het vervormingsgedrag bij belasting dienen de zogenaamde grond- of rekenparameters vastgesteld te worden. Volgens de geotechnische norm NEN 6740 zijn hiervoor twee mogelijkheden:

1. Gebruikmaking van de representatieve waarden uit de NEN 6740, tabel 1.

Tabel 1 - Representatieve waarden voor grondeigenschappen

grondaart		representatieve gemiddelde waarden van de grondeigenschappen												
hoofd-naam	bijmengsel	consisten-	$\gamma^1)$	γ_{sat}	$q_c^{3) \circ}$	C_p	C_s	C_c	$C_a \S)$	C_{sw}	$E \#$	ϕ^*	c^*	f_{adu}
		tie 1)	kN/m ³	kN/m ³	MPa						MPa	*	MPa	kPa
grind	zwak siltig	los	17	19	15	500	-	0,018	0	0,003	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.
		matig	18	20	25	1000	-	0,004	0	0,002	125	35	n.v.t.	n.v.t.
		vast	19 of 20	21 of 22	30	1200 of 1400	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	150 of 200	37,5 of 40		
	sterk siltig	los	18	20	10	400	-	0,009	0	0,003	50	32,5	n.v.t.	n.v.t.
		matig	19	21	15	600	-	0,006	0	0,002	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.
		vast	20 of 21	22 of 22,5	25	1000 of 1500	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40		
zand	achooon	los	17	19	5	200	-	0,021	0	0,007	25	30	n.v.t.	n.v.t.
		matig	18	20	15	600	-	0,006	0	0,003	75	32,5	n.v.t.	n.v.t.
		vast	19 of 20	21 of 22	25	1000 of 1500	-	0,003 of 0,002	0	0,001 of 0	125 of 150	35 of 40		
	zwak siltig	los	18 of 19	20 of 21	12	450 of 650	-	0,008 of 0,005	0	0,003 of 0,001	25 of 35	27 of 32,5	n.v.t.	n.v.t.
		kleiig												
	sterk siltig	los	18 of 19	20 of 21	8	200 of 400	-	0,019 of 0,009	0	0,006 of 0,001	20 of 30	25 of 30	n.v.t.	n.v.t.
		matig												
leem 4)	zwak zandig	slap	19	19	1	25	650	0,168	0,004	0,036	2	27,5 of 30	0	50
		matig	20	20	2	45	1300	0,084	0,002	0,028	5	27,5 of 32,5	2	100
		vast	21 of 22	21 of 22	3	70 of 100	1900 of 2500	0,049 of 0,030	0,001	0,017 of 0,005	10 of 20	27,5 of 35	5 of 7,5	200 of 300
	sterk zandig	los	19 of 20	19 of 20	2	45 of 70	1300 of 2000	0,092 of 0,035	0,002	0,031 of 0,005	5 of 10	27,5 of 35	0 of 2	50 of 100
		matig	14	14	0,5	7	80	1,357	0,013	0,452	1	17,5	0	25
		vast	17	17	1,0	15	160	0,362	0,006	0,121	2	17,5	10	50
	zwak zandig	los	19 of 20	19 of 20	2,0	25 of 30	320 of 500	0,168 of 0,126	0,004	0,036 of 0,042	4 of 10	17,5 of 25	25 of 30	100 of 200
		matig	15	15	0,7	10	110	0,759	0,009	0,253	1,5	22,5	0	40
		vast	18	18	1,5	20	240	0,237	0,005	0,079	3	22,5	10	80
	sterk zandig	los	20 of 21	20 of 21	2,5	30 of 50	400 of 600	0,126 of 0,069	0,003	0,042 of 0,014	5 of 10	22,5 of 27,5	25 of 30	120 of 170
		matig												
	organisch	los	18 of 20	18 of 20	1,0	25 of 140	320 of 1680	0,190 of 0,027	0,004	0,063 of 0,025	2 of 5	27,5 of 32,5	0 of 2	0 of 10
		matig	13	13	0,2	7,5	30	1,690	0,015	0,550	0,5	15	0 of 2	10
		vast	15 of 16	15 of 16	0,5	10 of 15	40 of 60	0,760 of 0,420	0,012	0,250 of 0,140	1,0 of 2,0	15	0 of 2	25 of 30
	niet voorbelast	slap	10 of 12	10 of 12	0,1	5 of 7,5	20 of 30	7,90 of 1,810	0,023	2,530 of 0,600	0,2 of 0,5	15	2 of 5	10 of 20
		matig	12 of 13	12 of 13	0,2	7,5 of 10	30 of 40	1,810 of 0,900	0,016	0,600 of 0,300	0,5 of 1,0	15	5 of 10	20 of 30
	variatiecoëfficiënt				0,05	-				0,25		0,10		

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

- voor $\gamma, \gamma_{sat}, C_p, C_s, E, \phi^*, c^*$ en f_{adu} : als een verhoging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie (grotere afname fundering), dan moet de rechtermarge op dezelfde regel zijn gehakt, of, indien er geen rechtermarge is vermeld, de waarde op de regel daaronder.
- voor C_c, C_a en C_{sw} : als een verlaging van de waarde leidt tot een ongunstige situatie, dan moet de rechtermarge op dezelfde regel zijn gebruikt, of, indien er geen rechtermarge is vermeld, de waarde op de regel daaronder.

- 1) los : $0 \leq R_n \leq 0,33$
- 2) matig : $0,33 \leq R_n \leq 0,67$
- 3) vast : $0,67 < R_n < 1,00$
- 4) bij natuurlijk vochtgehalte
- 5) hier gegeven q_c^* -waarden (conusweerstand) dienen als ingang in de tabel via C_p te verrijgen zijn de gemeten waarden van q_c te converteren naar een effectief verticale spanningssniveau
- 6) q_c en E zijn genormeerd op een effectieve verticale spanning van 100 kPa. Om een juiste ingang in de tabel via C_p te verkrijgen moet worden bepaald met de grafiek in figuur 2A.

Tabel 1, NEN 6740 tabel 1: representatieve waarden voor de grondeigenschappen

Daarbij wordt de grond met behulp van tabel 1 uit NEN 6740, op basis van de gevonden waarden uit de sondering, geklassificeerd. Na classificatie kan met tabel 1, een aantal grondparameters worden bepaald.

2. Het verrichten van een grondonderzoek.

Een grondmonster wordt in een laboratorium op verschillende eigenschappen beproefd. Op basis van de gevonden onderzoeksresultaten worden de representatieve waarden van de grondeigenschappen, de zogenaamde rekenparameters, voor de verschillende lagen vastgesteld.

De waarden van tabel 1 zijn conservatief omdat het gebruik van de tabel moet leiden tot een veilige geotechnische constructie. Het is daarom vaak lonend om grondonderzoek te laten verrichten omdat op basis van laboratoriumonderzoek bepaalde grondeigenschappen efficiënter gedimensioneerd kunnen worden.

Aangezien deze resultaten niet vorhanden zijn wordt gebruik gemaakt van tabel 1 uit de NEN 6740 om de grondeigenschappen vast te stellen.

5.1.3 geologische opbouw van de ondergrond

Om inzicht te krijgen in de geologische opbouw van de ondergrond, wordt gebruik gemaakt van sonderingen. Een sondering levert informatie over de conusweerstanden en wrijvingseigenschappen van de verschillende grondlagen. Om inzicht te krijgen in de opbouw van de ondergrond langs de rivier De Waal zijn vijf sonderingen beschikbaar [3.] Daarbij zijn de sonderingen uitgevoerd met meting van de plaatselijke wrijving tot een diepte van NAP-22 meter. Wordt een sondering gecombineerd met een boring, dan vormt de boring een visuele controle op de grondopbouw en op de meetwaarden voortkomend uit een sondering.

Een boring is voor deze locatie niet voor handen.

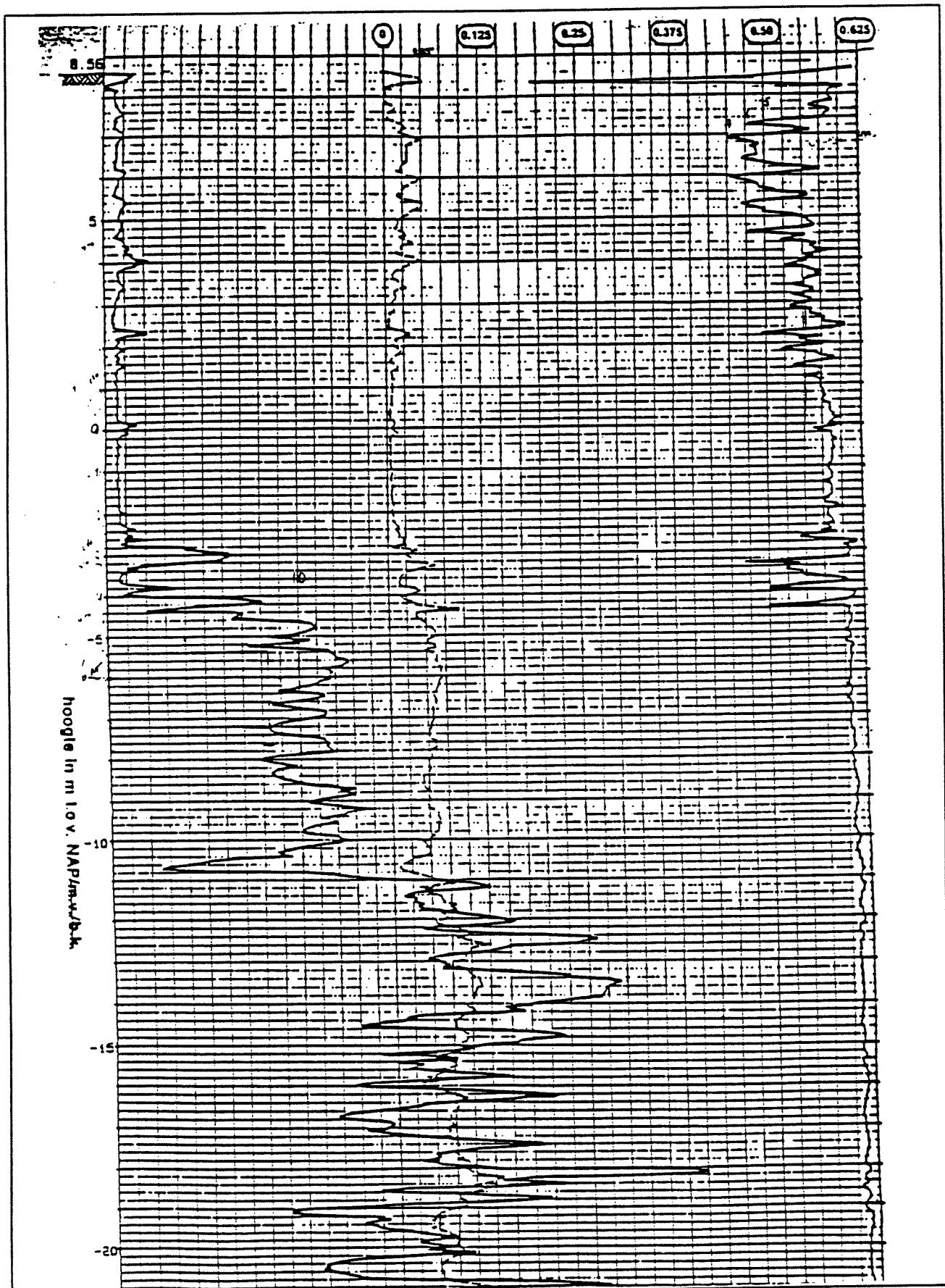
5.1.3.1 wrijvingsgetal

Het wrijvingsgetal maakt samen met de conusweerstand, classificatie van de verschillende grondlagen mogelijk. Voor de berekening zijn de volgende wrijvingsgetallen voor de verschillende grondsoorten aangehouden (zie tabel 2.):

GRONDSOORT	WRIJVINGSGETAL (= f_s / q_c)
Zand	1
Leem of zand/klei mengsels	2
Klei	3 tot 5
Veen	8 tot 10

Tabel 2, wrijvingsgetal per grondsoort

De sondering (zie figuur 20) is uitgevoerd met meting van de plaatselijke wrijving. Geheel rechts in de sondering is het wrijvingsgetal (= plaatselijke kleef / conusweerstand) aangegeven.



Figuur 20, sondering met meting van plaatselijke wrijving

5.1.3.2 sondering

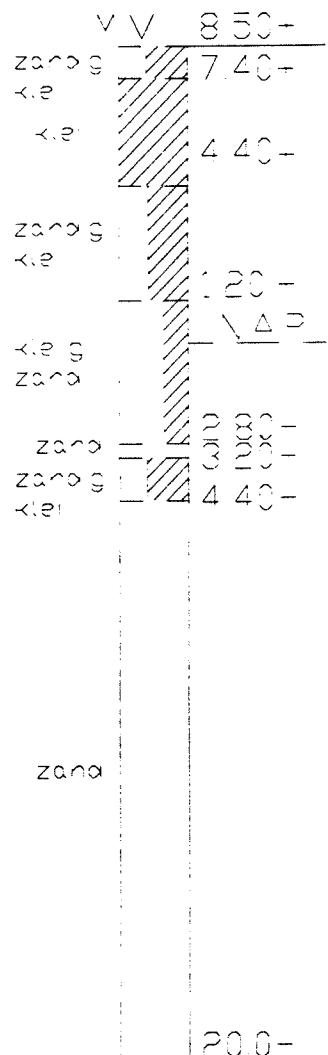
De sondering in figuur 20 staat model voor de overige sonderingen en is gemaakt ter hoogte van hectometernr. 95.5. Voor de classificatie van de verschillende grondlagen uit de sondering is het wrijvingsgetal in beschouwing genomen. De sondering geeft dan de volgende grondopbouw te zien:

- Vanaf de huidige dijkkruin, liggend op NAP+8.5m tot een diepte van NAP+1.20 m' is over het algemeen klei aanwezig, afgewisseld met zandige kleilaagjes. Het huidige maaiveldniveau ligt gemiddeld op NAP+5,0m.
- Van NAP+1.20 m tot NAP-2.80 m is leem aanwezig. Dit pakket behoort tot de holocene deklaag.
- Onder deze deklaag is vanaf NAP-2.80 m tot NAP-10.80 m een los tot matig gepakt, watervoerend zandpakket aanwezig welke behoort tot de formatie van Kreftenheye.
- Dit zandpakket gaat op NAP-10.80 m over in matig tot vast gepakte, watervoerende zandafzettingen behorend tot de formatie van Sterksel.

Soms wordt tussen beide watervoerende zandpakketten een weerstandbiedende laag aangetroffen, variërend in dikte tot 5 meter. In Zaltbommel is deze weerstandbiedende laag slechts plaatselijk aanwezig. De sondering geeft aan dat deze laag, tussen NAP-15m en -20m, niet aanwezig is.

5.1.4 boorprofiel

Op basis van de sondering uit figuur 20 met bijbehorende wrijvingsgetallen, kan het boorprofiel worden geschatst:



Figuur 21, boorprofiel
t.p.v. Hm 96.5

5.1.5 aan te houden waarden tabel 1 NEN 6740

Met gebruik van tabel 1 uit de geotechnische norm 6740 kunnen de representatieve waarden van de grondeigenschappen vastgesteld worden. De gemeten conusweerstand q_c uit de sondering vormt, samen met de geclassificeerde grondlagen, de ingang voor tabel 1.

Voor de verschillende grondlagen worden de volgende representatieve waarden aangehouden:

Diepte tov NAP (in m')	conus weerstand (in Mpa)	Wrijvings getal (-)	Grondsoort soort. Gewicht (in kg/m³)	Consistentie bijmengsel	C'_p (-)	C'_s (-)	ϕ (°)	c' (KPa)	$f_{undr.}$ (KPa)
8.5+ tot 1.2+	0.7-2.0	3-6	klei (droog/nat) $\gamma=14/17$	slap/matig zwak zandig	15	175	22.5	5	60
1.2+ tot 2.8-	0.7	1.7	klei (nat) $\gamma=18$	- zandig	25	320	27.5	1	5
2.8- tot 10.8-	10	0.9	zand (nat) $\gamma=19.5$	los tot matig	400	-	31	-	-
10.8- tot 20.0-	15-30	0.7	zand (nat) $\gamma=21.0$	Matig tot vast	1000	-	35	-	-

Tabel 3, aangehouden representatieve parameterwaarden per grondlaag

De rekenwaarden worden gevonden door deling van de representatieve waarden met de partiele materiaalfactoren. Hiervoor is uitgegaan van veiligheidsklasse III met de volgende partiele factoren:

parameter	c'	ϕ	δ	γ	K
Partiele Materiaalfactor	1.1	1.2	1.2	1.0	2.0

Tabel 4, partiele materiaalfactoren

Voor de verschillende grondparameters zijn de volgende rekenwaarden aangehouden:

Diepte tov NAP (in m')	Conus weerstand (in Mpa)	wrijvings getal (-)	Grondsoort soort. Gewicht (in kg/m³)	Consistentie bijmengsel	C'_p (-)	C'_s (-)	ϕ (°)	c' (KPa)	$f_{undr.}$ (KPa)
8.5+ tot 1.2+	0.7-2.0	3-6	klei (droog/nat) $\gamma=14/17$	slap/matig zwak zandig	15	175	18.7	4.5	60
1.2+ tot 2.8-	0.7	1.7	klei (nat) $\gamma=18$	- zandig	25	320	22.9	0.9	5
2.8- tot 10.8-	10	0.9	zand (nat) $\gamma=19.5$	los tot matig	400	-	25.8	-	-
10.8- tot 20.0-	15-30	0.7	zand (nat) $\gamma=21.0$	Matig tot vast	1000	-	29.1	-	-

Tabel 5, aangehouden rekenwaarden per grondlaag

5.1.5.1 gronddrukfactoren

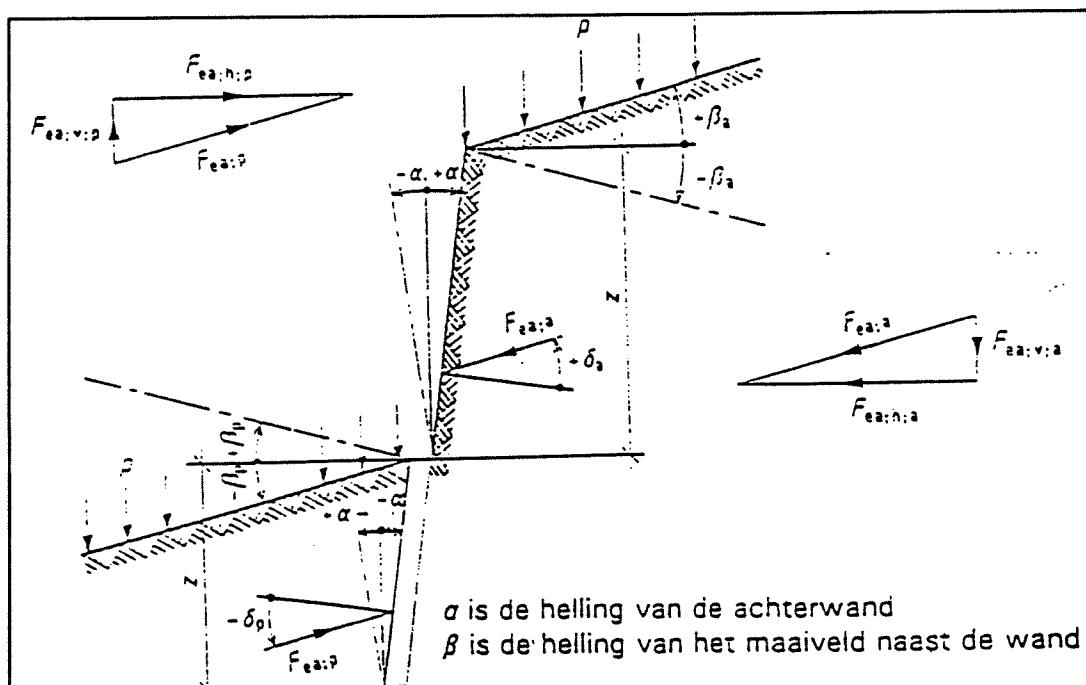
Ten behoeve van de damwandberekeningen worden voor de verschillende grondsoorten de actieve horizontale gronddrukfactor λ_{ah} en de passieve horizontale gronddrukfactor λ_{ph} bepaald. Deze zijn afhankelijk van:

- de wandhelling (α). De wand staat onder 10° in verband met het oude stadsmuur idee
- de maaiveldhelling (β). Het maaiveld sluit horizontaal aan op de wand ($\beta=0^\circ$).
- de hoek van inwendige wrijving (ϕ). Daarbij worden de waarden van tabel 3 en 5 gehouden voor de verschillende grondsoorten.
- de wandwrijvingshoek (δ). De volgende vuistregels zijn gehouden waarbij de wandwrijving δ wordt uitgedrukt in ϕ :

Grondsoort	Wandwrijving δ
Zand	$\delta = 2/3\phi$
Klei	$\delta = 1/3\phi$ tot $2/3\phi$
Veen	$\delta = 0$

Tabel 6, wandwrijving per grondsoort

In figuur 22 zijn de relevante hoeken aangegeven voor de berekening van de actieve en passieve gronddruk.



Figuur 22, relevante hoeken voor de berekening van de actieve en passieve gronddruk

In de praktijk wordt zowel met rechte als gekromde glijdvlakken gerekend (conform de richtlijnen zoals gesteld in de NEN6740.) Theoretisch kan worden afgeleid dat door invloed van de wandwrijving de glijdvlakken gekromd zullen zijn. Ten opzichte van gekromde glijdvlakken geven rechte glijdvlakken een te gunstig beeld. Bij gebruik van de formules voor rechte glijdvlakken zijn daarom in de NEN6740 beperkingen gesteld.

Voor de damwandberekeningen in het projectgebied zijn de volgende formules op basis van rechte glijvlakken gebruikt ter bepaling van de gronddrukfactoren:

Actieve gronddruk:

$$\lambda_{ah} = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

En voor de passieve gronddruk:

$$\lambda_{ph} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

In bijlage B12 zijn de waarden tabelarisch weergegeven voor actieve- en passieve gronddruk.

5.1.5.2 Beddingsconstante

De beddingsconstante K geeft het verband tussen de spanningsverandering en de zakkings weer.

Als beddingsconstante zijn voor de verschillende grondsoorten de volgende waarden aangehouden:

Grondsoort	Bovenkant grondlaag (t.o.v. NAP)	K _{rep}	K _d
Klei	8.5+	2000	1000
Klei	1.2-	2500	1250
zand	2.8-	10000	5000
zand	10.8-	15000	7500

Tabel 7, beddingsconstanten

5.2 (GROND)WATERGEGEVENS

Hierbij zijn twee zaken van belang:

1. De waterstanden in het plangebied.

In dit geval de ontwerpwaterstanden van de rivier en de grondwaterstand van de polder (het zogenaamde polderpeil.) Deze vormen de randvoorwaarden voor waterbouwkundige berekeningen. De grondwaterstanden ter plaatse van de waterkerende constructie worden bepaald door maatgevend hoogwater en laagwater op de rivier, het polderpeil achter de dijk en de grondeigenschappen zoals geologische gelaagdheid, doorlatendheid en berging.

2. Heersende waterspanningen in de verschillende grondlagen.

Waterspanningen vormen een belangrijke belasting bij een waterkerende constructie. Deze zijn afhankelijk van de grondwater- en waterstanden in het plangebied en de eventuele aanwezigheid van grondwaterstroming.

Het grondwaterstromingsbeeld kan op de volgende manieren bepaald worden:

- met behulp van analytische of numerieke rekenmodellen,
- met behulp van grafische methoden,
- uit waarnemingen in de natuur. Hierbij wordt gebruik gemaakt van peilbuiswaarnemingen en waterspanningsmetingen.

Grondwaterstroming wordt gekarakteriseerd door stijghoogten en filtersnelheden als functie van plaats en tijd. De maatgevende hoogwaterstand is plaatsafhankelijk en daarom gekoppeld aan een bepaald hectometernummer.

Om de waterspanningen te kunnen bepalen is het dus van belang inzicht te hebben in de grondwater- en waterstanden en het grondwaterstromingsbeeld.

Het grondwaterstromingsbeeld is bepaald voor de huidige situatie. Aan de hand hiervan is bekeken of er maatregelen dienen te worden genomen om ongewenste neveneffecten tegen te gaan.

5.2.1 gemiddelde (grond)waterstanden

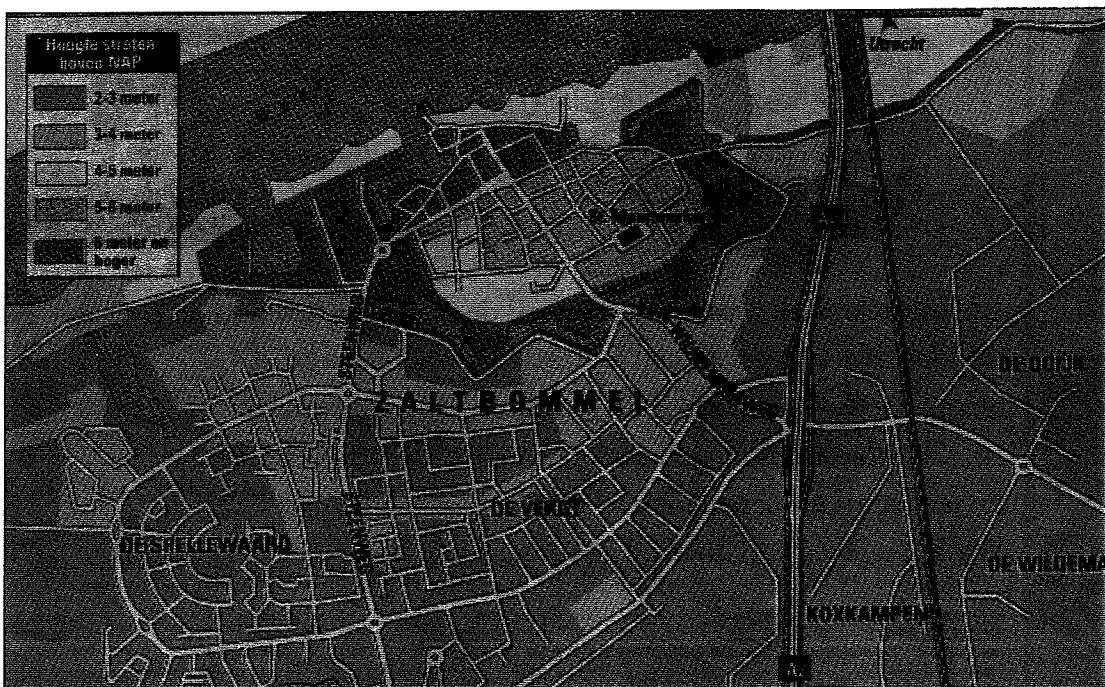
Als ontwerpwaterstanden van de rivier de Waal zijn maatgevend laagwater en maatgevend hoogwater aangehouden. De gemiddelde waterstand van de rivier de Waal bij Zaltbommel bedraagt NAP+2,5 meter. De grondwaterstand in Zaltbommel is afhankelijk van het polderpeil. Gebruikelijk is om bij berekening van grondwaterstroming nabij een riverdijk uit te gaan van de rivierwaterstand en van een grondwaterstand achter de dijk, die gelijk is aan het maaiveldniveau achter de dijk [11]. Nu is het geval dat ter hoogte van het stadscentrum, het voorland van de dijk en het maaiveld achter de dijk, met een gemiddelde hoogte van NAP+5,0 meter, aanzienlijk hoger ligt dan het maaiveld van de polder, dat gemiddeld op NAP+2,5 meter ligt (zie figuur 23.).

Het is dan ook aannemelijk een grondwaterstand van NAP+2,5 meter aan te houden ter hoogte van het stadscentrum. Dit komt dan overeen met de grondwaterstand van de polder.

5.2.1.1 Capillaire opstijging

De freatische grondwaterspiegel ligt dan in de afdekkende kleilaag. In het kleipakket boven de grondwaterstand zal capillaire opstijging van grondwater optreden over een hoogte van 2,0 tot 4,0m. Door deze capillaire opstijging ontstaat in de zone boven de freatische lijn van het grondwater, een negatieve waterspanning. Door een toename van de korrelspanning ten gevolge van de negatieve waterspanning wordt de draagkracht en de stabiliteit van de grond, verbeterd.

Als hoogte voor de capillaire zone wordt 2,0m boven het freatische vlak (op NAP + 2,5m) aangehouden.



Figuur 23, hoogtekaart Zaltbommel

5.2.2 grondwaterstroming

Grondwaterstroming in verschillende grondlagen, beïnvloedt de waterdruk en kan daardoor van invloed zijn op de stabiliteit van de waterkering. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de stabiliteit van het dijklichaam en de onderliggende grondlagen. Kennis van de horizontale- en verticale grondwaterstroming is van belang om te bepalen of er maatregelen moeten worden genomen om ongewenste neveneffecten als gevolg van de stroming tegen te gaan (stabiliteitsverlies, kwel, opbarsten van de bouwput e.d.)

Zoals reeds eerder is vermeld wordt grondwaterstroming gekarakteriseerd door stijghoogten en filtersnelheden als functie van plaats en tijd. Aanwezigheid van stijghoogteverschillen is dan ook typerend voor grondwaterstroming. In bijlage B3 is bekeken of de invloed van de grondwaterstroming in de berekeningen moet worden meegenomen.

5.2.2.1 Methoden voor bepaling van de stijghoogten in de grondlagen

In de bestaande toestand kan de stijghoogte in de verschillende grondlagen worden bepaald door:

1. waarnemingen in de natuur, langs de riverdijk.

Daarbij worden op verschillende plaatsen stijghoogtemetingen gedaan in de verschillende grondlagen.

Deze meetgegevens over de stijghoogte in de verschillende lagen langs het waterkeringstracé zijn niet vorhanden.

2. Door het gebruik van een rekenmodel.

Het stijghoogteverloop wordt in kaart gebracht met behulp van een rekenmodel.

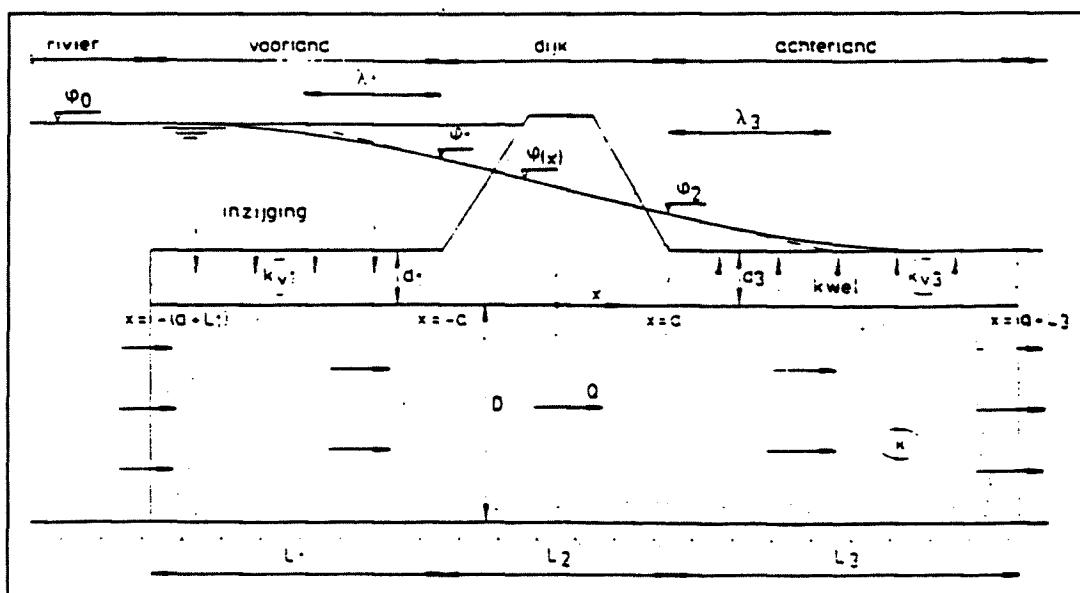
Met bijbehorende analytische oplossing kan de stijghoogte voor maatgevende punten worden uitgerekend. Hiermee kan het stijghoogteverloop in het rekenmodel worden geconstrueerd (zie figuur 24.)

De opbouw van het grondpakket in het plangebied, staat bekend als ‘het hollandse profiel’. Dit grondprofiel is typerend voor riverdijken. Daarbij bestaat de geologische opbouw van de ondergrond van de dijk uit een afdekkende, slecht doorlatende laag van wisselende dikte op een goed doorlatende, watervoerende zandondergrond. Het dijklichaam bestaat veelal uit klei.

Voor het rekenmodel is gebruik gemaakt van dit zogenaamde ‘hollandse profiel’.

5.2.2.2 Stijghoogte verloop huidige waterkering: de dijk

De multifunctionele waterkering ligt in de lengte-as van het bestaande, verzwaarde dijklichaam en zal hierop aansluiten. Voor de traditionele dijkoplossing wordt het stijghoogteverloop met behulp van een rekenmodel bepaald. Dit stijghoogteverloop zal óók voor de multifunctionele waterkering worden gebruikt.



Figuur 24, rekenmodel analytische oplossing van de grondwaterstroming

Voor de traditionele dijkoplossing is uitgegaan van quasi stationaire grondwaterstroming. Bij quasi-stationair stromingsgedrag kan in het rekenmodel de stroming per

tijdstip als *stationair* worden beschouwd. In figuur 24 is het gebruikte model aangegeven [11]

5.2.2.2.1 Horizontale grondwaterstroming

In de berekening in bijlage B3.1 is aangenomen dat de stroming in de zandlaag volledig horizontaal is. Met de analytische oplossing, voor gevallen van stationaire grondwaterstroming [11 appendix B], zijn voor de bestaande toestand, in het zandpakket onder de dijk, tijdens maatgevend hoogwater, de volgende stijghoogtes gevonden. De waarden gelden ter hoogte van hectometernummer 99:

stijghoogte t.p.v. binnenteen **4,46 meter +NAP**

stijghoogte t.p.v. buitenteen **7,29 meter +NAP**

Het bijbehorende debiet Q_1 door de zandlaag onder de dijk bedraagt dan:

$$Q_1 = 4.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Het debiet Q_2 door de kleilaag onder de dijk bedraagt:

$$Q_2 = 3.2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s per m}^2$$

Het horizontale debiet door de kleilaag is een factor 14000 kleiner dan het debiet in de watervoerende zandlaag.

Conclusie: Horizontale grondwaterstroming in het kleipakket is te verwaarlozen ten opzichte van de watervoerende zandlaag. Grondwaterstroming zal voornamelijk optreden in de zandlaag.

5.2.2.2.2 Verticale grondwaterstroming

Verticale grondwaterstroming zal optreden bij stijghoogte verschillen tussen twee grondlagen. Voor de stabiliteit van het dijkklichaam is het van belang om te onderzoeken in welke mate verticale stroming optreedt door de afdekkende kleilaag. Uit de berekening in bijlage B3.2 wordt voor het specifieke debiet in verticale richting (q_z) gevonden:

$$q_z = 4.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s per m}^2$$

Dit komt overeen met een debiet van $0.003 \text{ m}^3/\text{dag per m}^2$ doorstroomoppervlak.

Conclusie: De stroming door de kleilaag is verwaarloosbaar en zal niet in de berekeningen worden meegenomen. De stabiliteit van het waterkerend element onder invloed van de verticale grondwaterstroming is gewaarborgd.

Bovenstaande conclusies gaan uit van een homogeen kleipakket.

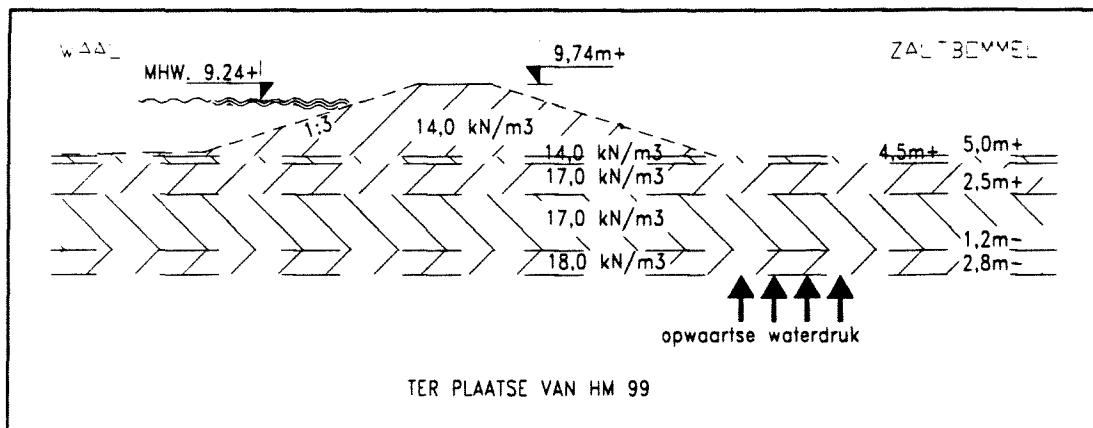
Door aanwezigheid van een zwakke plek in het kleipakket, bijvoorbeeld een wiel achter de dijk, zou de veiligheid van de primaire waterkering nadelig worden beïnvloed. Twee oplossingen zijn dan mogelijk:

- De zwakke plek uitgraven vervangen voor een waterdicht pakket,
- De zwakke plek indammen met bijvoorbeeld waterkerende schermen.

In paragraaf 6.3.3 wordt ingegaan op de mogelijke toepassing van laatst genoemde oplossing in het projectgebied.

5.2.2.3 Veiligheid tegen opbarsten

Op grond van een stijghoogte van 4,46m+NAP ter plaatse van de binnenteen is de veiligheid tegen opbarsten gecontroleerd. De evenwichtsdiepte is aangenomen ter plaatse van de onderkant van het kleipakket met een dikte 7,8m.



Figuur 25, situatie voor de berekening tegen opbarsten

Het maaiveld ligt op 5,0m+NAP. De berekening van de veiligheid tegen opbarsten is bijgevoegd in bijlage B3.3. Uit de berekening volgt dat de opwaartse waterdruk 72,6 kN/m² bedraagt. De neerwaartse belasting ten gevolge van het kleipakket bedraagt 132,7 kN/m². Hieruit volgt een veiligheid tegen opbarsten van 1,83 hetgeen veel groter is dan 1,0.

Conclusie: er is geen gevaar voor opbarsten van de kleilaag bij het optreden van maatgevend hoogwater aan binnendijkse zijde.

5.2.3 maatgevende hoogwaterstand

De maatgevende hoogwaterstand wordt analytisch bepaald en vormt het criterium voor een (een beslissing tot) een verhoging van de primaire waterkering, meestal een dijkverzwarening. Als maatgevende Rijn-afvoer bij Lobith is 16.500 m³/sec. aangehouden. Dit komt overeen met een overschrijdingsfrequentie van 1 maal per 1250 jaar. De bijbehorende maatgevende hoogwaterstand (aangegeven met MHW) bij deze ontwerpfavoer wordt aangehouden als ontwerpwaterstand.

Er wordt gedimensioneerd op een MHW, conform de gegevens van het Polderdistrict, van NAP+9,30 meter t.p.v. hectometernummer 93, verlopend naar NAP+9,08 meter t.p.v. hectometernummer 108 [3].

5.3 BELASTINGEN

De waterkeringsconstructie moet voldoen aan een aantal sterkte- en stijfheidseisen om de verschillende krachten op te kunnen nemen die inwerken op de waterkering. De normen waar deze aan moet voldoen zijn vastgelegd in de NEN 6702.

De verschillende belastingen die op de waterkeringsconstructie werken, zijn als volgt onder te verdelen:

- permanente belastingen
- veranderlijke belastingen
- bijzondere belastingen

5.3.1 Permanente belastingen

Permanente belastingen komen voort uit:

- het eigen gewicht van het kunstwerk
- belastingen door grond en grondwater
- belastingen ten gevolge van opgelegde vervorming
- belastingen door oppervlaktewater

5.3.1.1 eigen gewicht van het kunstwerk

Uitgangspunt is dat de belasting ten gevolge van het eigen gewicht van het kunstwerk als een gelijkmatig verdeelde belasting wordt afgedragen op de fundering. Het kunstwerk is daarbij min of meer symmetrisch van vorm aangenomen.

Voor de bepaling van het eigen gewicht zijn de volgende soortelijke gewichten aangehouden :

gewapend beton: 25,0 kN/m³
constructie staal: 78,5 kN/m³

5.3.1.2 belastingen door grond en grondwater

Voor de belasting door grond en grondwater wordt uitgegaan van de hoogste en de laagste grondwaterstand die kan optreden.

Gronddruk

Deze is opgebouwd uit de effectieve spanning (ook wel korreldruk genoemd) en waterspanning .Er wordt uitgegaan van hydrostatische waterdruk. De waterdruk neemt daarbij lineair met de diepte toe. De effectieve spanning is afhankelijk van de diepte en van de grondsoort. Variaties in de waterspanning worden gecompenseerd door een toe- of afname van de effectieve spanning. De gronddruk blijft vrijwel constant en wordt daarom als permanente belasting beschouwd.

zandgrond nat: 20,0 kN/m³
zandgrond droog: 16,0 kN/m³
kleigrond nat: 17,0 kN/m³
kleigrond droog: 14,0 kN/m³

Grondwaterdruk

Grondwaterstroming is van invloed op de stijghoogte en daarmee op de waarde van de waterspanning op een bepaalde diepte. Voor de globale dimensionering van de waterkering is de invloed van de grondwaterstroming op de stijghoogte achterwege gelaten.

Zoet water: 10,0 kN/m³

5.3.1.3 belastingen ten gevolge van opgelegde vervorming

Door een constructie een opgelegde vervorming te geven, worden krachten die voortkomen uit deze vervorming meegenomen in de dimensionering van de constructie. Zo wordt voorkomen dat de veiligheidsfactor waarmee de constructie is gedimensioneerd, door scheefstand van de constructie, naar beneden gaat.

Als opgelegde vervorming wordt doorgaans een waarde van 10mm gehanteerd.

In het geval van een paalfundering komt daar nog bij:

- de elastische paalverkorting,
- paalpuntzakking waarvoor een waarde van 50% van de elastische paalverkorting wordt aangegeven.

5.3.1.4 belastingen door oppervlaktewater

De waterstand van het oppervlaktewater varieert tussen hoog- en laag water. Er wordt t.p.v. Zaltbommel gerekend met een gemiddelde waterstand van NAP+2,5 m. [3]

Als ontwerpwaterstand wordt voor maatgevend hoogwater NAP+9,24m. [3] en voor maatgevend laagwater NAP+2,0m.

5.3.2 Veranderlijke belastingen

5.3.2.1 windbelasting

Hierbij gaat het met name om de objecten die op de waterkering staan. De grootte van de belasting is afhankelijk van het windvangend oppervlak van het object. Met behulp van de norm NEN 6702 wordt de belasting voortkomend uit de winddruk en windzuiging op de waterkeringsconstructie bepaald.

5.3.2.2 (wind)golven

De ontwerpwaarde van golfhoogte en golfperiode bij M.H.W wordt bepaald als functie van de strikkelengte, waterdiepte en windsnelheid volgens de formules en grafieken van Bretschneider [11] (zie bijlage B4.3.1.1) Daarbij wordt in de Leidraad aanbevolen de waterdiepte ter plaatse van de uiterwaarden in rekening te brengen. In dit geval bedraagt de gemiddelde waterdiepte boven de uiterwaarden bij M.H.W.: 4,25m.

5.3.2.3 verkeersbelastingen

In de leidraad wordt aanbevolen voor de verkeersbelasting op de dijk, met een gelijkmatig verdeelde ontwerpbelasting van 15,0 kN/ m² te rekenen, op één rijstrook van 2,5 meter breedte. Doorgaans wordt bij hoge waterstanden de dijk afgesloten voor verkeer. Maar om bij calamiteiten met (zwaar) materieel op de dijk te kunnen, wordt deze ontwerpbelasting in rekening gebracht in combinatie met hoogwater. In de parkeergarage heeft men te maken met verkeersbelasting. De parkeervloer wordt gedimensioneerd op auto's die minder dan 12000 kilo wegen. Dit komt overeen met 5,0 kN/m².

Bij dimensionering van vrachtverkeer ter plaatse van de Multifunctionele waterkering moet de doorrijhoogte in de parkeergarage minimaal 4,6m bedragen.

Hier wordt in het ontwerp geen rekening mee gehouden.

5.3.3 Bijzondere belastingen

Hieronder worden verstaan: ijsgang, aanvaring door schepen, explosies, vandalisme en sabotage. Bij het ontwerp dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid van optreden van bijzondere belastingen. Door onbekendheid met de omvang van de belasting en uitwerking daarvan, is dit belastingtype in kwantitatieve zin moeilijk te bepalen. Kwalitatief gezien, is de kans van voorkomen van bijzondere belasting, plaatsafhankelijk. Zo is de kans van optreden van bijzondere belastingen in de buitenbocht van een rivier is groter dan in de binnenbocht.

Door maatregelen te treffen in het ontwerp kan dimensionering van de constructie op een aanvaarbelasting voorkomen worden. Bij de globale dimensionering wordt er van uitgegaan dat schepen vastlopen in de vooroever en dat een aanvaring met het kunstwerk niet optreedt.

Genoemde belastingen treden op in de gebruiksfase van de waterkering. Tijdens uitvoering of groot onderhoud kunnen andere belastingen of combinaties ervan maatgevend worden.

Er wordt bekeken of de verschillende belastingen opgenomen kunnen worden door de genoemde alternatieven. Bij het gekozen alternatief, die in een volgende fase verder uitgewerkt wordt, wordt verder ingegaan op het inleiden en opnemen van bovengenoemde krachten.

5.3.4 maatgevende belastingcombinaties

Per constructietype kunnen de belastingen verschillen door verschillen in eigen gewicht, aanlegdiepte of uitvoering. Een verschil met een traditionele dijkverzwaring vormt de verkeersbelasting. Bij toepassing van een bijzondere constructie als dijkversterking wordt geadviseerd om minimaal 20,0kN/m² als verkeersbelasting in rekening te brengen direct naast het constructie-element [8].

Voor de dimensionering van de bijzondere constructies kunnen twee belastingsgevallen de maatgevende combinatie opleveren:

1. De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf rivierzijde
2. De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf stadszijde

De achtergrond van de maatgevende belastingcombinaties is verder uitgewerkt in bijlage B6.

6. MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

6.1 ALGEMEEN

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de afmetingen, peilmaten en hoeveelheden die zijn gebruikt voor het ‘basis-ontwerp’ van de multifunctionele waterkering. De constructie-varianten worden bekeken op de specifieke eigenschappen van de constructie en de toepassingsmogelijkheid in de multifunctionele waterkering.

6.1.1 nieuwe techniek versus traditionele techniek

Uiteraard is een dijk (in de context van dit plan) geen alternatief binnen een multifunctionele waterkering in verband met de benodigde aanlegbreedte. Om echter een goed vergelijk te kunnen maken tussen de nieuwe techniek en de traditionele dijkverzwaring zijn beide opties constructief uitgewerkt.

De uitwerking van de traditionele dijkverzwaring is terug te vinden in bijlage B4.

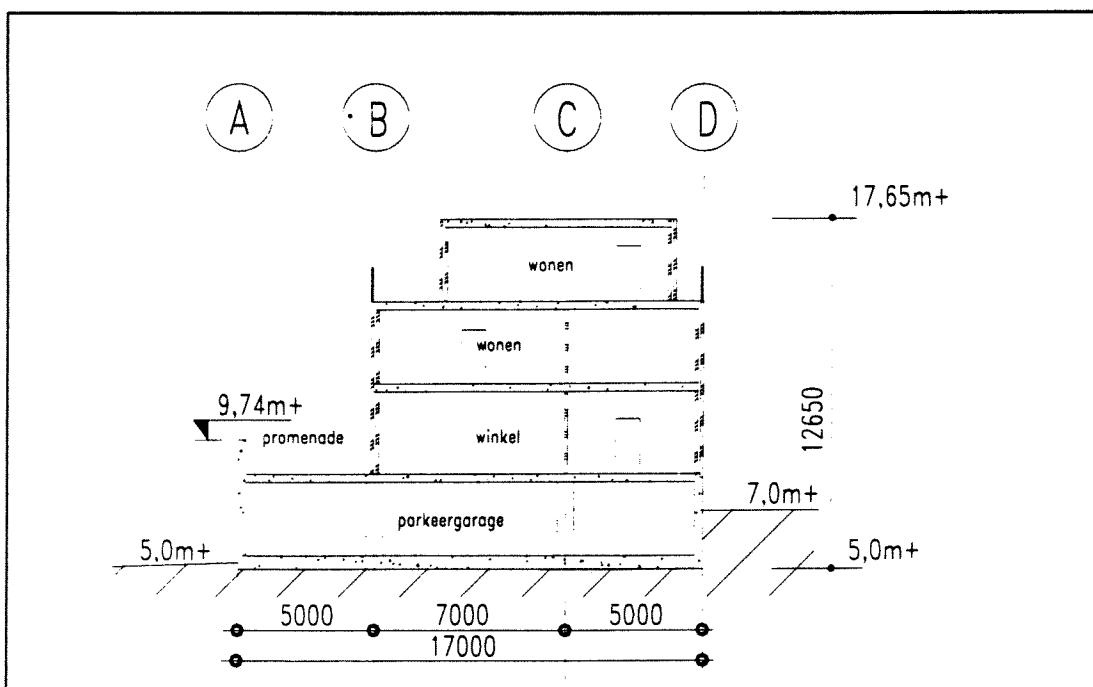
Zoals reeds eerder aangegeven gaat een traditionele dijkverzwaring meestal gepaard met een vergroting van het dwarsprofiel. Om de vergroting van het dwarsprofiel bij knelpunten in het dijkverzwaringsstracé te beperken kan bij dijkverzwaren gebruik worden gemaakt van ‘*bijzondere constructies*’. Bij bijzondere constructies worden constructieve grondkerende elementen toegepast die een bijdrage kunnen leveren aan de waterkerende functie van een waterkering. Architect Zwanziger heeft een eerste opzet van de constructie van de multifunctionele waterkering geschatst. Dit is aangegeven in figuur 12. Bij deze schets wordt gebruik gemaakt van een wand, geïntegreerd in het ontwerp.

Interessant is om te kijken in hoeverre andere constructieve elementen die ook onder de noemer ‘bijzondere constructies’ vallen, als oplossing in een multifunctionele waterkering kunnen worden toegepast.

Zoals in het voorgaande is aangegeven wordt de oplossing van het polderdistrict, een traditionele dijkverzwaring (zie bijlage B4), in de constructiemogelijkheden meegenomen om tot een goed vergelijk te kunnen komen.

6.1.2 Basis-ontwerp multifunctionele waterkering

Om de verschillende berekeningen eenvoudig en duidelijk te houden, is uitgegaan van een zogenaamd ‘basis-ontwerp’ van de Multifunctionele waterkering van architect Zwanziger. In dit ontwerp worden de minimaal benodigde afmetingen aangehouden. Als basis-ontwerp voor de multifunctionele waterkering is uitgegaan van een éénlaagse parkeergarage met een maximale inwendige breedte van 17,0 meter, met daarboven, drie laagse bebouwing. Gezien de modulaire opbouw van de waterkering kunnen onderdelen aan dit basismodel gekoppeld worden waarbij de voor het basismodel uitgevoerde berekeningen bruikbaar zijn. Als maaiveldniveau achter de waterkering is NAP+7,0 meter aangehouden. Het voorland ligt op NAP+5,0m.



Figuur 26, basis-ontwerp multifunctionele waterkering - dwarsdoorsnede

6.1.3 Uitgangspunten: Locatie, Geometrie en Materialen

In deze paragraaf is een overzicht gegeven van de uitgangspunten die zijn opgesteld voor het basis-ontwerp van de multifunctionele waterkering, aan de hand van de randvoorwaarden die door gemeente en architect zijn gesteld:

6.1.3.1 locatie

Voor de implementatie, en daarmee de toetsing van de haalbaarheid, van de verschillende constructie-typen binnen het projectgebied, is een aantal uitgangspunten opgesteld met betrekking tot de omgeving:

- Locatie

De bijzondere constructie moet worden ingepast in de omgeving van het projectgebied. Voor de berekening is deze omgeving geschematiseerd in twee standaarddoorsneden: 1 en 2. Zoals aangegeven in paragraaf 3.2.1.

- Voorland

Het niveau van het voorland ter plaatse van de verticale wand, wordt gelijk gehouden aan het bestaande niveau van NAP+5,00m

- Maaiveldniveau achter de waterkering

Achter de waterkering wordt een maaiveldniveau in de definitieve situatie van NAP+7,0m aangehouden.

- Aanleghoogte waterkering

De waterkeringsconstructie zal worden uitgevoerd als een verticale wand (of een variant daarop.) In bijlage B4.3 is berekend dat minimale aanleghoogte: MHW+0,5m dient te bedragen.

De aanlegbreedte is afhankelijk van het type bijzondere constructie dat wordt toegepast.

6.1.3.2 Geometrie

De geometrie van het basis-ontwerp is aangegeven in de voorgaande figuur.

Bij het constructieve ontwerp zijn de twee standaarddoorsneden als uitgangspunt voor de omgevingssituatie aangehouden.

De wens van de gemeente is een parkeercapaciteit van 800 auto's.

Lengte MFW: 750,0m

1-laagse parkeergarage met parkeren aan twee zijden haaks op de rijrichting.

Afmetingen parkeervak (LxB): 5,0m x 2,5m

Capaciteit MFW: 80 auto's per 100 m'

Parkeercapaciteit MFW: 580 auto's

- Onderbouw

Vloerdikte parkeergarage: 0,50 m¹.

Wanddikte: afhankelijk van de oplossing.

Materiaal vloeren/wanden/kolommen: beton (kwaliteit B35)

Kolomdikte in parkeergarage: Ø 600 mm

Breedte rijweg in garage: 7,0m

Totale inwendige breedte: 17,0m

Vrije hoogte: 2,2m

hoogte installaties: 0,5m

dikte dak parkeergarage: 0,3m

dikte vloer parkeergarage: 0,5m

Bovenkant dak parkeergarage: NAP+8,5m

Onderkant vloer parkeergarage: NAP+5,0m

- Waterkering

MHW: NAP+9,25m

Kerende hoogte: NAP+9,75m

Bestaande dijkhoogte: NAP+8,70m

Onderkant kwelscherms: NAP-6,40m

Bodempeil voorland: NAP+5,0m

Peil maaiveld achter de waterkering: NAP+7,0m/ NAP+5,0m.

Opwaartse waterdruk op constructie maximaal 9,25-5,0 = 4,25m → 42,5 kN/ m² ↑

- Bovenbouw

Aantal bouwlagen: drie: 2^e, 1^e verd, begane grond

Wanddikte: 0,20 m¹.

Vloerdikte woningen: 0,25 m¹.

Vrije hoogte:	2,7 m ¹
Vloerdikte winkel:	0,30 m ¹ .
Beukmaat bouwmuren:	6,0 m ¹ .

Bovenstaande waarden zijn gebruikt voor de gewichtsberekening.

6.1.4 Rekenkundige uitgangspunten

De rekenkundige uitgangspunten betreffen de grondopbouw van het projectgebied en de belastingen die werken op de waterkering.

- Grondgevens

Globale dimensionering geschieht op basis van de grond- en grondwatergevens uit paragraaf 5.1 en 5.2. Daarbij is het grondprofiel vastgelegd in het boorprofiel van figuur 21. De gebruikte grondparameters voor de berekening zijn aangegeven in tabel 3 en 5. De beschouwde constructie is geklassificeerd in de veiligheidsklasse III.

- belastingen

De belastingen waar de ‘bijzondere constructie’ aan onderhevig is, zijn in algemene zin in paragraaf 5.3 genoemd.

6.1.5 uitwerkingsmethodiek

Voor de uitwerking van het basis-ontwerp wordt de multifunctionele waterkering opgesplitst in de volgende onderdelen:

- Bovenbouw

De bovenbouw blijft gelijk voor iedere waterkeringsvariant. De bovenbouw wordt één maal gedimensioneerd en is van toepassing op iedere waterkeringsvariant.

- Onderbouw / Waterkering

De onderbouw van de waterkeringsvarianten blijft grotendeels gelijk aan elkaar. De hoeveelheid palen en het type wand van de onderbouw moet worden afgestemd op het desbetreffende waterkeringsalternatief.

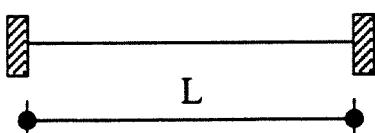
Voor de waterkering wordt een aantal alternatieven behandeld die mogelijk in de constructie kunnen worden geïntegreerd.

6.1.5.1 Bovenbouw

Onder de bovenbouw wordt verstaan:

- de woningen op de tweede en de eerste verdieping
- de winkels op de begane grond.

De hart op hartmaat van de bouwmuren bedraagt 6,0 meter. Dit is ook als overspanning van de verdiepingsvloeren aangehouden. De bouwmuur zou eventueel als spouwmuur kunnen worden uitgevoerd met kalkzandsteen lijmbladen, hetgeen gunstig is voor de reductie van contactgeluid. Als constructieschema is een ligger op twee steunpunten aangehouden:



Op basis van een vuistregel voor het afschatten van de benodigde vloerdikte is aangehouden:

$$\frac{L}{d} = 35 \quad \text{met } L \leq 7,0m$$

invulling met $L=6000\text{mm}$ levert $d \geq 172 \text{ mm}$. d is afgerond op 180 mm.

Met een dekking van 30 mm en een afwerking van 40mm, wordt als totale vloerdikte van de verdiepingsvloeren 250 mm gehouden.

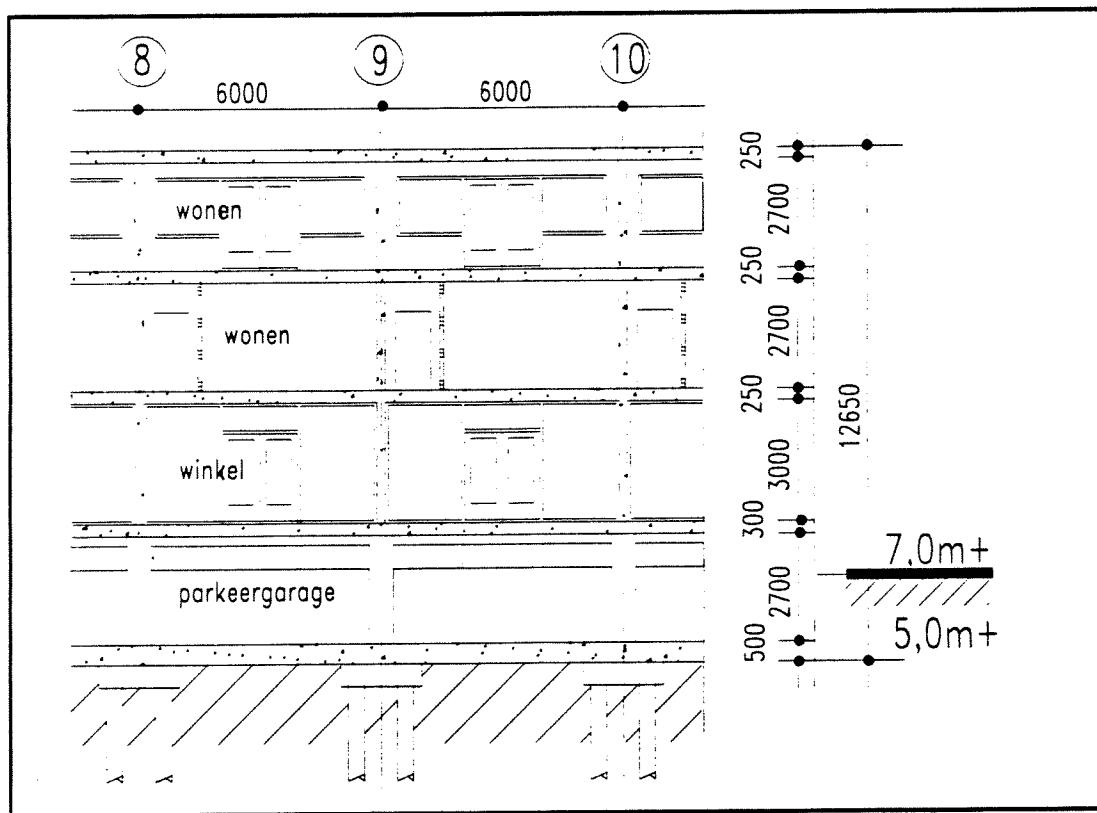
Als veranderlijke belasting is voor het dak $1,0 \text{ kN/m}^2$ in rekening gebracht.

Voor de verdiepingsvloeren van de woningen is $1,75 \text{ kN/m}^2$ in rekening gebracht.

Voor de winkel is met $4,0 \text{ kN/m}^2$ als veranderlijke belasting gerekend.

In verband met de hogere veranderlijke belasting is de vloerdikte van de winkel op 300 mm gehouden.

De wanden van de woningen zijn gedimensioneerd op dikte $h=200 \text{ mm}$.



Figuur 27, basisontwerp MFW - langsdoorsnede

6.1.5.2 Onderbouw / waterkering

De onderbouw van de multifunctionele waterkering bestaat uit:

- de parkeergarage en
- de waterkering

6.1.5.2.1 parkeergarage

In de parkeergarage is een kolomstramien van 6,0m bij 7,0m gehouden. De parkeergaragevloer is uitgerekend als een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer.

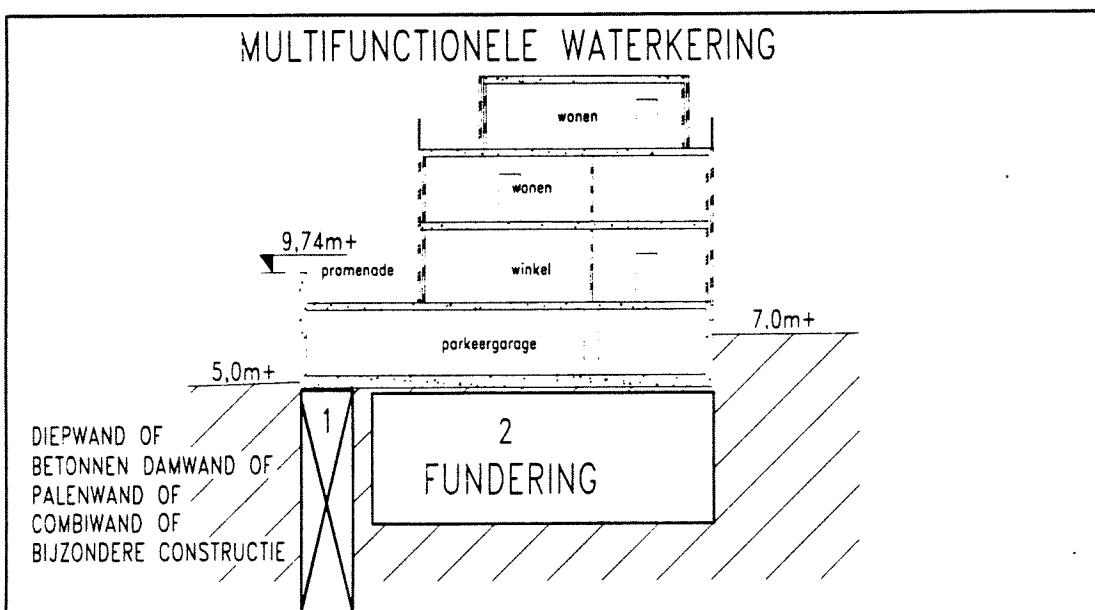
Voor de overspanning is in de x-richting 6,0m aangehouden en in de y-richting 7,0m. Met behulp van de NEN 6720 tabel 19 kunnen de momenten worden bepaald.

Aan de hand van de dimensionering op moment en dwarskracht is de dikte van de parkeergaragevloer op 0,5 m gesteld.

De in rekening gebrachte maximale waterdruk bedraagt daarbij $42,5 \text{ kN/m}^2$.

De veranderlijke belasting in de parkeergarage bedraagt $5,0 \text{ kN/m}^2$.

Uit de gewichtsberekening is naar voren gekomen dat in alle belastingcombinaties de netto resulterende kracht neerwaarts gericht zal zijn. De funderingselementen worden hoofdzakelijk op druk belast.



Figuur 28, constructie mogelijkheden bijzondere constructie met wandconstructie als oplossing

Funderingselement nummer 1 in figuur 28 is afhankelijk van de de waterkeringsvariant die wordt beschouwd. Funderingselement nummer 2, onder de parkeergaragevloer, zal als paalfundering worden uitgevoerd en zou op basis van de voorgaande gegevens, reeds grof kunnen worden gedimensioneerd.

6.1.5.2.2 de waterkeringsvarianten

Voor de waterkering zijn verschillende mogelijkheden.

Onderscheid kan worden gemaakt in toepassing van

- een bijzondere constructie geïntegreerd in de multifunctionele waterkering
- een wandconstructie geïntegreerd in de onderbouw. Daarbij krijgt de wandconstructie naast een waterkerende- ook een functie als funderingselement.

Bij een bijzondere constructie kan gedacht worden aan:

- Damwand
- Kistdam
- Keermuur

- Gewapende grondconstructie

Bij een wandconstructie kan gedacht worden aan:

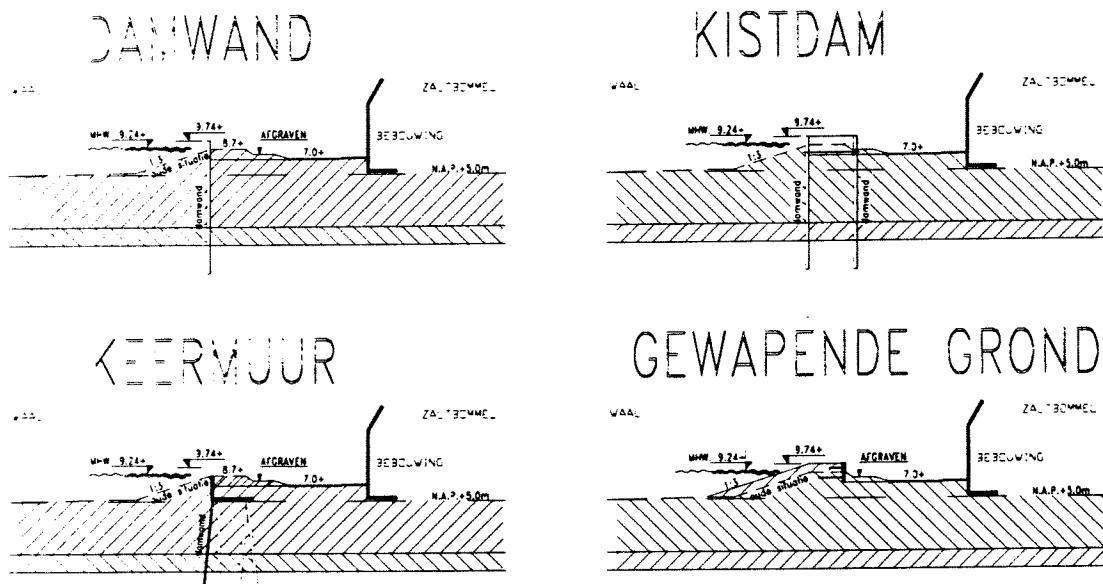
- diepwand
- prefab voorgespannen betonnen damwanden met trek-/drukpalen
- palenwand
- combiwand

6.2 BIJZONDERE CONSTRUCTIE

6.2.1.1 algemeen

Bijzondere constructies worden doorgaans toegepast om de traditionele waterkering te versterken. De waterkerende functie van het bestaande dijklichaam wordt dan plaatselijk, over beperkte lengte en/of hoogte volledig overgenomen door de bijzondere constructie. Door een bijzondere constructie worden andere functies mogelijk gemaakt, of kunnen behouden blijven. Vaak wordt gebruik gemaakt van grondkerende elementen. Voor de bijzondere constructie zijn de volgende constructieve grondkerende elementen als toepassing in een multifunctionele waterkering bekeken (zie figuur 29):

- Damwand
- Kistdam
- Keermuur
- Gewapende grondconstructie



Figuur 29, bijzondere constructies gebruikt als waterkering

6.2.1.2 Indeling grondkerende constructies

Grondkerende constructies kunnen worden opgesplitst in twee groepen:

1. Een groep stijve grondkerende constructies.

Deze constructies zijn opgebouwd uit beton of steen. Voordeel van dit type constructies is dat de optredende horizontale vervormingen tengevolge van de gronddruk relatief beperkt blijven. Optredende horizontale gronddruk is vrijwel neutraal, de grondweerstand is laag. De stabiliteit van de constructie komt voort uit het evenwicht tussen het gewicht van de constructie en de, onder de constructie ontwikkelde verticale grondspanning en schuifspanning. Keermuren en gewichtsconstructies (gabions) vallen onder deze groep.

2. Een groep flexibele grondkerende constructies.

Dit zijn voornamelijk stalen damwanden. Optredende horizontale (actieve) gronddruk is laag, de horizontale (passieve) grondweerstand, die het evenwicht van de

constructie moet verzorgen, kan volledig worden gemobiliseerd. Dit kan gepaard gaan met grote vervormingen. Onder deze groep vallen de stalen damwanden en kistdamconstructies.

Bovengenoemde elementen hebben gemeen dat bij toepassing als bijzondere constructie, een deel van de dijk behouden blijft. Deze oplossing is daarom een tussenform van volledige ‘traditionele’ dijkverzwaring en volledige vervanging van de dijk, zoals geschetst door Zwanziger. Naast genoemde constructieve elementen kan de waterkerende functie van de waterkering ook worden verbeterd door toepassing van beweegbare kerende elementen.

De belastingen waar een bijzondere constructie aan onderhevig is zijn in paragraaf 5.3 genoemd. De maatgevende belastingcombinaties zijn in bijlage B6 vermeld.

6.3 DAMWAND

6.3.1 algemeen

Een damwand is verticale wandconstructie opgebouwd uit opzichzelf staande verticale elementen die onderling gekoppeld zijn door middel van een slotconstructie of een messing- en groefverbinding. De damwand gedraagt zich als een uitkragende, in de ondergrond elastisch ingeklemde ligger. Of bij toepassing van een verankering, als een ligger op twee of meerdere steunpunten. Grond- en waterdrukken worden zo door de liggerwerkning van de elementen naar de ondergrond en (eventuele) verankering afgevoerd.

- **inbrengmethodes**

Het inbrengen van de damwandplanken gebeurt door trillen, heien of drukken eventueel in combinatie met sputten, fluïderen of voorboren. Drukken en heien verloopt moeizaam als er puin, gebruikt voor ophoging in het dijklichaam aanwezig is. Vaak is dat het geval. Heien levert kans op schade aan nabij gelegen belendingen. Trillen levert minder kans op schade bij gebruik van hoogfrequente trilblokken. Drukken van de damwand is de meest schadefrije inbrengmethodiek.

- **materiaal**

Damwanden zijn momenteel in hout, staal of beton verkrijgbaar. Ieder materiaal heeft zijn specifieke toepassingsgebied. Tijdelijke damwandconstructies worden meestal in hout of staal uitgevoerd. Houten planken zijn goed terug te winnen en daarom geschikt voor hergebruik. Bij staal wordt daarbij nog onderscheid gemaakt naar planktype. AZ-planken hebben een relatief hoog weerstandsmoment bij relatief gering traagheidsmoment. AZ-planken hebben daardoor wel een hoge sterkte maar zijn relatief slap. Als de plank wordt teruggevonden treedt er teveel vervorming op waardoor de plank voor verhuur niet meer geschikt is. AZ-planken worden daarom toegepast voor definitieve constructies. PU-planktypen zijn meer geschikt voor tijdelijke constructies. Betonnen damwandplanken kunnen, door hun relatief grote dikte ter plaatse van de voet, worden toegepast bij wanden die hoge verticale belastingen moeten kunnen opnemen.

In verband met de breedte van de inbrengapparatuur moet voor inpassing van een damwand in het dwarsprofiel rekening worden gehouden met de minimale afstand van 2.0 meter tot aangrenzende bebouwing.

De damwand wordt bekeken bij toepassing als

1. één enkel element in combinatie met de dijkverzwaring. Dit is van toepassing voor standdaarddoorsnede 1.
2. één enkel element in combinatie met de multifunctionele waterkering. Dit is mogelijk ter plaatse van de standdaarddoorsnede 2 ‘het bedrijfsterrein de Waal’.
3. element geïntegreerd in de multifunctionele waterkering. Dit is mogelijk ter plaatse van de standdaarddoorsnede 2 ‘het bedrijfsterrein de Waal’.

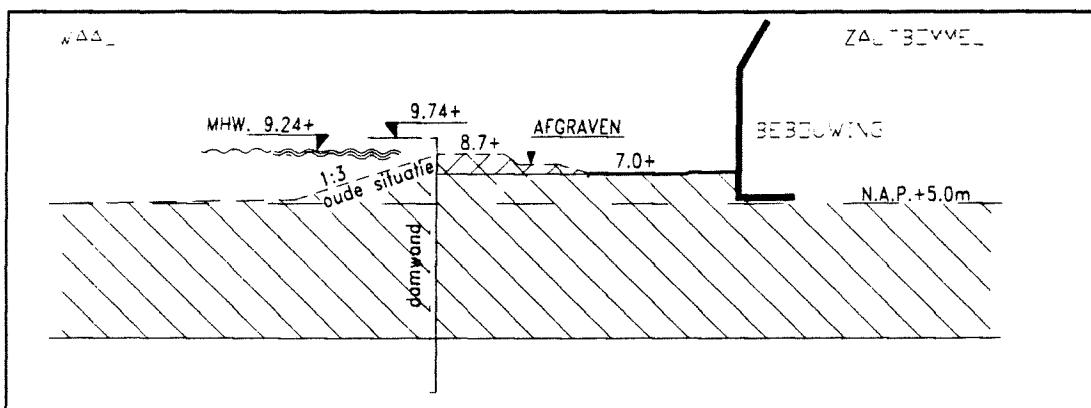
6.3.2 Damwandoplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2

De stalen damwand is als *bijzondere constructie* en als *onderdeel van een wandconstructie* bekeken. Aan een stalen damwand kan weinig draagvermogen

worden ontleend. Als toepassing in een multifunctionele waterkering moet het draagvermogen door andere onderdelen worden opgevangen. Om inzicht te krijgen in het benodigde damwandtype is voor de dimensionering de damwand als een enkel element beschouwd.

6.3.2.1 Standaarddoorsnede 1

In deze standaarddoorsnede is de damwand als een enkel, vrijstaand element beschouwd. Een traditionele dijkverzwaring gaat gepaard met een vergroting van de aanlegbreedte om de stabiliteit van het dijklichaam te verbeteren. Door het gebruik van een bijzondere constructie, in dit geval een stalen damwand, als alternatief op de traditionele dijkverzwaring kan de stabiliteit van het dijklichaam eveneens worden verbeterd. Zo wordt voorkomen dat ruimte verloren gaat door het vergroten van de aanlegbreedte. Een deel van de bestaande dijk zou zelfs afgegraven kunnen worden. Op deze manier kan aan de vrijgekomen ruimte een andere functie worden toegewezen (zie figuur 30.)



Figuur 30, toepassing van een damwand t.p.v. de Waalkade

Wordt de damwand als ‘enkel element’ toegepast dan zal de stabiliteit zelfstandig moeten worden verzorgd en zullen externe invloeden en belastingen door de damwand moeten kunnen worden opgenomen om de waterkerende functie te garanderen. Dit is de maatgevende situatie voor de dimensionering van het damwandplanktype.

Één enkele stalen damwand geeft onvoldoende veiligheid als primaire waterkering. Bij een schip dat uit het roer loopt zou de waterkering kunnen bezwijken met alle gevolgen vandien. Dit is te ondervangen door de damwandconstructie te aan twee zijden beschermen. Aan rivierzijde kan dat door middel van een aanvaarbeveiliging en aan stadszijde kan dat door het aanbrengen van een ophoging, in de vorm van een grondwalletje, tegen de damwand. Bij toepassing bij een multifunctionele waterkering is deze ophoging niet gewenst in verband met de resterende vrije ruimte. Daarnaast speelt het esthetische aspect een grote rol: inpassing in het landschap. Het zicht op de rivier wordt door de verticale stalen wand ontrokken. Esthetisch gezien is de damwand een storende factor in het landschap.

Conclusie:

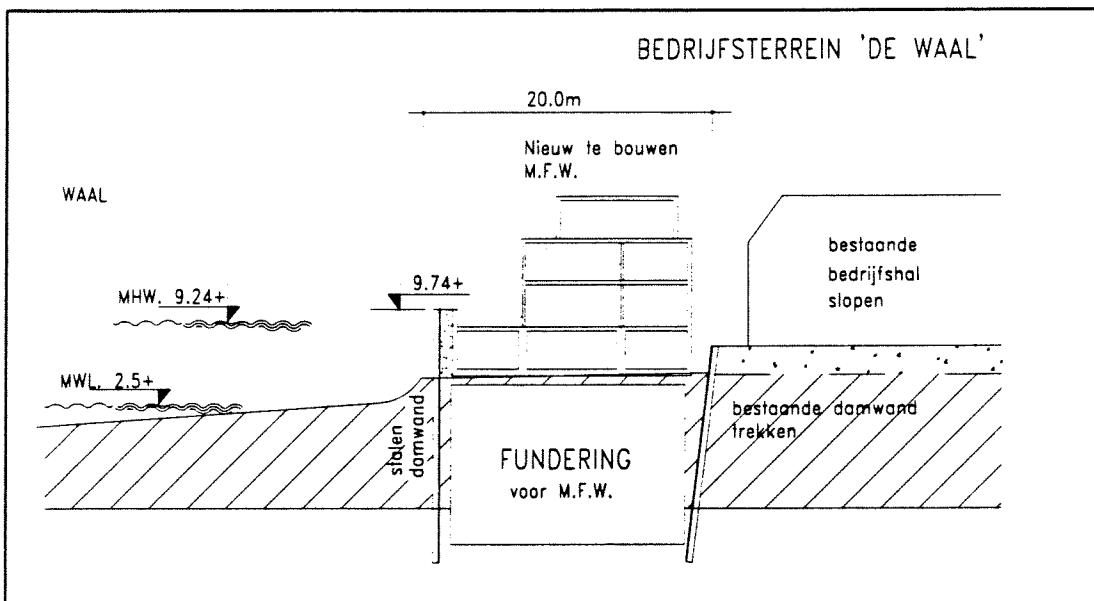
Toepassing van een enkele damwand als waterkering geeft onvoldoende veiligheid als waterkering. Esthetisch gezien is een 'kale' damwand in het landschap, geen aantrekkelijke oplossing (standaarddoorsede 1).

6.3.2.2 Standaarddoorsnede 2

In de situatie dat de bestaande dijk even verder op ligt, zoals dat in standaarddoorsnede 2, ter plaatse van het bedrijfsterrein, het geval is, kan de damwand worden gebruikt om het buitendijks gelegen gebied 'binnen te dijken'. De waterkering wordt in de richting van de rivier verplaatst. In deze situatie is geen sprake van een bijzondere constructie omdat de damwand niet in combinatie met een dijklichaam wordt toegepast. Op het bedrijfsterrein is de multifunctionele waterkering gepland.

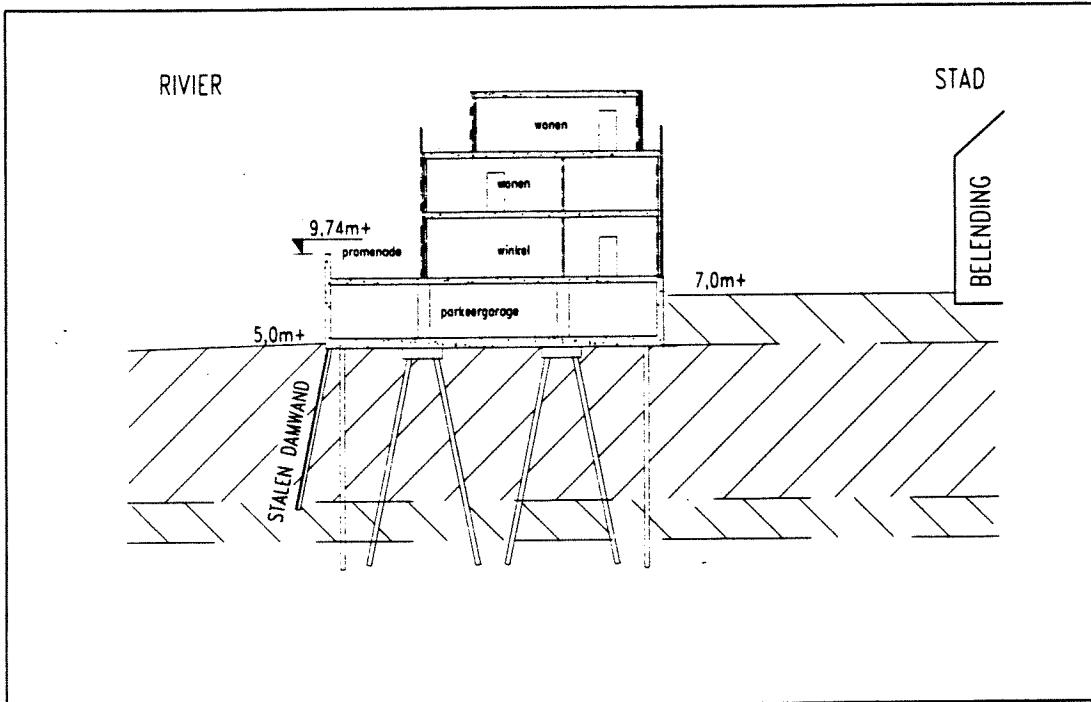
Als toepassing van de damwand in de multifunctionele waterkering zijn dan twee mogelijkheden:

1. een stalen damwand die de waterkerende functie verzorgd.
2. een stalen damwand die als kwelscherm fungeert in combinatie met een betonwand die de waterkerende functie verzorgd.



Figuur 31, toepassing van een damwand als waterkerend element

Achter de, als waterkering fungerende, stalen damwand kunnen de overige functies: parkeren winkels en wonen worden gecombineerd (zie figuur 31.) Op deze wijze ontstaat een horizontale en verticale combinatie van functies zoals omschreven in hoofdstuk 4. Dit is echter niet de meest economische wijze van combineren.



Figuur 32, De damwand als kwelscherms in combinatie met een betonwand

Als alternatief op de eerste oplossing kunnen stalen damwanden worden gecombineerd met de betonconstructie van de onderbouw (zie figuur 32). De stalen damwanden doen in deze variant dienst als kwelscherms. Aan de damwanden kan eventueel een beperkte dragende functie worden ontleend. Afhankelijk van de keuze: een éénlaagse of tweelaagse parkeergarage en afhankelijk van de gekozen vloerdikte wordt de parkeergaragevloer met of zonder trekpalen uitgevoerd.
Voor het ontwerp is uitgegaan van een éénlaagse parkeergarage.

Conclusie:

De manier van combineren van functies zoals geschetst in standaarddoorsnede 2 is weinig economisch. Een realisatie van de waterkering op deze manier wordt daarom als 'niet reëel' geacht. De toepassing van een damwand als kwelscherms in combinatie met een betonwand biedt goede mogelijkheden. Deze oplossing wordt vergeleken met de wandoplossingen van de paragrafen 6.10 tot en met 6.13

6.3.3 Resultaten ontwerpbercakeningen

Uit de berekeningen volgt dat de vervormingseis maatgevend is boven de sterkte-eis. Het verschil in vervorming tussen de AZ18- en AZ26-damwandplank, bij een inheidiepte van NAP-0,26m, is gering: 35,8mm (AZ18) tegenover 32,5mm (AZ26). Het gebruik van een zwaarder planktype AZ26 ten opzichte van een lichter planktype AZ18 laat slecht een geringe reductie van de optredende vervorming zien. De reducerende invloed van een diepere inheidiepte (van 10,0m naar 16,0m) op de vervorming blijkt minimaal te zijn.

Als planktype is voor een AZ 18 van 10,0m lengte gekozen. De bijbehorende vervorming bij hoogwater, in de situatie dat de dijk gedeeltelijk voor- en achter de damwand is ontgraven bedraagt: 36 mm. De damwand is daarbij niet verankerd. (zie ook uitvoer MSHEET in bijlage B7.)

Planktype	Inheidepte	Planklengte	Sterkte Md;u/1,5	Vervorming
AZ18	NAP-6,26m	16,0m	55,9kNm	36,0mm
AZ26	NAP-6,26m	16,0m	59,4kNm	32,0mm
AZ18	NAP-0,26m	10,0m	56,4kNm	35,8mm
AZ26	NAP-0,26m	10,0m	56,5kNm	32,5mm
AZ18	NAP+2,24m	7,5m	55,9kNm	56,7mm
AZ26	NAP+2,24m	7,5m	55,9kNm	54,3mm

Tabel 8, overzicht berekeningsresultaten

6.3.4 Bijzondere toepassingen damwanden

In de berekening van verticale grondwaterstroming in bijlage B3.2 is uitgegaan van een homogeen kleipakket. Bij aanwezigheid van een zwakke plek in het kleipakket, bijvoorbeeld een wiel achter de dijk, kan men te maken krijgen met kwel. De veiligheid van de primaire waterkering kan hierdoor nadelig worden beïnvloed. Twee oplossingen zijn dan mogelijk:

- De zwakke plek uitgraven vervangen door een waterdicht pakket,
- De zwakke plek indammen met bijvoorbeeld waterkerende schermen.

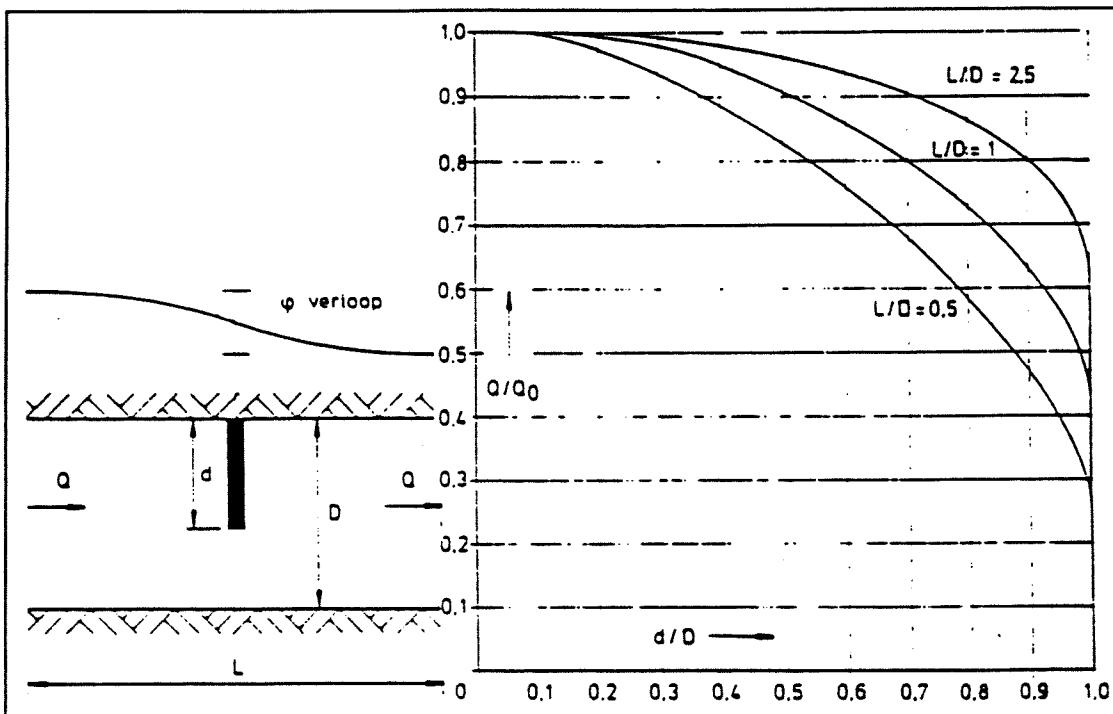
Vraag is of de toepassing van een damwand als onderbreking van de kwelstroom een reële oplossing is voor Zaltbommel?

Het gebruik van waterdichte schermen heeft twee doelstellingen:

1. Het eerste bedoelde effect van waterdichte schermen is een gehele of gedeeltelijke onderbreking van de kwelstroom ter voorkoming van onderloopsheid of wateroverlast nabij de waterkering.
2. Een tweede toepassing is het verlagen van de waterspanningen in de grond ten behoeve van de stabiliteit van het dijklichaam.

Voor de dikte (D) van de watervoerende zandlaag dient minimaal te worden uitgegaan van 50 meter [3]. Door het plaatselijk ontbreken van de semi doorlatende toplaag in de rivier wordt ervan uitgegaan dat de zandlaag in directe verbinding met de rivier staat. Binnendijks kunnen hoge waterspanningen onder de toplaag voorkomen. Om een waterdicht scherm in bovenomschreven situatie effectief te laten zijn, zou het scherm de verbinding van de watervoerende zandlaag met de rivier moeten verbreken.

Bij het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de watervoerende zandlaag zouden de waterspanningen achter de dijk in de toplaag gereduceerd kunnen worden door het waterdichte scherm aan te brengen tot in deze lagen. Uit de sondering in figuur 20 blijkt dat er in de watervoerende zandlaag tot een diepte van NAP-20m geen weerstandbiedende laag wordt aangetroffen. Volledige onderbreking van de kwelstroom vereist damwandlengtes van ca. 60 meter. De kosten die met deze lengtes gepaard gaan, maakt dit een weinig aantrekkelijke oplossing.



Figuur 33, Effect waterdichtscherm in gedeelte watervoerende zandlaag

Toepassing van de damwand als gedeeltelijke onderbreking van de kwelstroom blijkt weinig invloed op het debiet van de kwelstroom te hebben, omdat de vrij grote waarde van de verhouding $L/D = 102.75 / 50 \approx 2$ pas een substantiële vermindering van het debiet van de kwelstroom laat zien bij bijna volledige afsnijding van de watervoerende zandlaag (zie figuur 33.)

Conclusie:

Toepassing van een damwand als waterdichtscherm voor een gehele of gedeeltelijke onderbreking van de kwelstroom ter voorkoming van onderloopsheid of wateroverlast nabij de waterkering is geen reële oplossing voor Zaltbommel.

Alternatief om de zwakke plek uit te graven en te vervangen door een waterdicht grondpakket vormt hier de meest aantrekkelijke oplossing.

Alternatief op deze oplossing ter verbetering van de waterdichtheid van het dijklichaam zelf, is het gebruik van cement-betonietwanden.

De tweede doelstelling: het verlagen van de waterspanning achter de waterkering. In oude dijkprofielen is een zekere gelaagdheid waar te nemen door vroegere ophogingen. Door het gebruik van puin of zand voor de wegverharding kunnen er in het dijklichaam goed doorlatende lagen voorkomen. Bij een goede dijkbekleding vormt dit geen probleem. Bij een slecht dichtende dijkbekleding vormt toepassing van een waterdichtend scherm een alternatief op het aanbrengen van een nieuwe dijkbekleding om de stabiliteit van het binnentalud van het dijklichaam te garanderen.

Gebruik van een damwand om de stabiliteit te verbeteren van het dijklichaam is wel een mogelijke toepassing.

6.3.5 Haalbaarheid damwand

De haalbaarheid van de damwand als (multifunctionele) waterkering:

- Enkele damwand

Toepassing van een enkele damwand als primaire waterkering geeft onvoldoende veiligheid. Esthetisch gezien is een ‘kale’ damwand in het landschap, geen aantrekkelijke oplossing. Een realisatie van de waterkering op deze manier wordt daarom als ‘niet mogelijk’ geacht.

- Damwand in een dijklichaam

Toepassing van een damwand in een dijklichaam, als waterdicht scherm, is een goede mogelijkheid om de stabiliteit van het dijklichaam te verbeteren. Echter de damwand in combinatie met het dijklichaam wordt niet optimaal benut met het oog op reductie van de aanlegbreedte. Daarnaast is toepassing van een cement betoniefscherm een beter alternatief voor waterdichtheid.

- Damwand in M.F.W.

Het gebruik van een stalen damwand zoals geschetst in figuur 30 en 31 is een weinig economische oplossing. Het gebruik van een stalen damwand als kwelscherm in combinatie met een betonwand biedt wel goede mogelijkheden. De waterkerende functie wordt daarbij overgenomen door de betonwand van de multifunctionele waterkering.

Uitgevoerd in beton biedt de damwand als wandconstructie-onderdeel voor de multifunctionele waterkering biedt goede mogelijkheden. Met name voorgespannen prefab betonnen damwandplanken, waaraan een groot draagvermogen kan worden ontleend, zijn geschikt als wandconstructie in de multifunctionele waterkering. Een ander wordt in paragraaf 6.11 nader bekeken.

6.4 KISTDAM

6.4.1 algemeen

Als alternatief op toepassing van een enkele damwand is het gebruik van een dubbele damwand in de vorm van een kistdamconstructie. Een kistdam- en een damwandconstructie kunnen van elkaar worden onderscheiden door het al dan niet overlappen van de actieve- en passieve zone. Is er geen overlap van beide zones, dan spreekt men van een damwandconstructie. Overlappen de actieve- en passieve zone elkaar, dan spreekt men van een kistdamconstructie. De kistdam is dan aan te merken als een gewichtsconstructie. Doorgaans wordt de grond- en/of waterkerende wand de voorwand genoemd. Deze wand is met ankers verbonden aan de achter- of ankerwand. In deze vorm is het gebruik van een damwand als waterkering wel een mogelijkheid. De vulling van een kistdam kan bestaan uit klei, zand of grind. De vulling is bepalend voor de vormvastheid.

Als kistdambreedte (B) wordt 0.7 a 1.5 maal de kerende hoogte (H) gehouden. Met een kerende hoogte van minimaal 2.25m en maximaal 4.25m, is dit overeenkomstig met een mogelijke breedte van 1.6m tot 6.4m. In Zaltbommel wordt als breedte de kruin van de bestaande dijk gehouden (= 4.0 m). De inheidepte is ca 0.5 a 1.0 maal de kerende hoogte (H), (zie figuur 34.)

Aangezien het dijkprofiel vrijwel ongewijzigd blijft zal de kistdam hoofdzakelijk worden belast door het waterstandsverschil voor en achter de kistdam. In Zaltbommel zal de kistdam hoofdzakelijk, naast de noodzakelijke verhoging, een stabiliteitsfunctie verzorgen van het bestaande dijklichaam. Uit de resultaten van de damwandberekening voor een enkele damwand in de voorgaande paragraaf, blijkt dat vergroting van de damwandlengte nauwelijks invloed heeft op de optredende vervorming. Daarbij wordt nog uitgegaan van een ontgraving achter de damwand. Aangenomen wordt dat voor de kistdam op basis van deze resultaten uit de vorige paragraaf, met damwandplanken van dezelfde lengte (10 meter) of zelfs met minder lange damwandplanken kan worden volstaan. Kistdammen kunnen worden uitgevoerd met (stalen) damwandplanken of met diepwanden. Gezien de kosten wordt meestal gekozen voor stalen damwandplanken.

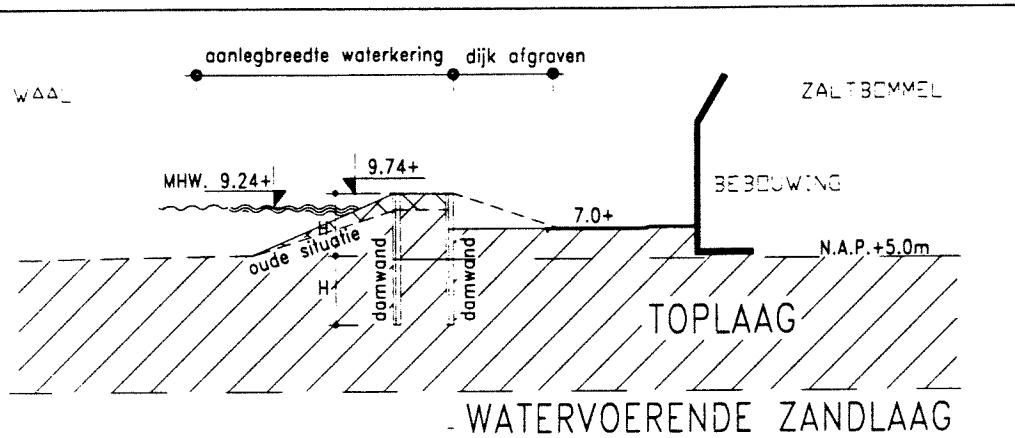
- verankering

De verankering wordt doorgaans uitgevoerd als een (voorgespannen) stalen staaf met de achterliggende damwand als ankerschot. Bij grotere overspanningen, hetgeen in Zaltbommel niet het geval is, kunnen ook wel groutankers voor de verankering worden toegepast. Op deze wijze wordt de horizontale kracht naar de achterliggende grond afgevoerd. De verankering kan in combinatie met een horizontale gording (bijvoorbeeld een dubbel UNP profiel of een HEB profiel), een kopbalk of een deksloof op de damwand worden toegepast om de ankerkracht gelijkmatig te verdelen. Zo worden eventuele variaties in grondgesteldheid opgevangen. Het evenwicht aan de onderzijde van de damwand wordt verzorgd door de inklemming in de grond waarbij de steundruk wordt gemobiliseerd door passieve gronddruk.

6.4.2 Kistdamoplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2

6.4.2.1 Standaarddoorsnede 1

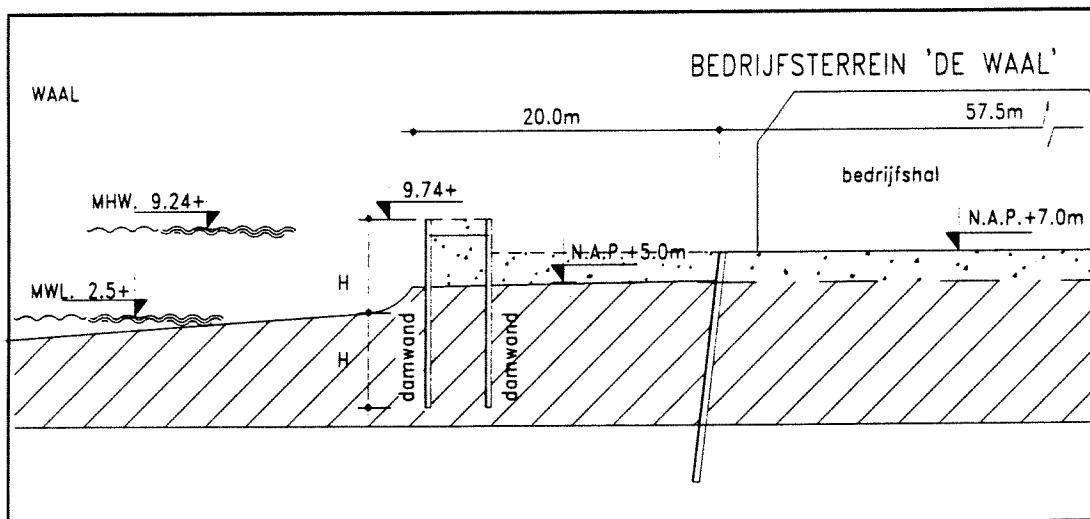
De kistdam vormt ter plaatse van de waalkade een goed alternatief op een traditionele dijkverzwaring. Het grote voordeel van dit alternatief is dat de kerende hoogte van een bestaande dijk kan worden vergroot zonder dat de dijk behoeft te worden verbreed.



Figuur 34, huidige waterkering met een kistdam

De aanlegbreedte kan beperkt blijven omdat de kistdam de stabiliteitsfunctie van de taluds in het bestaande dijklichaam overneemt. De kistdam wordt aangebracht ter plaatse van het bestaande tracé langs de Waalkade. Het dijkprofiel kan worden gehandhaafd. Er kan zelfs voor gekozen worden om de aanlegbreedte te reduceren zoals in figuur 34 is aangegeven. Op deze manier wordt ruimte gecreëerd voor andere functies dan waterkeren. Verhogingen in de toekomst kunnen door het verhogen van de kistdam worden gerealiseerd.

6.4.2.2 Standaarddoorsnede 2



Figuur 35, toepassing van een kistdam langs het bedrijfsterrein

Ter plaatse van het bedrijfsterrein 'De Waal' wordt de kistdam toegepast zoals is aangegeven in figuur 35. Achter de kistdam is ervoor gekozen om het maaiveld op te hogen naar NAP+7.0m. Door het kleinere hoogteverschil komt de waterkering niet zo 'massief' over.

6.4.3 berekeningmethode

De globale dimensionering van de kistdam wordt als volgt uitgevoerd: de voorwand wordt als een ‘normale’ damwand met behulp van een damwandprogramma volgens methode Blum op sterkte en vervorming getoetst. Uit de berekening resulterende ankerkrachten kunnen als puntlast op de achterwand worden gezet. Met behulp van de methode Homberg wordt vervolgens de maximaal te leveren passieve gronddruk op de achterwand bepaald. De achterwand wordt berekend met aangepaste gronddruk coefficienten volgens methode homberg en met de ankerkracht uit de voorwand.

Voor de berekening zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

1. De uitvoering geschied in drie fasen:
 1. damwanden (type AZ) worden ingebracht in het bestaande dijklichaam.
 2. Na aanbrengen damwanden wordt één verankering aangebracht op NAP+ 7,5m.
 3. Tussen de damwanden wordt tot NAP+9,74m opgehoogd met een licht ophoogmateriaal.
- Niveau top damwand: NAP+9,74m
- Niveau teen damwand: NAP-0,26m (in kleiige zandlaag)
- Stijfheid (EI): $2.1 \cdot 10^8 \cdot 34200 \cdot 10^{-8} = 7.182 \cdot 10^4 \text{ kNm}^2/\text{m}^3$
- een grondwaterstand van NAP+2,5m,
- het optreden van maatgevend hoogwater (NAP+ 9,24m),
- afmetingen van het bestaande dijklichaam conform standaarddoorsnede 1 (blz. 24),
- opbouw van de grondlagen conform het boorprofiel in figuur 21 (blz 36),
- de representatieve parameterwaarden voor de vervormingsberekening uit tabel 3,
- de rekenwaarden voor de sterkteberekening uit tabel 5,
- de waarden voor de beddingsconstanten uit tabel 7. (blz. 39),
- belasting Q1 van 20,0 kN/m¹ over een breedte van 5,5m achter de damwand.

6.4.4 Resultaten ontwerpbercakeningen

Met behulp van het programma MSHEET is de globale dimensionering van de damwandplanken uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

De uitvoering geschied in drie fasen

- In fase 1 worden de damwandplanken aangebracht in de bestaande toestand. hierbij is de gemiddelde rivierwaterstand (NAP+2,5m) aangehouden.
- In fase 2 wordt 1,04 meter grondophoging aangebracht. Hierbij is uitgegaan van een zand/klei-mengsel ($\gamma=17,0 \text{ kN/m}^3$)
- In fase 3 treedt maatgevend hoogwater op (NAP+9,24m¹). De grondwaterstand ligt voor alle fasen op NAP+ 2,5m¹.

De damwandplanken worden door het kleipakket tot enkele meters in de draagkrachtige zandlaag aangebracht. Met behulp van het programma MSHEET is naar de optredende momenten en vervormingen gekeken bij een bepaald planktype bij een bepaalde aanlegdiepte. Om de vervormingen tegen te gaan zijn verschillende ingrepen mogelijk.

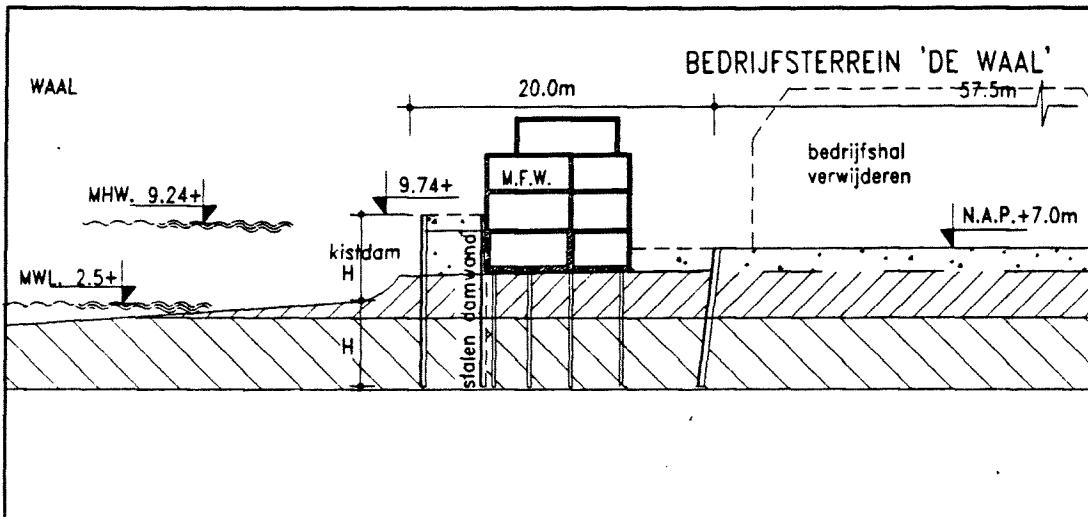
- De damwandplank kan dieper in de draagkrachtige zandlaag worden ingebracht waardoor het veldmoment gereduceerd wordt en daardoor ook de vervorming.
- Er kunnen meerdere verankeringsniveau's aangebracht worden waardoor vervorming van de damwand worden beperkt. Nadeel is dat gedeeltelijk ontgraven moet worden bij diep gelegen verankeringsniveau's.

- Er kan een stijver planktype worden toegepast. Meestal gaat dit gepaard met een grotere aanlegdiepte.
Uiteraard kunnen de ingrepen ook worden gecombineerd.

Er is gekozen voor een damwandlengte van 10,0 meter. De aanlegdiepte is dan NAP.-0,26m. Het damwandplanktype is een AZ 18.

6.4.5 Haalbaarheid kistdam

De kistdam geïntegreerd in een multifunctionele waterkering zou eruit kunnen zien zoals in figuur 36 is geschetst.



Figuur 36, kistdam toegepast in een multifunctionele waterkering

De achterwand van de kistdam wordt voorzien van een betonnen voorzetwand. De waterkerende functie wordt volledig verzorgd door kistdam. De overige functies wonen, parkeren en winkels bevinden zich direct achter de kistdam.

- **Voordeel**

De uitvoeringsmethodiek is vrij eenvoudig, daardoor is verhoging van de huidige waterkering volgens deze methode in relatief korte tijd te realiseren.

Het bestaande tracé kan worden gehandhaafd. Daarbij blijft het ruimtebeslag beperkt.

- **Nadeel**

De kistdam wordt geïntegreerd met de bebouwing. Het beheer en onderhoud van de kistdam als primaire waterkering valt onder de verantwoordelijkheid van het polderdistrict, terwijl de bovenliggende bebouwing eigendom is van de gebruikers. Hoe met het eigendomsaspect en onderhoud wordt omgegaan dient vooraf goed te worden vastgesteld (Referentie project: 'De Dordtse wand.)

Voor inspectie en het onderhoud van de kistdam moet de kistdam vanaf stadszijde toegankelijk zijn voor het polderdistrict.

Dit alternatief is slechts interessant als het ter plaatse van de bestaande waterkering wordt aangebracht, m.a.w. als het oude tracé wordt gehouden. Is dit niet het geval, dan ligt toepassing van het voorgaande alternatief meer voor de hand.

Aanwezigheid van oude funderingsresten in de ondergrond levert moeilijkheden op bij het aanbrengen van de damwanden.

Aanwezigheid van leidingen en kabels kunnen problemen opleveren bij het aanbrengen van de kistdam

Als toepassing in een multifunctionele waterkering is een kistdam, uitgevoerd met stalen damwanden, minder geschikt. Er kan slechts gering draagvermogen aan de stalen damwanden worden ontleend. De damwanden staan met hun voet in de klei, daarom kan de grond tussen de kistdam niet te zwaar worden belast. Deze extra belasting kan zetting en een zijdelingse verplaatsing van de damwanden veroorzaken. Door het ontbreken van draagvermogen is de combinatie van functies in verticale zin niet mogelijk.

Toepassing van een kistdam met stalen damwanden in een multifunctionele waterkering is alleen haalbaar in een ontwerp waarbij de functies horizontaal worden gecombineerd. Bij het combineren van functies in horizontale zin is het ruimtebeslag groot. Blijft de Waalkade buiten beschouwing, dan kan worden gesteld dat de vrije breedte langs een groot deel van het bestaande waterkeringstracé door Zaltbommel, beperkt is. Een toepassing van een kistdam in een multifunctionele waterkering waarbij de functies in horizontale zin worden gecombineerd, wordt daarom niet haalbaar geacht. Het alternatief waarbij de kistdam wordt uitgevoerd met prefab voorgespannen betonnen damwanden of met diepwanden schept meer mogelijkheden. Het draagvermogen kan aanzienlijk toenemen, waardoor mogelijkheden ontstaan om functies verticaal te combineren. Nadeel van het kistdamprincipe blijft echter dat de ruimte tussen beide wanden van een grondvulling is voorzien. Aan dit volume kan geen andere functie worden ontleend dan waterkeren. De kistdam komt het best tot zijn recht ter plaatse van het bestaande dijklichaam langs het bestaande tracé.

Conclusie:

Mogelijkheid van toepassing, van een kistdam, uitgevoerd met stalen damwanden, in een multifunctionele waterkering is weinig aantrekkelijk.

Een kistdam uitgevoerd met prefab voorgespannen betonnen damwanden of met diepwanden heeft wel multifunctionele mogelijkheden.

Meest geschikte toepassing blijft 'verhoging van de bestaande waterkering en verbetering van de stabiliteit met behulp van deze kistdamconstructie.' Dit is technisch goed haalbaar.

6.5 KEERMUUR

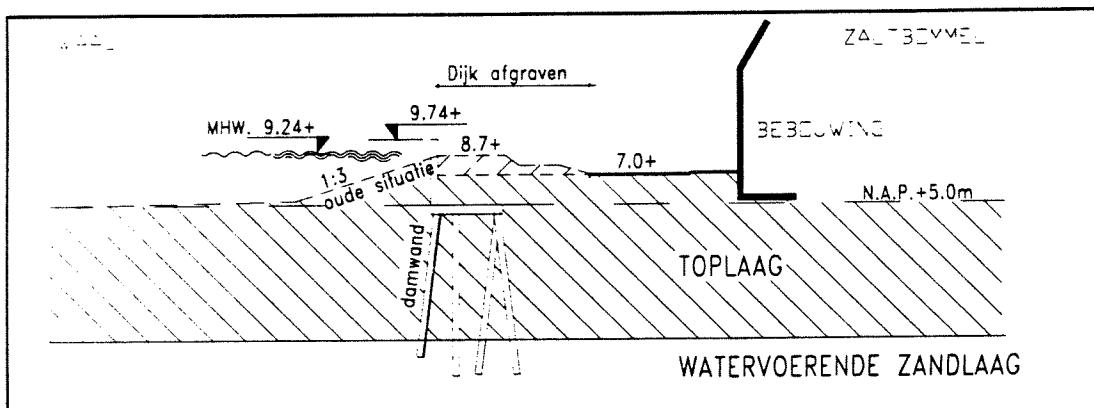
6.5.1 algemeen

Aan een keermuur wordt een grond- en/of waterkerende functie ontleend. Een veel voorkomende vorm van een keermuur is de L-muur. De fundering van de L-muur kan worden uitgevoerd op staal of op palen. In het eerste geval wordt de stabiliteit ontleend aan het gewicht van de L-muur en de grond op de vloerplaat. Horizontale belastingen maken daarbij evenwicht met de opgewekte schuifweerstand, onder de vloerplaat in de ondergrond. In het geval van een slechte grondgesteldheid over de eerste meters onder het maaiveld, zoals dat in Zaltbommel het geval is, wordt de keermuur op een paalfundering geplaatst.

Door toepassing van een keermuur wordt de constructiebreedte van de waterkering aanzienlijk gereduceerd op maaiveldniveau. De ruimte die zo gewonnen wordt kan voor andere doeleinden worden gebruikt dan waterkeren. Deze oplossing kan onderdeel uitmaken van een multifunctionele waterkering. Er wordt dan een scheiding van functies in het horizontale vlak toegepast.

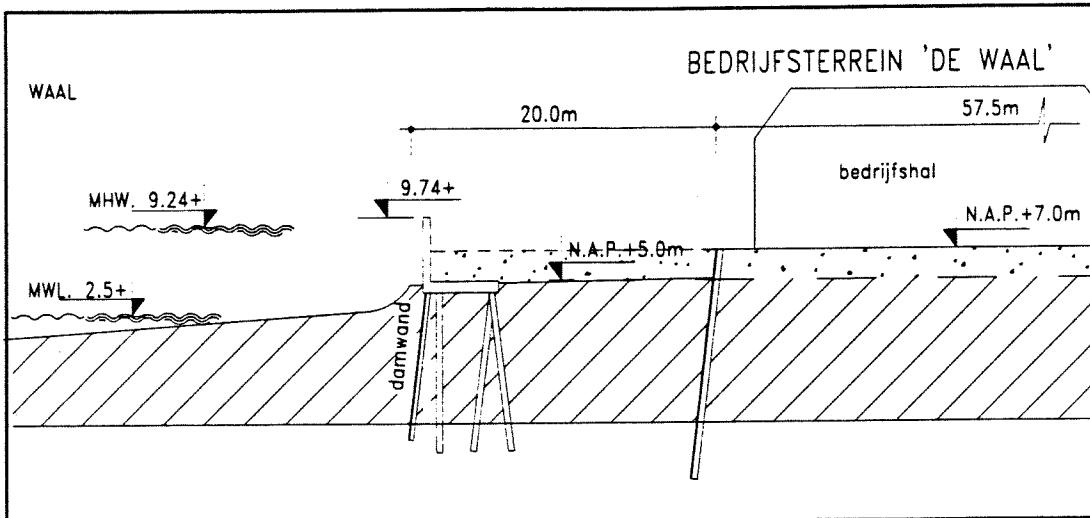
6.5.2 Keermuroplossing in de standaarddoorsneden 1 en 2

6.5.2.1 Standaarddoorsnede 1



Figuur 37, keermuur met kwelscherm ter plaatse van de Waalkade

6.5.2.2 Standaarddoorsnede 2



Figuur 38, keermuur met kwelscherm op bedrijfsterrein

6.5.3 Constructieve aspecten

6.5.3.1 fundering

Fundering op staal is mogelijk wanneer op geringe diepte draagkrachtige lagen aanwezig zijn met voldoende dikte. Dat is hier niet het geval. De draagkrachtige laag bevindt zich op NAP - 4,4 m¹, dat is 9,4 tot 11,4 meter onder maaiveld. De draagkracht van de onderliggende grond kan uitgedrukt worden in een beddingsconstante (k), waarmee de stijfheid van de grond wordt weergegeven. Voor zandgrond kan deze op 4x de conusweerstand worden geschat. Uit de sondering kan een gemiddelde conusweerstand van ca. 10,0 mN/m³ voor de zandlaag van NAP - 4,4 m¹ tot NAP - 10,8 m¹ worden opgemaakt. De beddingsconstante van de zandlaag wordt dan $k_{zand} = 4 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$. De beddingsconstante van de kleilaag is met $k_{klei} = 2000 \text{ kN/m}^3$ aanzienlijk lager dan van de zandlaag. Wordt op dit kleipakket gefundeerd dan zullen, door de extra belasting uit de ophoging t.p.v. het bedrijfsterrein (2,0m) en het verkeer, ontoelaatbare zettingen optreden. In dit geval zal, bij een fundering op staal grondverbetering moeten worden uitgevoerd over de dikte van de toplaag van het kleipakket (tot ca. NAP - 4,4 meter.) De geroerde grond onder het nieuw te maken kunstwerk kan leiden tot 'piping.'

Conclusie:

Een fundering op staal is op deze locatie geen aantrekkelijke oplossing. Gekozen is voor een fundering op palen.

6.5.3.2 Gebruik van een damwandscherm bij de L-muur

Bij het gebruik van palen als fundering voor de keermuur, kan in de tijd, de zetting van de constructie minder zijn dan de zetting van de onderliggende grond. Het gevolg is dat de grond onder het kunstwerk niet aansluit door de zettingsverschillen en dat bij hoogwater, een kwelstroom vlak langs het kunstwerk ontstaat. Om deze lekkage te voorkomen, wordt een damwand onder het kunstwerk toegepast. Op deze manier wordt de kwelweglengte vergroot en daarmee de sterkte van de grondwaterstroming verminderd.

Meestal bestaan deze kwelschermen uit korte damwanden met lengtes van ca. 1 meter die achter elkaar, haaks op de kwelweg worden geplaatst. Het is ook mogelijk om een

damwand van grotere lengte onder het kunstwerk te plaatsen, aan hoogwater zijde. Bij laatst genoemde mogelijkheid wordt de stabiliteit van het kunstwerk gegarandeerd bij eventuele ontgraving of ontgronding van het voorland. Bij dit alternatief gaat de voorkeur uit om de damwand tot in de draagkrachtige zandlaag door te zetten. De damwand wordt dan aan beide uiteinden gefixeerd. Verplaatsing van de voet van de damwandplank wordt ten gevolge van eventuele horizontale belastingen zo voorkomen.

Door Bligh en Lane zijn ontwerpregels opgesteld voor onderloopsheid bij kunstwerken, gefundeerd op goed doorlatend materiaal. In hoofdstuk B4.2.2 is aangegeven hoe deze regels, die oorspronkelijk bedoeld zijn voor kunstwerken, geïnterpreteerd kunnen worden om de kwelweglengte onder een traditioneel dijklichaam te bepalen. De kwelweg bij een traditioneel dijklichaam ontstaat daarbij door inzijging in het voorland naar de watervoerende zandlaag. Het uitreepunt wordt aangenomen op een afstand van 3 maal de kerende hoogte vanaf de binnenteen van het dijklichaam.

De kwelweg zal bij toepassing van een bijzondere constructie niet veel veranderen ten opzichte van de kwelweg van de traditionele dijkverzwaring. Dit komt door de aanwezigheid van de slechtdoorlatende toplaag met een gemiddelde dikte van 9,5 m. Wel moet ervoor gezorgd worden dat kwel vlak langs het kunstwerk niet kan optreden tengevolge van zettingsverschillen. Mogelijke oplossing hiervoor is toepassing van een damwand tot in de draagkrachtige laag.

6.5.4 Resultaten ontwerpberceningen

- **Fundering:**

De semi doorlatende toplaag bestaat uit klei. In de voorgaande paragraaf is aangegeven dat een fundering op staal voor de L-muur, geen aantrekkelijke oplossing is. De extra belasting voortkomend uit het ophogingspakket zouden aanzienlijke zettingen van de L-muur teweeg brengen. Dit betekent dat een fundering op staal gepaard zou moeten gaan met uitvoering van grondverbetering over een grote diepte. Daarom is gekozen voor een paalfundering.

- **belasting**

Bij de paalfundering komt de maatgevende horizontale kracht op de keerdwand voort uit de waterdruk bij hoogwater. Om rekening te houden met eventuele ontgronding ten gevolge stroming e.d. wordt voor bepaling van de horizontale kracht de belasting tot aan onderkant voetplaat genomen (=NAP+4,24m):

Uit de berekening in bijlage volgt dat de horizontale waterbelasting wordt opgenomen door de passieve gronddruk die nog niet volledig is gemobiliseerd bij het optreden van Maatgevend hoogwater.

- **Wanddikte**

Bepalend voor de wanddikte is het optredend moment en de dwarskracht in de wand ter plaatse van de aansluiting op de voetplaat. H wordt dan (9,24-5,00m=) 4,24m: Bij een maximaal berekend optredend gebruiksmoment van 158 kNm, kan met een wanddikte (h) van 250mm worden volstaan. De benodigde wapening bedraagt 1617mm². Dit komt overeen met een hoofdwapening van Ø16-125.

De optredende representatieve dwarskracht bij de maatgevende situatie bedraagt 60,0 kN. De schuifspanning τ_d blijft met 0,45 N/mm² onder de τ_c van 0,56. Er is dus geen dwarskrachtwapening benodigd.

- Damwandlengte

De aanlegdiepte van de L-muur dient minimaal onder de vorstgrens (= 600 mm – maaiveld) te liggen. De aanlegdiepte is op 750 mm onder het maaiveld gekozen (rekening houdend met eventuele zetting van het voorland.) Met met niveau van het voorland van NAP+5,0m wordt de damwandlengte:

onderkant voetplaat L-muur	NAP+4,25m
tot in kleiige zandlaag	NAP -0,25m
$\Rightarrow 4,25m + 0,25m = 4,50m \Rightarrow$	damwandlengte = 5,0m.

- Benodigde palen:

Bij toepassing van een paalfundering zijn schoorpalen noodzakelijk om de horizontale belasting op te nemen. De horizontale gebruiksbelasting veroorzaakt door de waterdruk op de wand bedraagt 125,0 kN/m¹. Deze belasting wordt volledig door de schoorconstructie onder de L-muur opgenomen. De passieve gronddruk achter de L-muur is buiten beschouwing gelaten.

Als paaltype is uitgegaan van stalen buispalen Ø 711mm h.o.h 3,0 m, met een inheid diepte van NAP-5,4m. Met behulp van de 4d- 8d methode toegepast op de sondering uit figuur 20, wordt als toelaatbare representatieve paalbelasting gevonden: 1020 kN (zie berekening in bijlage B8).

De optredende horizontale paalbelasting 1012 kN en de verticale belasting 336 kN.

6.5.5 Uitvoeringsmethodiek.

Ter plaatse van het bedrijfsterrein ‘de Waal’ hoeft men voor de bouwwerkzaamheden geen aanvullende maatregelen te treffen in de vorm van een tijdelijke waterkering, omdat men de huidige primaire waterkering intact laat. De L-muur wordt gebouwd aan de rand van het bedrijfsterrein, buiten de huidige waterkering.

De bouwvolgorde is als volgt:

1. Heien damwand
2. Heien palen tot in de draagkrachtige laag
3. Ontgraven tot onderkant L-muur
4. Maken L-muur

6.5.6 Haalbaarheid L-muur in MFW

Toepassing van een L-muur in een multifunctionele waterkering levert de volgende voor- en nadelen op:

- Voordeel

Door het gebruik van een verticale begrenzing wordt de aanlegbreedte op maaiveldniveau aanzienlijk gereduceerd. In principe tot de constructiedikte van de muur zelf.

Toepassing van een L-muur in een multifunctionele waterkering is een reële optie.

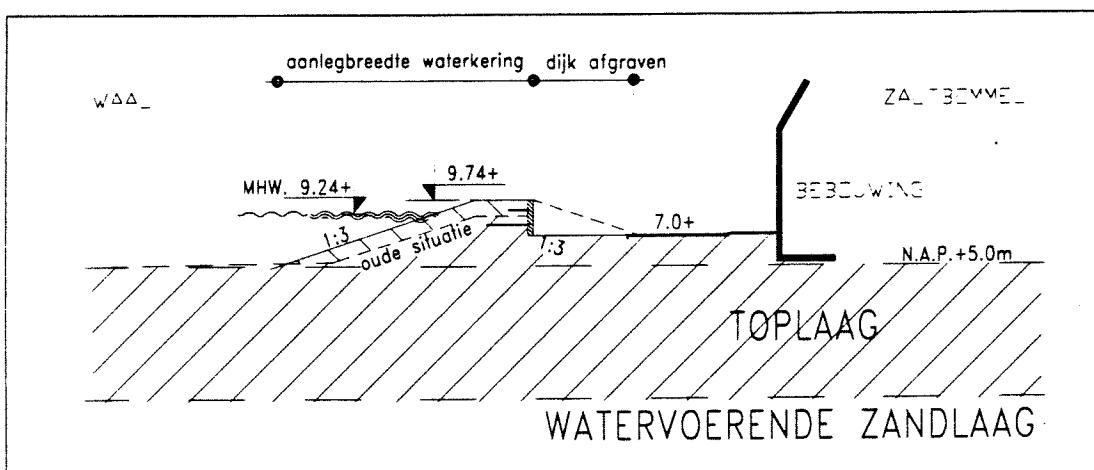
- Nadeel

Toepassing van een bijzondere constructie blijft t.o.v. een traditionele dijkverzwaring een duurdere oplossing.

6.6 GEWAPENDE GRONDCONSTRUCTIE

6.6.1 algemeen

Onder een gewapende grondconstructie wordt een keermuur verstaan die is opgebouwd uit verticaal geplaatste betonelementen. De elementen zijn door middel van strippen verankerd aan de achterliggende grond. Horizontale belasting wordt opgenomen door wrijving tussen de grond en de verankeringssrippen. Met deze constructiemogelijkheid wordt verbreding van de waterkering voorkomen. De keermuur wordt in het dijklichaam aangebracht. Door de bouw van de keermuur kan het talud aan binnendijkse zijde worden afgegraven. Daardoor ontstaat ruimte voor andere functies dan waterkeren.



Figuur 39, gewapende grondconstructie

Uitvoeringsmethodiek

Het dijkgedeelte ter plaatse van de verankering moet worden ontgraven. De verticale elementen worden aangebracht. De verankeringssrippen worden geplaatst. De dijk wordt vervolgens aangevaard waarbij de grond in lagen wordt aangebracht en verdicht.

6.6.2 Haalbaarheid gewapende grondconstructie als MFW

- Voordeel van de constructie:
 - Aanlegbreedte van de dijkverhoging wordt verkleind ten opzichte van de bestaande situatie.
 - Uitvoering is relatief eenvoudig.
- Nadeel van de constructie:
 - De wandconstructie kan beperkte vervorming in de ondergrond opnemen.
 - Tijdens ontgravingswerkzaamheden van de bestaande primaire waterkering moet een hulpdijk worden aangebracht.
 - De ondergrond moet voldoende draagkrachtig zijn om de lichtbetonelementen te kunnen dragen. In Zaltbommel is de ondergrond onvoldoende draagkrachtig. Hierdoor bestaat de kans dat ongelijkmatige zettingen kunnen optreden waardoor de gewapende grondconstructie zijn stabiliteit verliest. De constructieve mogelijkheden worden daardoor beperkt.
 - Groot nadeel is dat voor de elementen van dit constructietype, met name voor de verankering, een opbouw van zandlagen benodigd is. Deze zandophoging zou in

de bestaande dijk aangebracht moeten worden, met daaroverheen, voor de afdekking, de kleiige toplaag. De aanezigheid van zand voor deze constructie komt de stabiliteit van de dijk niet ten goede.

Dit alternatief wordt dan ook niet verder uitgewerkt.

6.7 GABIONS

6.7.1 Algemeen

Gabions, ook wel steenkorven genoemd zijn rechthoekige blokken, gazen of kunststof netten die gevuld worden met stenen. De blokken of korven kunnen op elkaar gestapeld worden of aangebracht worden op het talud.

In het geval dat de gabions worden aangebracht op het talud ontstaat een ‘gewapende steenbestorting’.

Gabions die op elkaar gestapeld worden kunnen fungeren als keermuur. De constructie volgt het idee van een gewapende grondconstructie. Gestapelde gabions, toegepast als dijkverhoging, voorkomen een vergroting van de aanlegbreedte.

Er moeten wel maatregelen genomen worden om uitspoeling van de achterliggende grond te voorkomen. Dit kan door toepassing van bijvoorbeeld geotextiel.

Ook hier geldt als nadeel dat door de relatief zware constructie op de minder draagkrachtige ondergrond de kans bestaat dat instabiliteit van de constructie optreedt.

Om deze reden wordt dit alternatief niet verder uitgewerkt.

6.8 ALGEMENE CONCLUSIE HOOFDSTUK 6.3 - 6.7

Van de bekeken constructiemogelijkheden is de voorgespannen prefab damwand “als constructie onderdeel” voor de multifunctionele waterkering een goede toepassing door zijn hoge draagvermogen.

Een L-muur kan een multifunctionele toepassing krijgen door de voetplaat als fundatie te gebruiken voor bebouwing. De stalen damwand fungeert als kwelscherf. Deze twee constructietypen worden in de wandalternatieven (paragraaf 6.9 t/m 6.13) nader uitgewerkt

6.9 VARIANTEN WANDOPLOSSINGEN

6.9.1 Algemeen

In de voorgaande paragraaf zijn enkele bijzondere constructies besproken. Daarbij kwam de damwand als wandoplossing al ter sprake. Een damwand in combinatie met een betonconstructie levert goede mogelijkheden als constructieve oplossing voor een multifunctionele waterkering. Een aanzet werd in de voorgaande paragraaf gegeven in de vorm van een L-muur. In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op betonnen wandconstructies als element van het waterkeringsontwerp.

Het verschil met de eerder besproken constructies is dat

- aan het element naast een waterkerende functie, óók draagvermogen kan worden ontleend,
- de wandconstructie volledig wordt geïntegreerd in het multifunctionele waterkeringsontwerp.

Binnen de globale schets van de Architect van ‘Zaltbommel Waterstad’ worden vier alternatieven voor de wandconstructie aangedragen:

1. diepwand
2. prefab voorgespannen betonnen damwanden met trek-/drukpalen
3. palenwand
4. combiwand

6.9.2 Belastingen

Voor de multifunctionele waterkering waarbij de wandconstructie-oplossing is toegepast, is een algemene gewichtsberekening gemaakt. Voor de indicatie van de benodigde paalconfiguratie is de totale neerwaarts gerichte belasting en de eventueel aanwezige opwaartse belasting bepaald. De grondwaterstand bevindt zich op NAP+2,5m. De volgende representatieve waardes zijn gevonden (zie bijlage B8):

Permanente belasting:	51,8 kN/ m ² ↓
Veranderlijke belasting:	6,8 kN/ m ² ↓
Opwaartse belasting bij M.H.W.:	(max.) 42,5 kN/ m ² ↑

Uit de gewichtsberekening volgt dat de resulterende belasting neerwaarts is gericht. De waarde bedraagt maximaal 58,6 kN/ m² en minimaal 16,1 kN/ m².

Conclusie: Er zijn dus geen trekpalen benodigd voor het verticale evenwicht.

Ook is gekeken naar het optreden van de maximale waterdruk tegen de onderkant van de parkeergaragevloer met een dikte van 0,5m. In dat geval is de netto opwaartse belasting 35,25 kN/ m² ↑. Bij een puntvormig ondersteunde plaatvloer met een overspanning van 6,0m bij 7,0m van de palen/poeren in het veld bedraagt het wapeningpercentage 0,68% (zie bijlage B8.1.1.)

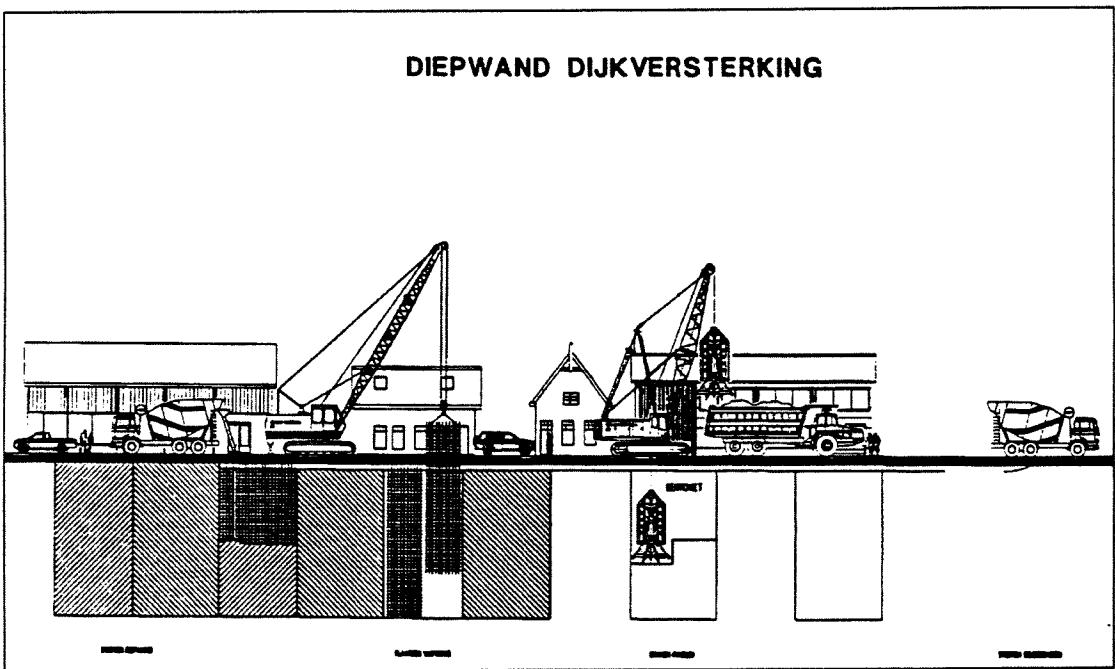
Conclusie: De belasting ten gevolge van de opwaartse waterdruk is goed op te nemen door de parkeergaragevloer met een dikte van 0,5m.

6.10 DIEPWANDEN

6.10.1 algemeen

Als eerste oplossingsmogelijkheid kan gedacht worden aan toepassing van diepwanden in combinatie met daartussen gestorte betonvloeren. De wanden hebben een dragende (constructieve) functie en een waterkerende functie, waarbij de kwelweglengte wordt gereduceerd.

In figuur 40 is het uitvoeringsprincipe aangegeven. Met een graafmachine worden de diepwandsleuven tussen twee geleidebalken gegraven door de waterafsluitende toplaag, van NAP+5,0 m tot NAP-2,8m, tot in de draagkrachtige zandlaag. Om de gegraven sleuf te stabiliseren wordt het gat gevuld met een betonetsuspensie. Daarbij wordt voor de sleufstabiliteit een overdruk gerealiseerd door het vloeistofniveau van de betonetspoeling, minimaal één meter boven de stijghoogte van de te ontgraven grondlagen te houden. In de praktijk betekent dit dat op plaatsen waar de stijghoogte boven het maaiveld uitkomt, plaatselijk een ophoging, in de vorm van een hulpconstructie, moet plaatsvinden om de overdruk te kunnen realiseren. Bij Zaltbommel is dit niet het geval.



Figuur 40, uitvoeringsprincipe diepwanden

De wapeningsnetten worden in de sleuf, in de betonetsuspensie getakeld. Als laatste stap wordt het beton in de sleuf gepompt. Het beton verdringt de betonetspoeling door het hogere soortelijk gewicht van het beton, waarbij het betoniet wordt teruggewonnen.

Algemeen wordt door op deze manier de voor- en de achterwand en de twee kopwanden te maken, een gesloten put gerealiseerd. De put wordt dan leeggepompt met een open bemaling. Ontgravingswerkzaamheden kunnen dan in den droge geschieden. Dit is in Zaltbommel allemaal niet van toepassing aangezien er geen ontgraving plaatsvindt bij een éénlaagse parkeergarage.

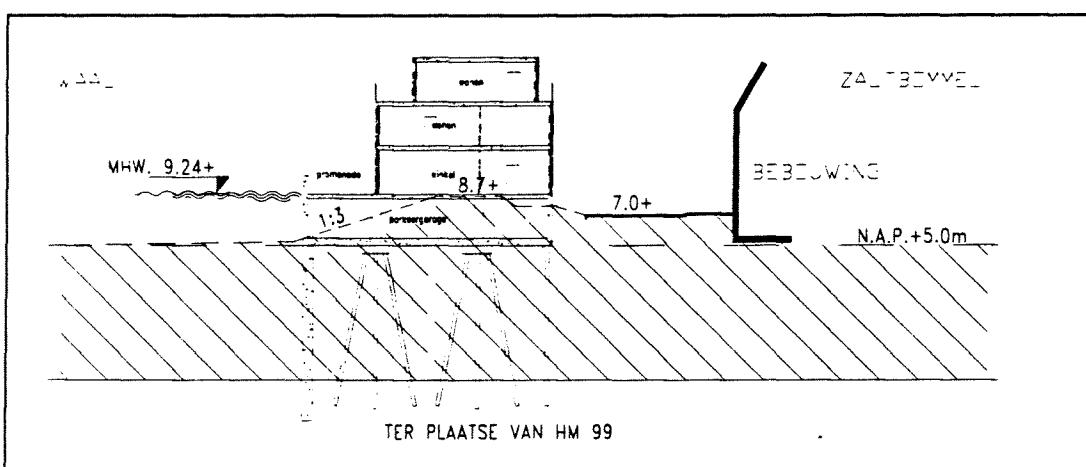
Belangrijke criteria voor het ontwerp van de diepwanden zijn de horizontale uitbuigingen en het draagvermogen van de diepwand. Om de uitbuiging te reduceren wordt een stempeling toegepast. Inwendig wordt dan een gewapende strook in de diepwand opgenomen die als gording voor de stempels dienst doet.

6.10.2 Diepwand in de standaarddoorsneden 1 en 2

6.10.2.1 Standaarddoorsnede 1

Standaarddoorsnede 1 ligt ter plaatse van de primaire waterkering. Tijdens de bouwwerkzaamheden zal een tijdelijke waterkering de functie van de huidige waterkering moeten overnemen. De tijdelijke kering kan uitgevoerd worden in de vorm van een hulpdijk (of grondaanvulling) of een kistdam. De ruimte tussen de tijdelijke waterkering en de bestaande waterkering wordt tijdelijk opgevuld om de diepwand te kunnen graven.

De diepwandelementen hebben tijdens de ontgraving van het bestaande dijklichaam, een grondkerende functie. Na het ontgraven wordt de diepwand als constructieonderdeel in de permanente constructie geïntegreerd.

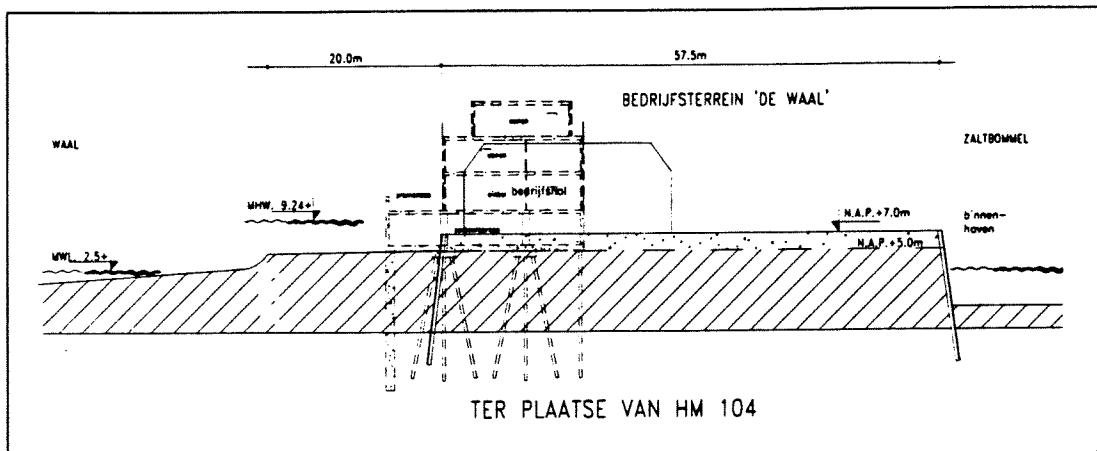


Figuur 41, toepassing van diepwand t.p.v. standaarddoorsnede 1

Toepassing van het diepwand-alternatief, ter plaatse van standaarddoorsnede 1 langs de Waalkade, is een mogelijkheid. Aangezien de Waalkade een beschermd stadsgezicht is, wordt toepassing niet als een reële optie aangemerkt.

6.10.2.2 Standaarddoorsnede 2

Ter plaatse van het bedrijfsterrein 'de Waal', standaarddoorsnede 2, is de multifunctionele waterkering wel een reële optie. Zie onderstaande figuur. De bestaande bebouwing, onder andere een bedrijfshal, dient daarvoor te worden gesloopt.



Figuur 42, toepassing van diepwand t.p.v. standaarddoorsnede 2

6.10.3 Constructieve aannames t.b.v. het ontwerp

De diepwand wordt slechts aan één kant van de multifunctionele waterkering gemaakt. De diepwandpanelen worden om en om, tussen twee voegmallen gemaakt. Een diepwandpaneel bestaat uit meerdere elementen waardoor de panelen met een breedte van 6,0 meter kunnen worden gemaakt. Aangezien er bij een éénlaagse parkeergarage niet hoeft worden te ontgraven is geen afstempeling benodigd. De h.o.h. afstand van de stempels is hierop afgestemd, zodat een stempel per paneel aanwezig is. De diepwand reikt tot NAP-6,4m en is 0,75m dik verondersteld. Voor de kosten wordt een betonsterkteklasse B25 aangehouden. Doorgaans worden voor de elasticiteitsmodulus van de diepwand twee gevallen beschouwd. Ter bepaling van de maximale vervormingen is met een gescheurde E-modulus voor beton van 10000N/mm² gerekend. Voor de krachtsverdeling wordt doorgaans met een ongescheurde elasticiteitsmodulus van 30000N/mm² gerekend.

6.10.4 Bijzonderheden

Ten aanzien van de uitbuiging van de diepwand zijn als indicatieve waarden, om schade aan de omgeving te voorkomen, de volgende waarden aangehouden:

- maaiveldniveau < 10mm
- paalpuntniveau < 25mm
- overige niveaus < 50mm

6.10.5 Haalbaarheid

De voordelen van toepassing van een diepwand komen in dit ontwerp niet volledig tot uiting. Toepassing van een diepwand is interessant bij

- afdracht van grote verticale belastingen naar de ondergrond.
- diepe ontgravingen.

Ter plaatse van het bedrijfsterrein de Waal wordt de diepwand tot een niveau van NAP+5,0m gemaakt. De parkeergarage en de bovenbouw worden in een vervolgfase op de diepwand gestort. Ontgraving is hierbij niet aan de orde.

Bij toepassing ter plaatse van de bestaande dijk zal slechts over twee meter worden ontgraven. De diepwand wordt voornamelijk gebruikt als funderingselement voor de verticale belastingafdracht. Bijkomstig voordeel is dat een kwelweg langs de

constructie hiermee wordt voorkomen. Uiteindelijk zal deze oplossing te kostbaar zijn voor de te realiseren constructie.

Het maken van diepwanden vormt doorgaans een grote kostenpost op de totale begroting. Bij grote verticale belastingen in combinatie met een diepe ontgraving kan de diepwand een economische oplossing zijn.

Conclusie :

gezien de ondiepe ontgraving die benodigd is voor de bouw van de parkeergarage is toepassing van diepwanden voor de multifunctionele waterkeringsconstructie niet interessant.

Wordt een twee-laagse parkeergarage met een bijbehorende diepere ontgraving gebouwd, dan wordt deze oplossing wel interessant.

6.11 VOORGESPANNEN BETONNEN DAMWANDEN

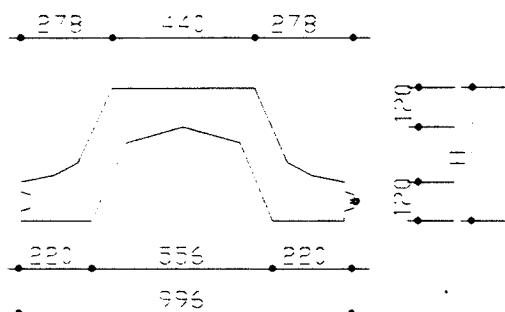
6.11.1 algemeen

Als alternatief op een stalen damwandtoepassing, kan sinds kort ook gebruik gemaakt worden van voorgespannen betonnen damwanden. Voorgespannen betonnen damwanden worden sinds najaar 1996 toegepast op de Nederlandse markt.

Voordeel van betonnen damwandplanken is dat door de relatief grote doorsnede aan de voet van het damwandplank, een behoorlijk draagvermogen aan het element kan worden ontleend. De voorspanning in het element zorgt voor een grote stijfheid en de momentcapaciteit van de voorgespannen betonnen planken is zodanig dat de planken kunnen worden opgenomen als wandelement in de definitieve constructie van de multifunctionele waterkering.

6.11.1.1 Beschrijving voorgespannen betonnen damwanden

Eigenschap van dit systeem is dat zowel horizontale- als verticale belastingen kunnen worden opgenomen. De voorgespannen betonnen damwand wordt geleverd in een vorm waarbij de doorsnede overeenkomst vertoont met die van een stalen damwand (zie figuur 43.) De toepassingsmogelijkheid van de betonnen damwand wordt hierdoor minimaal gelijk aan die van een stalen damwand.



Figuur 43, doorsnede voorgespannen betonnen damwand

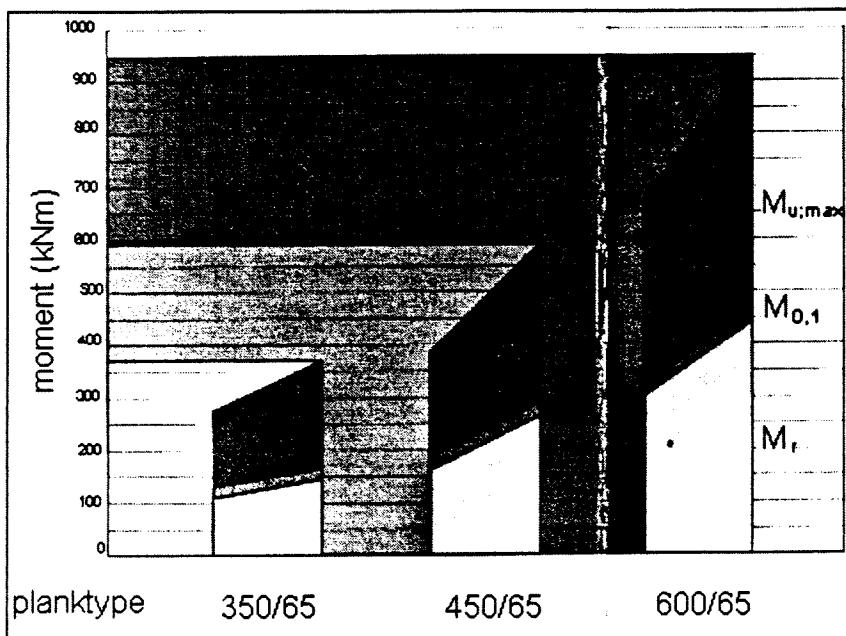
De wanden worden standaard uitgevoerd in een betonkwaliteit B65. De momenteel beschikbare standaardprofielen zijn in onderstaande tabel aangegeven:

Type	H hoogte(mm)	max. lengte(m)	A ($\times 10^3 \text{mm}^2$)	I ($\times 10^6 \text{mm}^4$)	W ($\times 10^6 \text{mm}^3$)
350/65	350	15	162.84	1730.84	9.9
450/65	450	17	190.38	3554.49	15.80
600.65	600	21	214.81	7888.93	26.30

Tabel 9 , statische gegevens betonnen damwandplanken

In de codering voor het planktype wordt door het eerste getal de hoogte van het element, en door het tweede getal de betonkwaliteit aangegeven. Naast de bovengenoemde standaardprofielen kunnen de profielen in grotere hoogten en lengtes geleverd worden. Toepassing van hoge sterkte beton (kwaliteit B85) behoort tot de mogelijkheden.

In onderstaande figuur wordt de momentcapaciteit van de standaard elementen aangegeven:



M_r = scheurmoment
 $M_{0,1}$ = moment bij
scheurwijdte
0,1
 $M_{u,max}$ = bezwijkmoment
bij max.
wapening

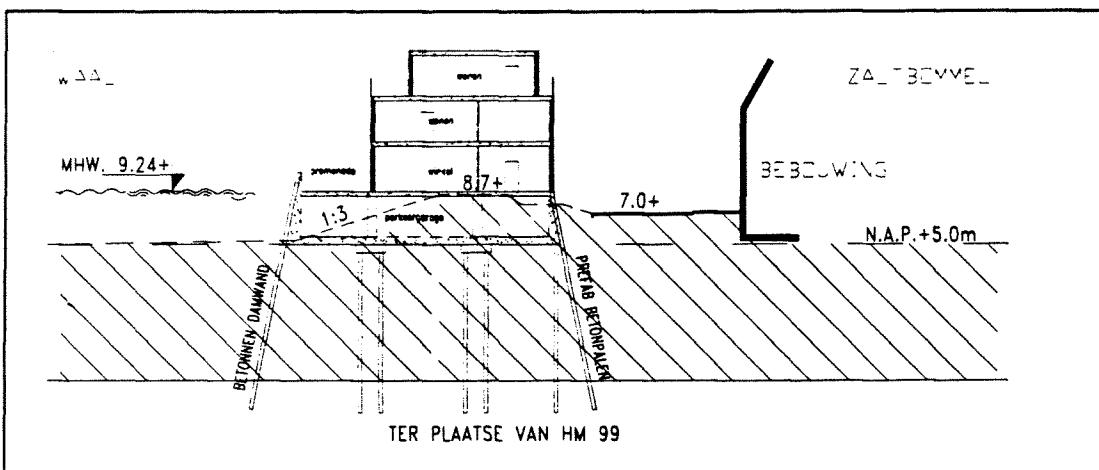
Figuur 44, momentcapaciteit standaard voorgespannen betonnen damwanden

Voordelen toepassing voorgespannen betonnen damwanden:

- Door de relatief grote doorsnede kan aan de elementen verticaal draagvermogen ontleend worden. Gebruik als funderingselement behoort zo tot de mogelijkheden.
- Het voorspannen van de elementen zorgt voor een grote stijfheid van de elementen.
- Beton is een duurzaam materiaal en behoeft geen uitwendige behandeling tegen corrosie te ondergaan, zoals dat bij toepassing van stalen damwanden wel het geval is.
- Voorzieningen voor vloeraansluitingen kunnen in de elementen opgenomen worden
- De elementen hebben een acceptabel zichtvlak.

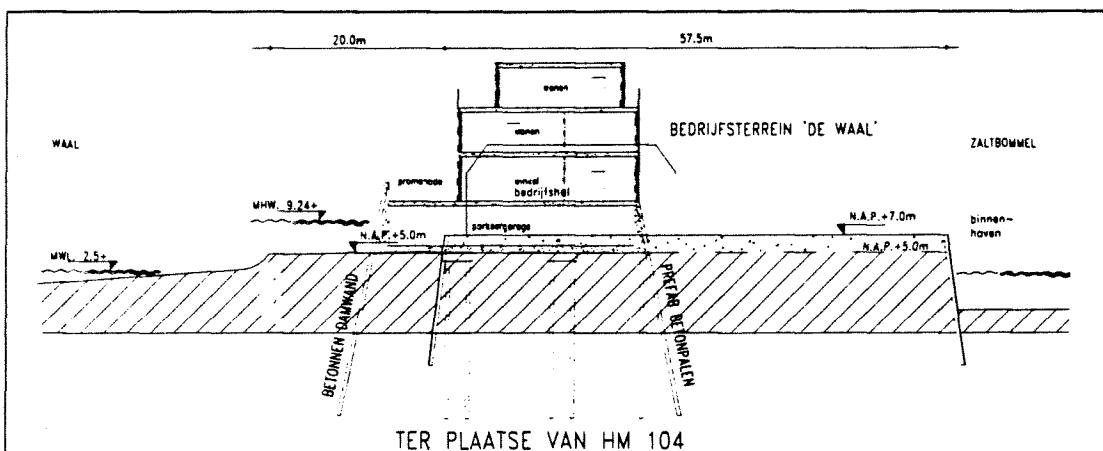
6.11.2 Prefab betonnen damwand in standaarddoorsnede 1 en 2

6.11.2.1 Standaarddoorsnede 1



Figuur 45, toepassing van betonnen damwanden voor de MFW

6.11.2.2 Standaarddoorsnede 2



Figuur 46, betonnen damwanden voor de MFW

6.11.3 Haalbaarheid

- Voordelen toepassing voorgespannen betonnen damwanden:
Door de relatief grote doorsnede van de voet kan aan de elementen verticaal draagvermogen worden ontleend.
Het voorspannen van de elementen zorgt voor een grote stijfheid van de elementen. Beton is een duurzaam materiaal en behoeft geen uitwendige behandeling tegen corrosie te ondergaan, zoals dat bij toepassing van staal damwanden wel het geval is.
Voorzieningen voor vloeraansluitingen kunnen in de elementen opgenomen worden
De elementen hebben een acceptabel zichtvlak.
- Nadelen toepassing voorgespannen betonnen damwanden:
Elementen zijn relatief duur
Voorspanning is een kwetsbaar onderdeel in het element
Kans op stukkeien plank bij grondslag vervuilde met funderingsresten e.d.

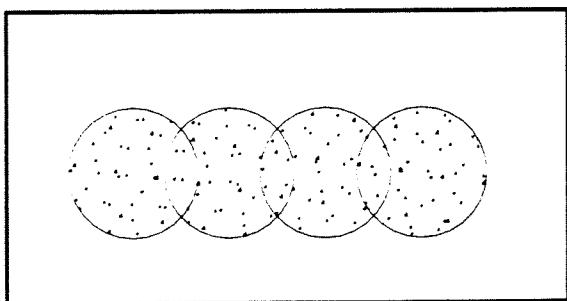
Slotverbinding bij damwandmethodiek is een zwak onderdeel
Weinig ervaring met voorgespannen betonnen damwanden.

6.12 PALENWAND

6.12.1 algemeen

Als derde oplossing wordt de palenwand genoemd.

Een palen wand bestaat uit een rij in de grond gevormde palen die enigszins overlappend naast elkaar zijn geplaatst. De palenwand kan uitgevoerd worden in beton, betonietcement, cementgrout of geinjecteerde grond. Bij het keren van alleen droge grond (hetgeen in Zaltbommel niet het geval is,) kan ook gebruik worden gemaakt van een rij naast elkaar geplaatste stalen buispalen. Dit type wandconstructie kan naast zijn kerende functie, ook hoge verticale belastingen afdragen. Horizontale belastingen worden opgenomen door buigende momenten in de palenwand. Dit wordt weer afgevoerd door de inklemming van de palen in de grond. Het grote voordeel van de palenwand is ten opzichte van een diepwand is dat er minder verstoring in de ondergrond optreedt tijdens het maken van de wand.

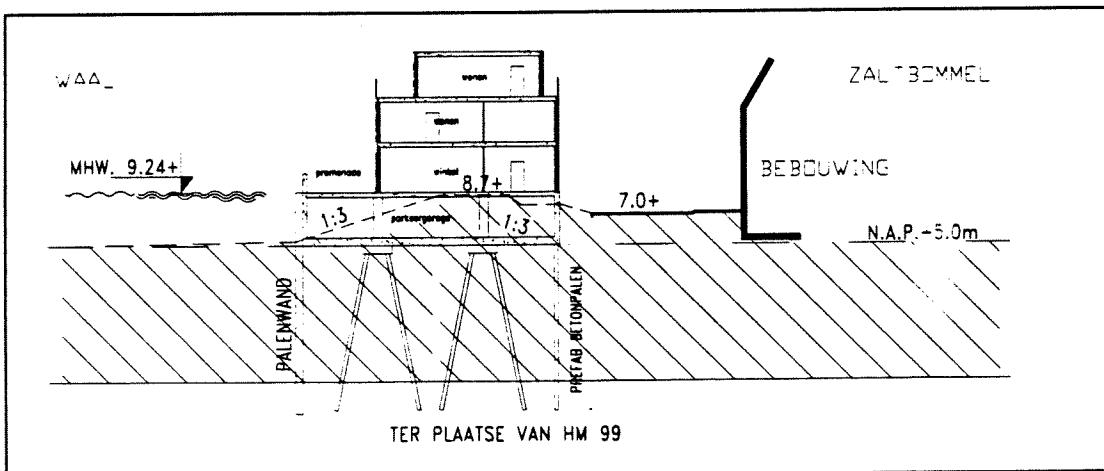


Figuur 47, horizontale doorsnede boorpalenwand

Voor het opnemen van de buigende momenten moeten de palen gewapend zijn. Er worden voor de palenwand voornamelijk schroefboorpalen, avegaarpalen en buisschroefpalen toegepast. Voor grotere diameters wordt doorgaans met boorpalen gewerkt. In de parkeergarage moet een voorzetwand worden aangebracht.

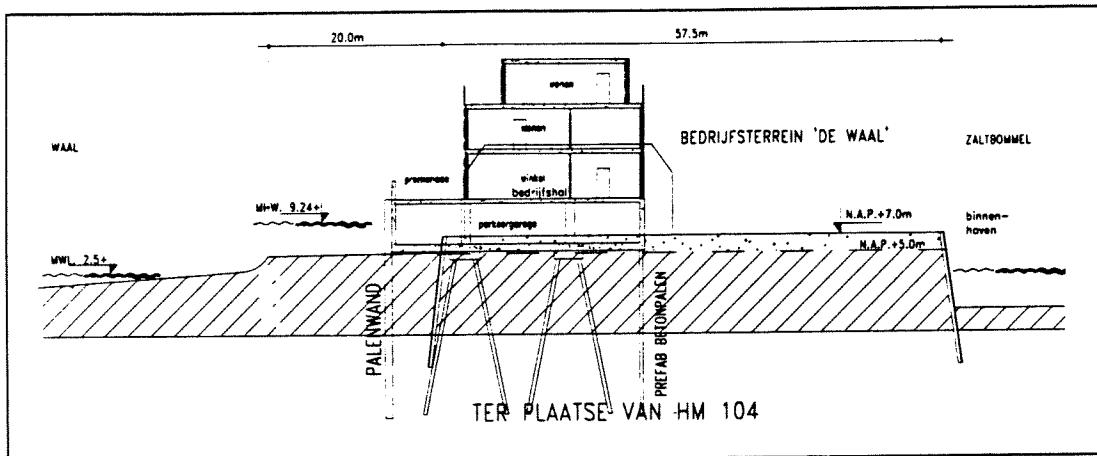
6.12.2 Palenwand in standaarddoorsnede 1 en 2

6.12.2.1 Standaarddoorsnede 1



Figuur 48, palenwand in standaarddoorsnede 1

6.12.2.2 Standaarddoorsnede 2



Figuur 49, palenwand in standaarddoorsnede 2

6.12.3 Haalbaarheid

De palenwand komt evenals een diepwand goed tot zijn recht bij afdracht van hoge verticale belastingen en bij diepe ontgravingen. Hoge belastingen zijn bij dit ontwerp aanwezig. De benodigde ontgraving voor de parkeergarage blijft beperkt. Visueel is de palenwand geen aantrekkelijke oplossing voor deze locatie.

6.13 COMBIWAND

6.13.1 algemeen

De combiwand kan als 4e alternatief worden genoemd. De combiwand is te beschouwen als een bijzondere vorm van een damwand. De wand wordt uitgevoerd in stalen buispalen die als primaire elementen fungeren, waartussen damwandplanken worden aangebracht. Op de buispalen zijn damwandsloten gelast. De buizen zijn in elke lengte en diameter verkrijgbaar en kunnen desgewenst worden samengesteld uit op elkaar gelaste buizen. Buisprofielen bezitten een grote stijfheid tegen wringing.

Combiwanden zijn daardoor goed toepasbaar voor grondkerende constructies. Grote kerende hoogten en aanzienlijke belastingen kunnen worden opgenomen.

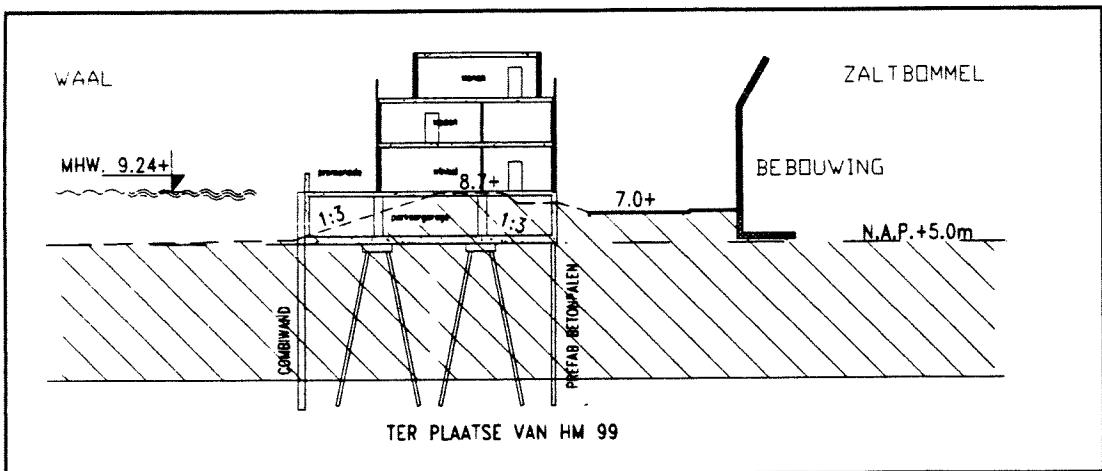
6.13.2 Combiwand in standaarddoorsnede 1 en 2

6.13.2.1 Standaarddoorsnede 1

Wordt de totale constructie ingepast in standaarddoorsnede 1 ter plaatse van de bestaande dijk, dan geeft dat een aanzicht zoals is aangegeven in figuur 50.

Zoals reeds eerder is aangegeven is de Waalkade een beschermt stadsgezicht en vormt een Multifunctionele waterkering geen reële oplossing voor deze locatie.

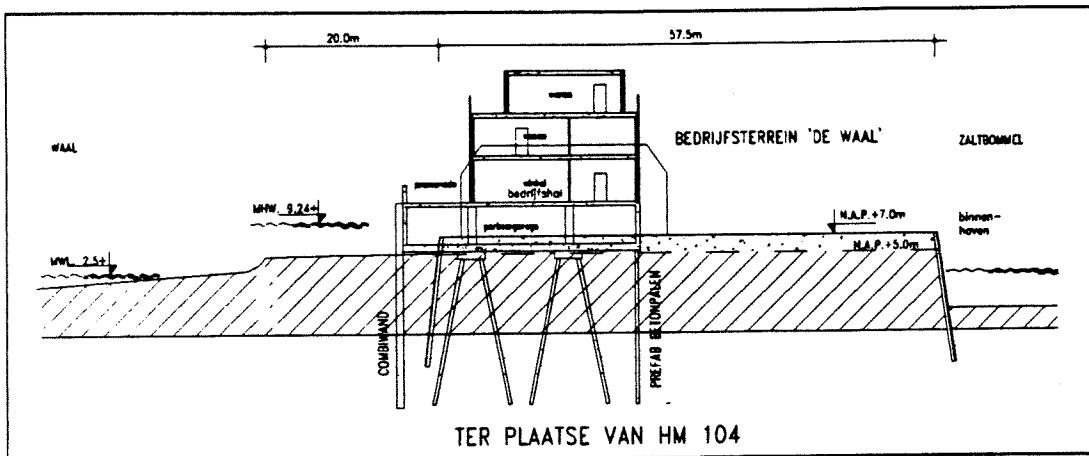
Alleen een combiwand in de kern van de dijk is wel een oplossing. Aangezien er veel goedkopere alternatieven voor handen zijn is voor dijkverbetering is deze oplossing weinig aantrekkelijk.



Figuur 50, combiwand in standaarddoorsnede 1

6.13.2.2 Standaarddoorsnede 2

Ter plaatse van het bedrijfsterrein is de Multifunctionele waterkering wel een reële mogelijkheid. De locatie van de waterkering ligt aan de rand van het huidige bedrijfsterrein. De bestaande bebouwing wordt gesloopt. Achter de waterkering ontstaat ruimte, ca. 10.000 m², voor stedebouwkundige invulling.



Figuur 51, combiwand in standaaddoorschijnede 2

6.13.3 Haalbaarheid combiwand

De combiwand komt evenals een diepwand of een palenwand goed tot zijn recht bij afdracht van hoge verticale belastingen en bij diepe ontgravingen.

Hoge belastingen zijn bij dit ontwerp aanwezig.

Omdat de benodigde ontgraving voor de parkeergarage beperkt blijft en visueel de combiwand geen aantrekkelijke oplossing is voor deze locatie, Zal deze variant niet de voorkeur hebben als toepassing voor de Multifunctionele waterkering in Zaltbommel.

6.14 TOETSINGSCRITERIA WATERKERINGSVARIANTEN

Om tot een verantwoorde keuze te komen kan een aantal criteria worden opgesteld waaraan de waterkeringsvarianten worden getoetst. Daarnaast kan worden bekeken of De criteria zijn op te splitsen in :

1. Constructieve criteria
2. Criteria met betrekking tot de wensen en eisen van gemeente en polderdistrict.
3. Criteria met betrekking tot de kosten

In de eerste en tweede criteria kunnen verschillen zitten. Die zijn meestal oplosbaar door aanpassing van de kostencriteria. De kostencriteria zijn meestal maatgevend voor de keuze. De goedkoopste variant is doorslaggevend voor de keuze.

De toetsingscriteria waarop de varianten beoordeeld worden, zijn de volgende:

TOETSINGSCRITERIA	
1	Stabiliteit / stijfheid constructie
2	Uitvoering eenvoudig / ingewikkeld
3	Aansluiting constructie op omgeving
4	Bouwfasering
5	Bouwhinder omgeving
6	Duurzaamheid constructie
7	Beheer/ onderhoud
8	Financiële aspecten
9	Ontwikkelingsperspectief waterkering

- stabiliteit / stijfheid constructie

De stabiliteit en de stijfheid en daarmee de sterke van de constructie is een belangrijk aspect voor de keuze van het ontwerp. De gewaarborgde veiligheid die afhankelijk is van de faalkans van de waterkeringsconstructie is gekoppeld aan de sterke van de constructie. Grote stabiliteit / stijfheid van de constructie is met (++) gewaardeerd in de Multi Criteria Evaluatie (=MCE.)

- uitvoering eenvoudig / ingewikkeld

Tijdens de uitvoering van het project wordt de primaire waterkering tijdelijk opgevangen door een hulpwaterkering. De hulpkering wordt in de rivier gemaakt. Om de hinder voor de scheepvaart en de omgeving tot een minimum te beperken is het van belang de bouwtijd zo kort mogelijk te houden. De aanwezigheid van ruimte voor opslag van materiaal en materieel kan hiertoe bijdragen.

De eenvoud van een gekozen bouwmethodiek voor het waterkeringsontwerp is in de weging van de MCE met (++) gewaardeerd.

- aansluiting constructie op omgeving

Is de aansluiting van de nieuwe waterkering op de huidige waterkering, de z.g. overgangsconstructie, goed realiseerbaar? Dit kan door de beide waterkeringen geleidelijk in elkaar over te laten lopen. Leent het ontwerp zich hiervoor? Is er voldoende ruimte in het ontwerp? Het waterkeringsontwerp met de meeste vrijheid om deze problemen te kunnen ondervangen wordt in de MCE het hoogst gewaardeerd (++) .

- **bouwfasering**

Bestaat de mogelijkheid om de bouw gefaseerd uit te voeren dan blijft de bouwhinder beperkt. Bouwfasering zorgt voor een meer flexibel bouwproces. Door de fasering is het bouwmateriaal niet in een keer benodigd. Daardoor wordt het materiaal niet in een keer maar in kleine gedeeltes aangevoerd en is er minder ruimte voor opslag benodigd. Mogelijkheden tot bouwfasering is gewaardeerd met (++)�.

- **bouwhinder omgeving**

De hinder voor de omgeving tijdens de bouw dient geminimaliseerd te worden. Het constructiealternatief dat minimale bouwhinder veroorzaakt is in de MCE met (++) aangegeven.

- **duurzaamheid constructie**

De duurzaamheid van de constructie is van invloed op de faalkans van de waterkering. De faalkans is het belangrijkste aspect van de primaire waterkering. Wordt de faalkans overschreden, dan wordt de verwachte veiligheid tegen inundatie niet meer gehaald en voldoet de waterkering niet meer aan gestelde eisen. Een constructie waarvan de duurzaamheid lang is, wordt in de MCE met (++) aangegeven.

- **beheer/ onderhoud**

Om de waterkering in optimale staat te houden moet er onderhoud worden verricht. Bij een ontwerp wat goed toegankelijk en bereikbaar is zal het onderhoud goed uitgevoerd kunnen worden wat de levensduur van de waterkering ten goede komt. Een ontwerp wat goed beheerd kan worden en waar het onderhoud makkelijk uitgevoerd kan worden wordt in de MCE gewaardeerd met (++)�.

- **financiële aspecten**

De kosten spelen bij de keuze van het waterkeringsontwerp een grote rol. In eerste instantie zal het alternatief dat gepaard gaat met de laagste (bouw)kosten het hoogst gewaardeerd worden (++)�. N.B. het goedkoopste alternatief hoeft op termijn niet altijd het goedkoopst te zijn. Zo kunnen de kosten op termijn van bijvoorbeeld het onderhoud van een duurder alternatief lager uitpakken dan de kosten op termijn van het goedkoopste alternatief.

- **ontwikkelingsperspectief waterkering**

Hoe zijn de mogelijkheden tot uitbreiding van de nieuwe waterkering? En bestaat er de mogelijkheid om de waterkering eenvoudig aan te passen op de toekomstige eisen. Bijvoorbeeld aanpassen van de kerende hoogte. Goede mogelijkheden hiertoe zijn gewaardeerd met (++) in de MCE.

6.15 MULTICRITERIA EVALUATIE CONSTRUCTIEF ONTWERP

Voor het constructieve ontwerp is een Multi Criteria Evaluatie toegepast om tot een gewogen keuze te komen voor het ontwerp dat het best aan de gestelde criteria voldoet. Er kan een hoofdonderscheid gemaakt worden tussen de horizontale combinatie van functies (A t/m E) en het verticaal combineren van functies. De Multi Criteria Evaluatie gaat ervan uit dat de constructievariant, daar waar dat van invloed is, ter plaatse van het industrieterrein van Busker wordt uitgevoerd.

Alternatief		dijk ver- zwaering	diepwand	damwand	damwand	palenwand	combiwand
criteria		WEGINGS FACTOR					
1	stabilité/stijfheid constructie	1	0	4,5	1	2,5	4,5
2	uitvoering eenvoudig/ingewikkeld	1	5	0,5	4	2,5	0,5
3	aansluiting constructie op omgeving	1	5	2	2	2	2
4	bouwfase(n)	0,5	5	0,5	2	3,5	0,5
5	bouwhinder omgeving	0,5	0,5	4,5	0,5	2,5	4,5
6	duurzaamheid constructie	1	0	4,5	2,5	2,5	1
7	beheer/onderhoud	1	0	3,5	3,5	3,5	3,5
8	financiële aspecten	5	0	2,5	5	4	2,5
9	ontwikkelingsperspectief waterkering	1	5	2	4	2	2
10	waterdichtheid ontwerp	1	2	4,5	4,5	2	2
11	mogelijkheid MFW	1	0	4,5	4,5	3	2
TOTAALSCORE			19,75	41	52,25	43	36
							18

Tabel 10, Multi Criteria Evaluatie ten behoeve van keuze constructievariant

1. Een dijkverzwarening is minder stabiel dan een beton of staal constructie. De kans op verweking van het buitentalud van de waterkering blijft aanwezig. De diepwand en de palenwand zijn de meest stabiele constructie-vormen. De betonwand gecombineerd met kwelscherms moet zijn stabiliteit uit de schoorpalen realiseren.
2. Er moet eerst een kistdam gemaakt worden alvorens gestart kan worden met de bouw van de diepwand en palenwand. Bij het gebruik van betonnen damwanden of een combiwand moet als extra bewerking een voorzetwand geplaatst worden.
3. Aansluiting van de dijkverzwarening op de bestaande situatie is van alle genoemde alternatieven het meest eenvoudig te realiseren. De aansluiting van de overige varianten op de traditionele dijk blijft lastig door de verschillen in stijfheid.
4. De dijkverzwarening laat zich makkelijk faseren. Per dijkvak kan de dijk zonder extra bewerkingen worden verzwaaard. De diepwand en palenwand kunnen alleen in de grond gemaakt worden en dat moet overal aanwezig zijn. Op plaatsen waar dat niet het geval is zoals ter plaatse van de haven is dit erg bewerkelijk.
5. Dijkverzwarening zorgt vanwege de benodigde breedte (zowel binnen- als buitendijks) voor veel bouwhinder in de omgeving.
6. De duurzaamheid hangt af van de gebruikte materialen en de detaillering. De duurzaamheid van de dijkverzwarening is het minst ten opzichte van de overige

- varianten. De duurzaamheid van beton is beter dan dat van staal. Beton kan meer belasting opvangen dan grond.
- 7. Het onderhoud van beton is minder dan van staal. Grondconstructies vragen het meeste onderhoud (beplanting, rattengangen e.d.).
 - 8. financiële aspecten: Grondverzet is goedkoper dan de bouw van betonconstructies. Dijkverzwareing zal het goedkoopste alternatief zijn. Worden echter de baten van een multifunctionele waterkering in de beschouwing meegenomen dan is een traditionel dijk geen interessante optie. Zoals uit de kostencalculatie in hoofdstuk 8 zal blijken is de betonwand gecombineerd met een stalen kwelscherf de meest interessante oplossing.
 - 9. Ontwikkelingsperspectief van de dijkverzwareing levert de beste mogelijkheden. Op dit punt vormt de dijk geen probleem voor de toekomst, zij het dat de aanlegbreedte extra aandacht vraagt. De betonnen damwand, een diepwand of een palenwand kunnen verhoogt worden door een deel op te storten. Ervan uitgaande dat de wand alternatieven wordt doorgesteld tot 0,5m boven MHW. Kan de vorm van de wand bij het opstorten, proberen opleveren. Bij de combiwand kan een stuk worden opgelast. De betonwand gecombineerd met een stalen kwelscherf kan van de wandalternatieven nog het beste worden verhoogd.
 - 10. De diepwand of een betonwand met een stalen kwelscherf levert de beste waterdichtheid. Een dijkverzwareing is minder waterdicht dan de vorige alternatieven. Een toepassing van betonnen damwanden of een palenwand kan problemen opleveren ter plaatse van de verbindingen. Wordt een beweegbare kering in ogenschouw genomen dan heeft men het risico dat het mechanisme van de kering faalt bij het gevaar voor hoog water.
 - 11. De mogelijkheid om bovengenoemde alternatieven tot een Multi Functionele Waterkering uit te werken verschilt nogal. De palenwand en de combiwand zijn een goede basis voor een multifunctionele waterkering maar vormen esthetisch gezien nogal een grove oplossing. Een betonnen damwand en een diepwand moeten worden afgewerkt met een voorzet wand. De betonwand gecombineerd met een stalen kwelscherf vormt de beste oplossing.

6.15.1 Keuze constructief ontwerp

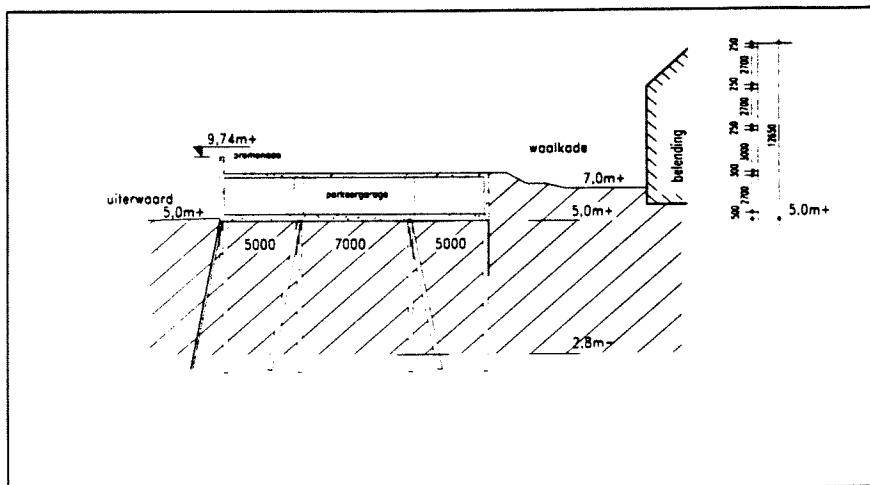
Uit de MCE is één constructietype als meest geschikte naar voren gekomen. Dit constructietype wordt als basis gebruikt om de Multifunctionele Waterkering verder uit te werken. In het volgende hoofdstuk wordt gekeken naar een optimalisering van de MFW en of een combinatie van verschillende constructietypen beter voldoet.

Uit de Multi Criteria Evaluatie komt naar voren dat een betonwand met een damwand als kwelscherf als meest aantrekkelijk alternatief op de locatie kan worden toegepast.

• palen jach.

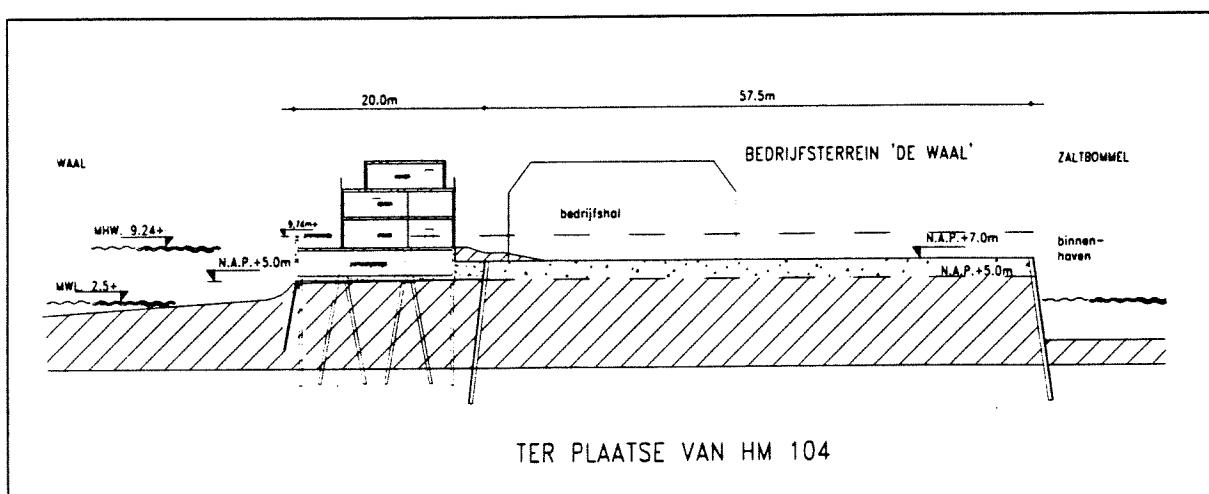
KEUZE

De keuze voor de multifunctionele waterkering ter plaatse van de Waalkade is in onderstaande figuur aangegeven. De waterkering wordt gecombineerd met een parkeergarage en een promenade. Op deze wijze wordt de Waalkade auto-vrij gehouden. De huidige buitendijkse parkeerplaatsen komen ondergronds in dit ontwerp terug. De woningen zijn achterwege gelaten om het beschermd stadsgezicht niet aan te tasten.



Figuur 51a, ontwerp MFW t.p.v. Waalkade

Op het bedrijfsterrein 'de Waal' kan de multifunctionele waterkering in zijn volledigheid worden toegepast. De waterkering bestaat uit een betonnenwand met een stalen damwand als kwelscherm. De fundering bestaat uit prefab betonnen (schoor)palen vierkant 450 mm. De palenjukken nemen de horizontale belasting ten gevolge van hoogwater op.



Figuur 51b, ontwerp MFW ter plaatse van het bedrijfsterrein 'De Waal'

7. RIVIERKUNDIGE PROBLEMEN

7.1 INLEIDING

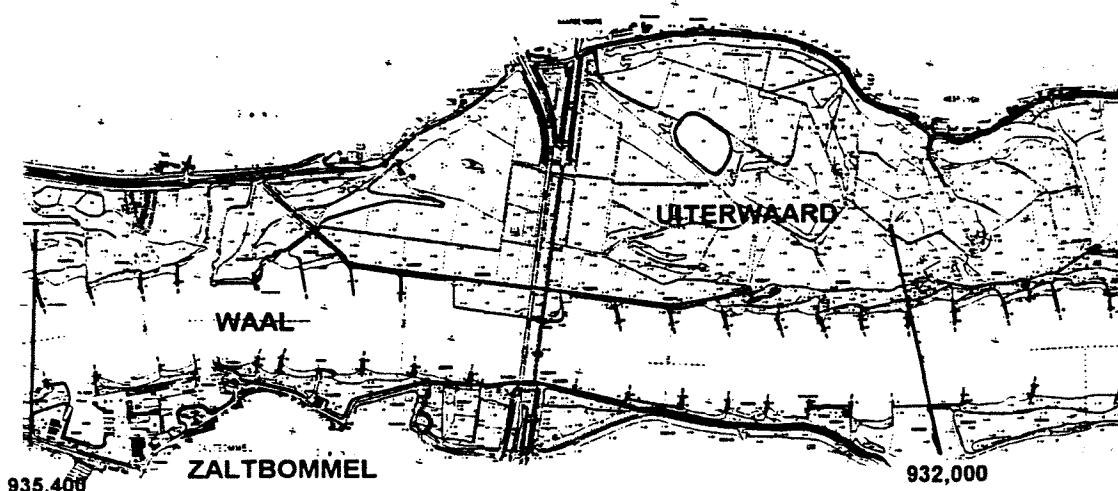
Door het ‘binnendijken’ van het bedrijfsterrein ‘De Waal’ wordt bij het optreden van hoogwater plaatselijk het dwarsprofiel van de rivier verkleind. Door deze plaatselijke verkleining van het winterbed zou de waterstand van de rivier, bovenstrooms kunnen toenemen. De wijziging van het hoogwaterbed wordt in dit hoofdstuk schematisch bekeken aan de hand van de theorie voor verhanglijnen en de lange golf theorie. Mogelijke oplossingen en verzachtende omstandigheden komen in dit hoofdstuk eveneens ter sprake.

Bij bebouwing in de uiterwaarden, spelen bij de bepaling van de waterstand ten gevolge van een hoogwatergolf, vele onbekende externe factoren een rol. Daarbij moet men denken aan variërende bodemruwheid, bodemsamenstelling, wisselende stroomvoerende breedtes, aanwezigheid van groene rivieren en wisselende kombergingsoppervlakten bij verschillende waterstanden. De optredende waterstanden bij hoogwater worden berekend met behulp van uitgebreide rekenprogrammatuur. Een voorbeeld daarvan is het één-dimensionale rekenmodel (SOBEK) voor simulatie van de waterbeweging en de morfologie van de Rijntakken, ontwikkeld door het RIZA. Daarbij worden zoveel mogelijk externe factoren, in de vorm van invoerparameters, in de berekening meegenomen. Dit maakt het probleem zeer complex. Een exacte voorspelling van de optredende waterstand bij hoogwater blijft daarom lastig. Dit blijkt maar eens temeer uit de voorspellingen die zijn gedaan bij het laatste hoogwater in januari '95. De bandbreedte tussen voorspelde- en optredende waterstand bedroeg circa tien centimeter. Voor Zaltbommel was de voorspelde waterstand 7,52m+NAP de optredende waterstand bedroeg 7,44m+NAP [19-tabel6.7].

Invloed van de bebouwing in het projectgebied op de waterstand wordt in deze rapportage op twee manieren beschouwd:

- De eerste beschouwing geschied op basis van het studieproject Integrale Verkenning Rijntakken (IVR).
Dit studieproject is van 1993 tot 1996 uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat en analyseert de effecten op de waterstand tijdens hoogwater, van de inrichtingsvarianten van de Rijntakken. Variabelen uit deze studie zijn gebruikt om de waterstanden te berekenen aan de hand van de theorie voor verhanglijnen.
- De tweede beschouwing geschied op basis van de theorie voor hoogwatergolven. In paragraaf 7.4 wordt het probleem aan de hand van bovengenoemde theorie verder uitgewerkt. Om uitspraak te kunnen doen over de invloed van bebouwing in het projectgebied wordt het probleem zoveel mogelijk als verantwoord, vereenvoudigd.

7.2 PROJECTGEBIED



Figuur 55, De Waal van kmr 932.000 - 935.400

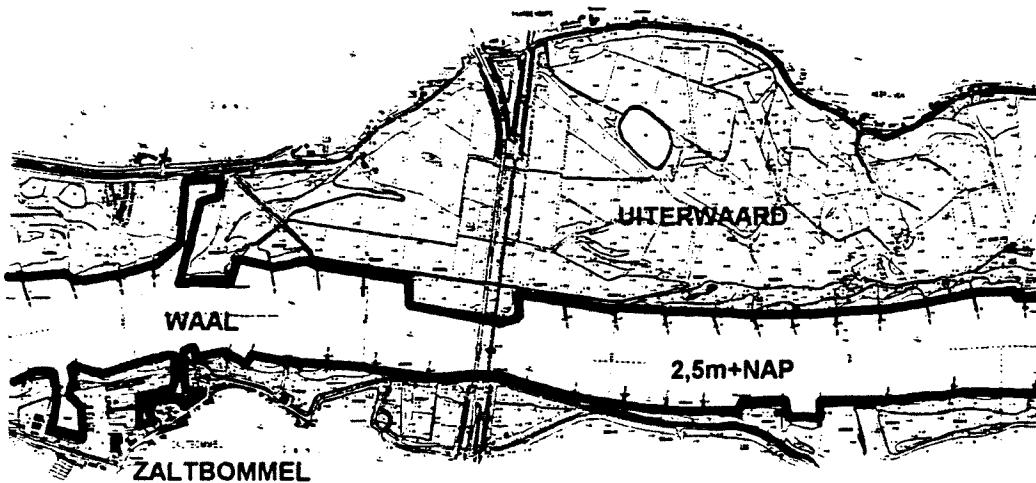
Voor het waterbouwkundige aspect van dit verslag is het studiegebied afgebakend tot kilometerraai 932.000 tot kilometerraai 935.400. In bovenstaande figuur is dit projectgebied aangegeven. De figuur laat duidelijk de strekdammen zien waarmee de Waal is gekanaliseerd. De gemiddelde stroomvoerende breedte tussen noordelijk en zuidelijk gelegen dammen bedraagt 250 meter. De afstand tussen de zomerdijken is circa 400 meter. De afstand tussen de winterdijken varieert tussen de 800 en 1500 meter. Het maaiveldniveau van de uiterwaarden is ook aan grote variatie onderhevig en schommelt tussen de NAP+3,0m en de NAP+6,0m.

7.2.1 Stroom voerende breedtes bij verschillende waterstanden

Bij de huidige afmetingen van het rivierbed en na afronding van het dijkversterkingsprogramma in het jaar 2000 bedraagt de afvoercapaciteit van de Rijn bij Lobith **15000 m³/s**. Dit is als uitgangspunt voor de maatgevende afvoer aangehouden. Op het splitsingspunt 'het Pannerdensch kanaal' wordt de maatgevende afvoer verdeeld in: 9569 m³/s naar de Waal, 3150 m³/s naar de Neder-Rijn en 2278 m³/s naar de IJssel [15.]

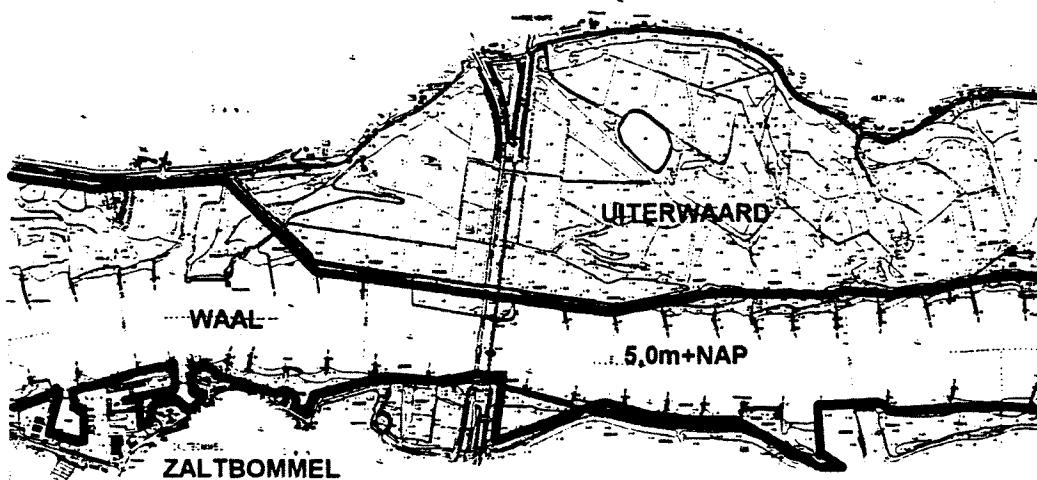
Om inzichtelijk te maken welke delen van het projectgebied bij gegeven waterstand onder water lopen is in de volgende figuren een aantal stroomvoerende breedtes aangegeven bij typerende waterhoogtes:

- Normaal peil,
- 5,0m+NAP,
- 7,0m+NAP en
- Maatgevend Hoogwater.



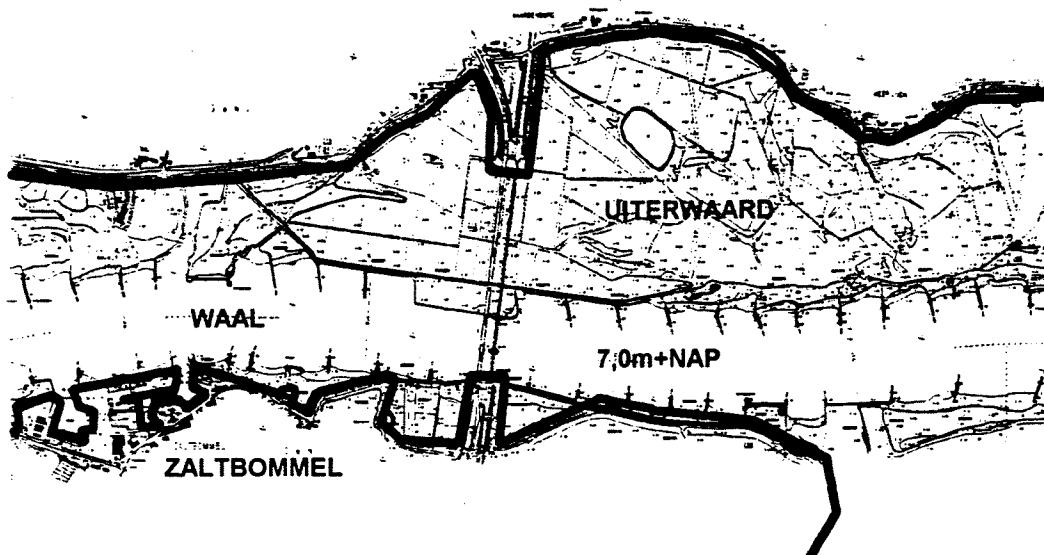
Figuur 56, stroomvoerende breedte bij een normaal waterpeil

In figuur 56 is de stroomvoerende breedte van het beschouwde projectgebied in kaart gebracht. Het normale waterpeil bedraagt 2,5m+NAP. De bijbehorende gemiddelde stroomvoerende breedte bedraagt 250 meter. De contouren van de waterspiegel zijn in de figuur met een dikke zwarte lijn aangegeven.



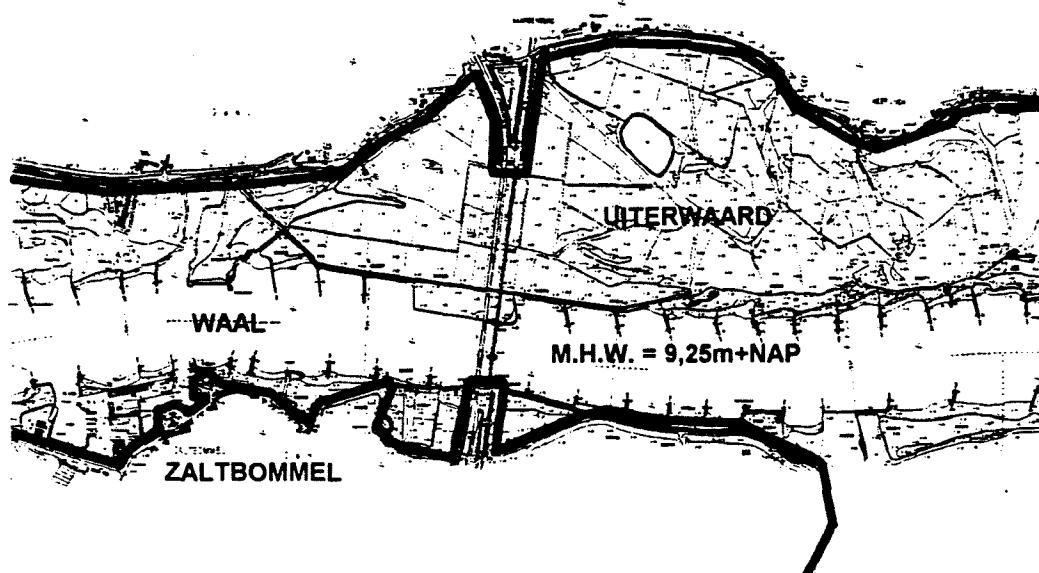
Figuur 57, stroomvoerende breedte bij een waterstand van 5,0m+NAP

In figuur 57 is de stroomvoerende breedte aangegeven bij een waterstand van 5,0m+NAP. Bij deze waterstand bevindt het water zich dan nog tussen de zomerkaden voor zover deze aanwezig zijn in het projectgebied. Het laagste punt van de zomerkade aan de Noordelijke oever bevindt zich op 5,05m+NAP. Bij hogere waterstanden lopen de uiterwaarden onder water.



Figuur 58, stroomvoerende breedte bij een waterstand van 7,0m+NAP

Figuur 58 laat een stroomvoerende / bergende breedte zien bij een waterstand van 7,0m+NAP. De uiterwaarden fungeren als kombergend oppervlak. Ter plaatse van de haven van Zaltbommel blijft de situatie gelijk aan die van een waterstand van 5,0m+NAP. Het bedrijfsterrein blijft bij deze waterstand nog vrij van water.



Figuur 59, stroomvoerende breedte bij maatgevend hoogwater

Figuur 59 toont de situatie bij Maatgevend Hoogwater (9,25m+NAP.) In de uiterwaarden staat gemiddeld 5,5 meter water. Nabij het haventje van Zaltbommel staat het bedrijfsterrein 'De waal' 2,0 meter onder water.

Voor de grote rivieren in Nederland is de Rivierenwet van toepassing. Het gehele rivierbed (tussen de dijken) valt onder het beheer van Rijkswaterstaat (=RWS.) Voor het aanbrengen van wijzigingen in het rivierbed, in dit geval het hoogwaterbed, is toestemming van Rijkswaterstaat nodig. Bij een plaatselijke vernauwing (hetgeen veelvuldig voorkomt in de grote rivieren. Te denken aan brugpijlers of op- en aanritten van bruggen), worden meestal compenserende maatregelen geëisfd door RWS. Dit kan door het bovenstrooms verlagen van het hoogwaterbed.

7.3 VERHANGLIJNEN

Met behulp van de theorie voor verhanglijnen [15] kan het verloop van de waterspiegel op de rivier worden geschatst. Enkele kenmerkende punten kunnen met deze theorie worden berekend. Uitgangspunt voor toepassing van de theorie is dat het piëzometrisch niveau van de rivier in elke dwarsdoorsnede bij benadering constant kan worden verondersteld. De stroomlijnen in de waterloop zijn dan nauwelijks gekromd. Er wordt dan ook uitgegaan van stationaire stroming. Dit is het geval bij hoogwatergolven welke een periode van enkele dagen hebben. Bij wijzigingen in de dwarsdoorsnede door een ingreep op de rivier is met deze theorie de invloed op de waterstand relatief eenvoudig te berekenen. Daarbij moet nogmaals worden opgemerkt dat de berekening uitgaat van een sterke schematisatie van de werkelijkheid. Voor de berekening benodigde parameterwaarden worden dezelfde waarden gehouden als die zijn gebruikt in het IVR-rapport nr.15 [17]. Dit rapport beschrijft de resultaten van de studie naar de invloed van maatregelen die hoge waterstanden bij Maatgevend hoogwater moeten reduceren.

7.3.1.1 Verhanglijnvergelijking

Aan de basis van de theorie van verhanglijnen staat *de verhanglijnvergelijking*.

De vergelijking luidt:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_b h^3 - \frac{\lambda q^2}{g}}{h^3 - \frac{\alpha q^2}{g}} \quad (\text{met } \lambda = g/C^2 \text{ wrijvingscoëfficient (dimensieloos)})$$

Na enig omwerken van deze formule wordt gevonden:

$$\frac{dh}{dx} = i_b \frac{h^3 - h_e^3}{h^3 - h_g^3}$$

De laatste vergelijking is bekend als *de vergelijking van Bélanger* en beschrijft de verandering van waterdiepte (dh) ten opzichte van de bodem, per lengte eenheid (dx), in dit geval de axiale richting van de rivier.

Bij laaglandrivieren heeft men te maken met stroming met lage Froude-getallen.

Daarbij is de waterdiepte (h) veel groter dan de grensdiepte (h_g).

De formule van Bélanger kan dan worden benaderd met:

$$\frac{dh}{dx} = i_b \left[1 - \frac{h_e^3}{h^3} \right]$$

Met het bodemverhang $i_b > 0$ kan uit de formule worden afgeleid dat als

$h < h_e$: de waterdiepte in de stroomrichting afneemt ($d_h/d_x < 0$) en als

$h > h_e$: de waterdiepte in de stroomrichting toeneemt ($d_h/d_x > 0$).

Afhankelijk hiervan stelt zich een verhanglijn in die convex of concaaf van vorm is.

Door bovengenoemde variabelen te bepalen wordt het verloop van de waterspiegel bepaald.

Uit de berekeningen (zie bijlage B10.1) blijkt dat bij het optreden van maatgevend hoogwater (MHW), de waterdiepte (h) kleiner is dan de evenwichtsdiepte (h_e). De bijbehorende verhanglijn is concaaf van vorm en wordt aangeduid als een verhanglijntype M2.

Aan de hand van bovengenoemde theorie is de invloed van de bouw van de multifunctionele waterkering (=MFW) op de waterstand ter plaatse van een bovenstrooms gelegen punt 'p' bepaald.

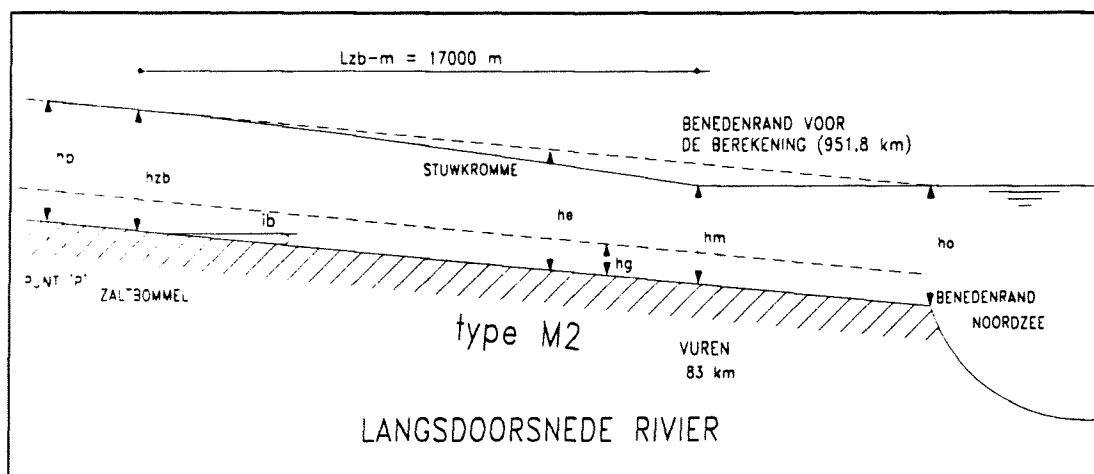
Punt 'p' is aangenomen op 32750m. bovenstrooms vanaf de benedenrand, in dit geval ter plaatse van Vuren (zie figuur 61).

De waterstand in het punt 'p' is berekend voor de uitgangssituatie, dit is de bestaande situatie waarbij nog géén MFW aanwezig is.

Vervolgens is de waterstand in punt 'p' berekend voor de nieuwe situatie. Daarbij is de MFW ter plaatse van Zaltbommel gebouwd. De lengte van de MFW bedraagt 750 meter.

Het verschil tussen beide waterstanden geeft de invloed aan van de bouw van de multifunctionele waterkering op de waterstand.

In figuur 61 wordt schematisch aangegeven waar zich de verschillende waterdieptes bevinden die in de berekeningen zijn gebruikt. Op basis hiervan wordt het waterstandsverloop geschat bij maatgevend hoogwater.



Figuur 61, langsdoorsnede rivier de Waal, initiële situatie

Voor de berekening van de verhanglijnen zijn waarden van het IVR [17] aangehouden:

Maatgevende afvoer bij Lobith : $15000 \text{ m}^3/\text{s}$

Voor een stabiel rekenverloop wordt een benedenstroomse randvoorwaarde opgelegd.

In dit geval is het de waterdiepte ter plaatse van de benedenrand (h_m).

Benedenrand op rivier de Waal ligt ter plaatse van Vuren.

Kilometernr. Vuren : 951,8 km

Kilometernr. Zaltbommel : 934 km

Afstand Vuren – Zaltbommel : $\sim 17000 \text{ m}$

Gemiddelde breedte (Bgem) : 950 m

Chézywaarde (C) : $45 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

Bodemverhang(ib) : $1,1 \cdot 10^{-4} [-]$

Q_{MHW} op de Waal : $9569 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{MHW} : 10,07 \text{ m}^2/\text{s}$$

Voor de waterdiepte t.p.v. benedenstroomse randvoorwaarde (=t.p.v. Vuren) is de volgende waterdiepte (h_m) berekend (zie bijlage B10 en verder) : 7,44 m

Uitgaande van bovengenoemde waarden wordt bij invulling in de formules voor de grensdiepte en de evenwichtsdiepte het volgende gevonden:

evenwichtsdiepte (h_e)	: 7,69 m
grensdiepte (h_g)	: 2,18 m

Er zijn twee berekeningen gemaakt:

- In de eerste berekening is het waterstandsverloop bepaald voor de uitgangssituatie, voor verschillende doorsnedes. Hierbij is de multifunctionele waterkering nog niet aanwezig.
- In de tweede berekening is de invloed van de multifunctionele waterkering bekeken. Daarbij is de vermindering van de stroomvoerende breedte in rekening gebracht.

7.3.1.2 Berekening uitgangssituatie

Voor de uitgangssituatie zijn de volgende waarden gevonden:

Q_H	$h_{monding}$	$h_{e(m-punt'p')}$	η_m	$\Lambda_{1/2}$	$\Lambda_{punt'p'}$	$\eta_{punt'p'}$	$h_{punt'p'}$
m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
9569	7,440	7,694	0,967	0,237	4,68E-01	0,992	7,629

Ruwheid	C =	45 m ^{1/2} /s	Stroomv.br	Bs =	950 m
Verhang	ib =	1,1E-04 -	Lengte b-m	Lbm =	32750 m
Doorstr.opp	dA/dh =	950 m			

Hieruit volgt dat bij het optreden van maatgevend hoogwater bij punt 'p', de waterdiepte 7,63m zal bedragen. Het debiet (Q_{MHW}) op de Waal is daarbij 9569 m3/s. En de gemiddelde stroomvoerende breedte bedraagt 950 m.

7.3.1.3 Berekening nieuwe toestand

In de berekening 'nieuwe toestand' is de invloed van de MFW ter plaatse van Zaltbommel meegenomen.

De berekening is opgesplitst in drie vakken:

- monding tot multifunctionele waterkering $L_{monding-MFW}$
- ter plaatse van de multifunctionele waterkering L_{MFW}
- multifunctionele waterkering tot punt 'p' $L_{MFW-punt'p'}$

Het eerste deel vanaf de monding tot aan de waterkering geeft de volgende waarden te zien:

Q_{MHW}	h_m	$h_{e(m-MFW)}$	η_m	$\Lambda_{1/2}$	Λ_{MFW}	η_{MFW}	h_{MFW}
m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
9569	7,440	7,694	0,967	0,237	2,43E-01	0,984	7,569

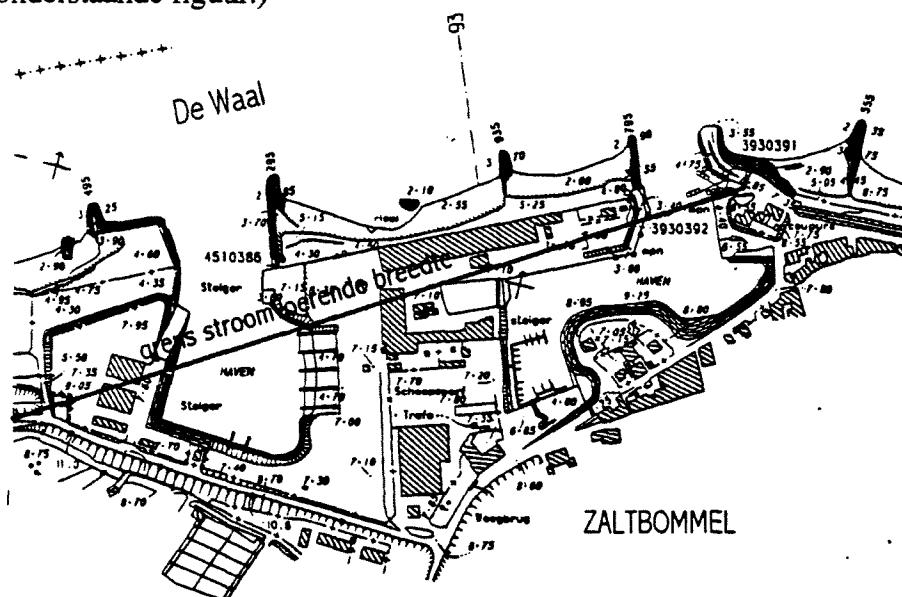
Ruwheid C = 45 m^{1/2}/s Stroomv.br Bs = 950 m
 Verhang ib = 1,1E-04 Lengte b-m Lbm = 17000 m

Het tweede deel over de lengte van de multifunctionele waterkering (=750 m.) geeft de volgende waarden:

Q _H	h _{MFW west}	h _{eMFW(w-o)}	η _{MFW west}	Λ _{1/2}	Λ _{MFW oost}	η _{MFW oost}	h _{MFW oost}
m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
9569	7,569	8,097	0,935	0,235	1,02E-02	0,937	7,585

Ruwheid C = 45 m^{1/2}/s Stroomv.br Bs = 880 m
 Verhang ib = 1,1E-04 Lengte b-m Lbm = 750 m
 Doorstr.opp dA/dh = 880 (= 950-70 m)

Over de lengte van de multifunctionele waterkering is een reductie van de stroomvoerende breedte van 70,0m in rekening gebracht. Deze waarde is het gemiddelde van het verschil tussen de grens van de stroomvoerende breedte en de voorzijde van de multifunctionele waterkering. Als grens voor de stroomvoerende breedte is ter plaatse van het bedrijfsterrein, is de rechte lijn van de kop van de Veerweg tot de nieuwe dijkverzwaring (Gamersche dijk) aangehouden (zie onderstaande figuur.)



Figuur 62, stroomvoerende breedte t.p.v. bedrijfsterrein 'de Waal'

Het derde deel vanaf de multifunctionele waterkering tot aan bovenstrooms gelegen punt 'p', geeft de volgende waarden:

Q _H	H _{zb}	h _{e(zb-MFW)}	η _{zb}	Λ _{1/2}	Λ _{MFW}	η _{MFW}	h _{MFW}
m3/s	M	M	[-]	[-]	[-]	[-]	m
9569	7,585	7,694	0,986	0,239	2,14E-01	0,992	7,635

Ruwheid C = 45 m^{1/2}/s Stroomv.br Bs = 950 m
 Verhang ib = 1,1E-04 Lengte b-m Lbm = 15000 m
 Doorstr.opp dA/dh = 950 m

Bij het optreden van maatgevend hoogwater zal ter plaatse van het bovenstrooms gelegen punt 'p', de waterdiepte **7,635m** bedragen. Het aangehouden debiet voor maatgevend hoogwater (Q_{MHW}) op de Waal in de berekening is 9569 m³/s.

Voor het overige tracé is de gemiddelde stroomvoerende breedte: 950 m.

7.3.2 Resultaat

Vergelijk van de resultaten van uitgangssituatie en nieuwe toestand laat zien dat de waterdiepte met 6 millimeter toeneemt:

Lengte monding tot punt 'p' bovenstrooms op de rivier	32750 m
---	---------

Waterstand met MFW ter plaatse van punt 'p':	7,635 m
Waterstand zonder MFW ter plaatse van punt 'p':	7,629 m
Verschil:	0,006 m

Uitgaande van deze verhoging kan men aan één van de volgende oplossingen denken om de verhoging tegen te gaan:

1. Zorgen dat het netto doorstromend oppervlak ongewijzigd blijft. Dit kan door de rivier plaatselijk te verdiepen. Nadelig effect hiervan is dat de minimale waterdiepte benedenstrooms van de verdieping maatgevend kan worden voor de scheepvaart.
2. Waar ook aan gedacht kan worden en misschien de meest eenvoudige oplossing is, is om het tracé van de MFW ter hoogte van het bedrijfsterrein 'de Waal' te verplaatsen richting stad. Daarbij wordt tegemoet gekomen aan de beleidsnota 'ruimte voor de rivier' en kan het netto stromendvoerende breedte worden gehandhaafd.
3. Bovenstrooms de rivier verbreden. Hierdoor wordt de verhoging bovenstrooms van de verbreding teniet gedaan. Probleem hierbij is dat er meestal geen ruimte is om de verbreding uit te voeren. Zeker als dit buiten de gemeente-grenzen van Zaltbommel moet gebeuren kan dit tot (bestuurlijke) problemen leiden.

Vraag is of berekende verhoging daadwerkelijk optreedt. De berekening gaat uit van een gemiddelde stroomvoerende breedte van 950m. In de huidige situatie is de stroomvoerende breedte met 800 m, minder dan de gemiddelde breedte die in de berekening op basis van de parameterset van het IVR is aangehouden. Een versmalling is in de uitgangssituatie reeds aanwezig. Netto verandert er minder dan in de berekening wordt gesuggereerd.

Volgens de RWS wordt dié breedte van een rivier tot stroomvoerende breedte meegerekend als de stroomsnelheid ter plaatse meer dan 1,0 m/s bedraagt. Dat zal voor de volledige breedte van het bedrijfsterrein 'de Waal' loodrecht op de rivier-as in de uitgangssituatie niet het geval zijn. Bij de bouw van de Multifunctionele waterkering op het bedrijfsterrein 'de Waal' gaat daarom voornamelijk kombergend oppervlak verloren. Het bedrijfsterrein ligt hoofdzakelijk in de stroomschaduw van de rivier. Een deel van het oppervlak van het bedrijfsterrein zal bijdragen aan de stroomvoerende breedte, bij maatgevend hoogwater wel te verstaan.

Het maaiveld van het bedrijfsterrein ligt op NAP+7,0m. In de berekening is dit niet meegenomen. De berekende toename van de waterstand van 6 millimeter zou nog gereduceerd kunnen worden. Bij het versmallen van de stroomvoerende breedte in de berekening is ervan uitgegaan dat de diepte van het deel van het bedrijfsterrein dat wél bijdraagt aan de stroomvoerende breedte, gelijk is aan de gemiddelde diepte van de rivier (= NAP+3,18m) in plaats van de NAP+7,0m in de huidige situatie. De aanwezige stroomvoerende breedte in de uitgangssituatie is dus kleiner dan in de berekening in rekening is gebracht.

Het totale volume aan water dat wordt geborgen tijdens maatgevend hoogwater bedraagt circa 500000 m³. Door dit volume elders terug te brengen, verandert er kombergingstechnisch, weing. Dit kan bijvoorbeeld door het recreatieplas langs de rivier de Waal, aan de gemeentelijke Noord-oost grens met ca. 1,5m te verlagen.

7.4 HOOGWATERGOLVEN

Uit de berekening in de voorgaande paragraaf blijkt dat de reductie van de stroomvoerende breedte een verhoging van de waterstand in punt ‘p’ van 6 millimeter zal opleveren. Het grootste deel van het bedrijfsterrein ligt in de stroomschaduw van de rivier en zal voornamelijk bijdragen aan de komberging van de rivier. Aan de hand van de theorie van hoogwatergolven wordt bekeken wat de invloed is van het verlies van kombergend oppervlak bij de bouw van de multifunctionele waterkering.

7.4.1 Theorie hoogwatergolven

Een Hoogwatergolf heeft een geleidelijke stijging en daling van de waterspiegel in enkele dagen als kenmerk. Als tijdsschaal kan 4000 minuten worden aangehouden. Bij lange golven met een vrije waterspiegel spelen de weerstand en/of de traagheid een belangrijke rol in de bewegingsvergelijking. De traagheidsterm speelt een rol als er veranderingen plaatsvinden op een korte tijdsschaal. Bij de weerstandsterm is dit andersom.

Bij hoogwatergolven als lange golftype, overheerst de weerstand sterk in de bewegingsvergelijking. De traagheidsterm ($\delta u/\delta t$) is verwaarloosbaar.

7.4.1.1 lange-golf vergelijkingen

Voor de theorie van hoogwatergolven gaat men uit van een stelsel lange-golf vergelijkingen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de volgende differentiaalvergelijkingen:

1. de bewegingsvergelijking,

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A_s} \right) + g A_s \frac{\partial Z_1}{\partial x} + \frac{g}{C^2} \frac{Q|Q|}{A_s R} = 0$$

2. de continuïteitsvergelijking.

$$B \frac{\partial Z_1}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

De theorie rondom deze vergelijkingen wordt behandeld in bijlage B11.

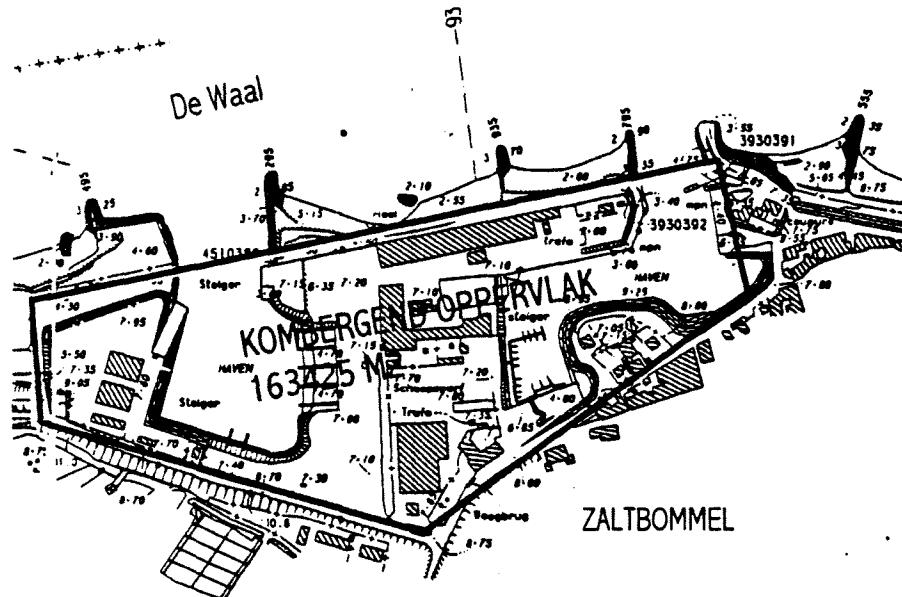
Bij de bouw van de multifunctionele waterkering zal ter plaatse van het bedrijfsterrein ‘de Waal’ het kombergingsoppervlak worden gereduceerd.

Om de invloed van het verdwijnen van het kombergingsoppervlak te bepalen, staan bovengenoemde vergelijkingen aan de basis voor de berekening.

Het kombergingsoppervlak kan geschreven worden als:

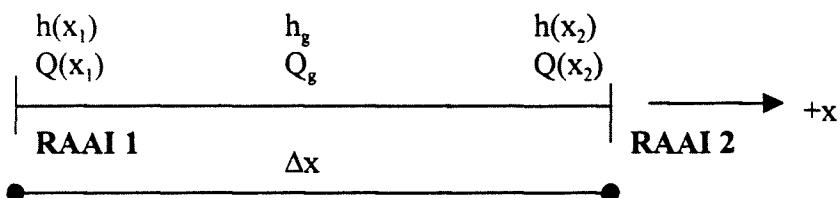
$$\Delta F = \int_{x_1}^{x_1 + \Delta x} B dx \quad [m^2]$$

Het berekende kombergingsoppervlak van het bedrijfsterrein ‘de Waal’ bij maatgevend hoogwater bedraagt: 163425 m².



Figuur 63, kombergend oppervlak ter plaatse van het bedrijfsterrein

Het riviervak ter plaatse van het bedrijfsterrein is geschematiseerd als een gedeelte van een open leiding:



lengte riviervak (Δx): 2500 meter
gemiddelde breedte: 950 meter

Voor de kombergingsberekening is bewegingsvergelijking en de continuïteitsvergelijking omgewerkt naar de volgende formules:

$$Q(x_2) - Q(x_1) = -\Delta F \frac{dh_g}{dt} \quad \text{en}$$

$$h(x_2) - h(x_1) = -\frac{1}{g(A_s)_g} \left[\Delta x \frac{dQ_g}{dt} + Qu|_{x2} - Qu|_{x1} \right] - \frac{\Delta x}{(C^2 A_s^2 R)_g} Q_g |Q_g|$$

De eerste formule geeft de invloed van het kombergingsoppervlak op het debiet.
De tweede formule beschrijft het waterstandsverschil tussen de twee raaien.

In de tweede formule is de bijdrage van de lokale traagheidsterm, de advectieve traagheidsterm en de weerstandsterm op de waterstandsverandering goed waar te nemen.

Met behulp van peilbuismetingen, tijdens een hoogwatergolf uit het verleden, is gevonden dat de waterspiegelstijging in vijf dagen vier meter bedroeg.

7.4.2 Resultaten

In bijlage B11 is de berekening op basis van bovenstaande formules bijgevoegd.

$Q(x_2) - Q(x_1)$

De invloed van de komberging op het debiet blijkt slechts een debietsverschil ($Q(x_2) - Q(x_1)$) van $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ op te leveren. Op een debiet van $9569 \text{ m}^3/\text{s}$ bij maatgevend hoogwater is deze waarde van $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ verwaarloosbaar.

$h(x_2) - h(x_1)$

De waarde van het waterstandsverschil tussen de raien 1 en 2 is opgebouwd uit de lokale en advectieve traagheidstermen en de weerstandsterm

Het berekende waterstandsverschil over het riviervak met een lengte van 2500m bedraagt: $0,2927\text{m}$.

De bijdrage van de traagheidstermen aan het waterstandsverschil is $4,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

Uitgedrukt als percentage van de totale waterstandsverandering is dit 0,16%.

De bijdrage van de weerstandsterm aan het waterstandsverschil is 0,2922.

Procentueel komt dit overeen met 99,84%.

De invloed van de komberging ter plaatse van het bedrijfsterrein op de waterstand bedraagt $3,16 \cdot 10^{-5} \text{ m}$.

De bijdrage van de komberging aan het waterstandsverschil is 0,01% en daarmee verwaarloosbaar.

7.4.3 Conclusie:

Uit de resultaten kan de conclusie worden getrokken dat de invloed van reductie van de komberging als gevolg van de bouw van de multifunctionele waterkering op de waterstand, met een bijdrage 0,01% op de waterstandsverandering, verwaarloosbaar is.

Algemeen is het voor hoogwatergolven op Rijntakken verantwoord het vereenvoudigde diffusiemodel toe te passen: het zogenaamde kinematische golfmodel. Omdat de golfperiode (T) groot is (= 4000 minuten) en de weerstandsterm sterk overheerst t.o.v. de traagheidsterm ($\delta Q/\delta t$) kan de traagheidsterm worden verwaarloosd.

8. BEGROTING

In de begroting is de b.t.w. bij in- en verkoop van materiaal buiten beschouwing gelaten, omdat ervan is uitgegaan dat de gemeente het project financiert (niet b.t.w. plichtig.) De prijzen in de begroting zijn exclusief b.t.w. In de begroting is een toeslag van 40% in rekening gebracht over het subtotaalbedrag van de verschillende posten. Deze toeslag is opgebouwd uit:

Toeslag onvolledig plan	15%
Bouwplaatskosten	15%
Algemene kosten	5%
Winst en risico	5%

De begroting bestaat uit:

- De calculatie van de verschillende wandvarianten
- De kostenvergelijking van de multifunctionele waterkering met een traditionele dijkoplossing ; een globale berekening van de baten.
- De begroting van het totale project.

8.1.1 De calculatie van de verschillende wandvarianten

De begroting is voor vier wandvarianten gemaakt. Te weten:

1. Betonwand met stalen damwand als kwelscherm
2. Diepwand / Palenwand
3. Betonnen damwand
4. Combiwand

Voor de vergelijking van de varianten is voor de begroting ervan uitgegaan dat het bedrijfsterrein reeds bouwrijp is gemaakt en kan worden gestart met de bouw van de multifunctionele waterkering. In de begrotingen worden de prijzen voor verschillende lengtes uitgetrokken:

De prijzen per post zijn opgemaakt voor een stramienmaat van 6,0m. Dit komt overeen met de beukmaat van één woning.

De totaalprijs in de begroting geldt voor de multifunctionele waterkering met een lengte van 750m.

Bovenaan de begroting is de kostprijs per stramienmaat van 6,0m aangegeven.

Dit werkt inzichtelijk voor een onderling vergelijk. De voornaamste verschillen komen voort uit de fundering van de varianten.

De begrotingen zijn bijgevoegd in de bijlage B13.

De verschillende begrotingen geven de volgende resultaten te zien:

Alternatief	Prijs per stramien (in gulden)	Totaalprijs M.F.W. (In gulden)
Betonnen damwand.	328.239,-	41.029.818,-
Betonwand + kwelsch.	326.016,-	40.752.051,-
Diep- / Palenwand	380.945,-	47.618.097,-
Combiwand	406.235,-	50.779.324,-

Tabel 11 , Resultaten calculatie

De betonwand met kwelscherf komt als goedkoopste alternatief naar voren. Wordt daarentegen de voorzetwand in de parkeergarage (met een kostprijs van fl. 6056,- per stramienlengte van 6,0m) bij de betonnen damwand achterwege gelaten, dan komt de betonnen damwand met een prijs per stramien van fl. 319.011,- als goedkoopste alternatief naar voren. Aangezien voor de waarborging van de waterdichtheid van de primaire waterkering, toepassing van een voorzetwand bij de betonnen damwand noodzakelijk wordt geacht, is de keuze gevallen op '*de betonwand met kwelscherf*' dat als goedkoopste variant is begroot.

8.1.2 kostenvergelijking multifunctionele waterkering - traditionele dijkverzwaring

Interessant is om te vergelijken wat de een multifunctionele waterkering kost ten opzichte van de aanleg van een dijk(verzwaring.)

Bij een dijkverzwaring komt meestal meer kijken dan alleen de ophoging van het dijklichaam zelf. In verband met een grotere aanlegbreedte moeten aangrenzende objecten worden verwijderd, of moet een bijzondere constructie worden toegepast. Ook kosten van onteigening moeten niet worden onderschat. Het maaiveld ter plaatse van de dijkverzwaring moet opnieuw worden ingericht. In de kostenvergelijking is hier geen rekening mee gehouden.

Ook hier wordt weer uitgegaan van een terrein dat reeds bouwrijp is gemaakt. Het gekozen alternatief wordt afgezet tegen een traditionele dijkverzwaring.

De afmetingen van de dijkverzwaring zijn aan gegeven in onderstaande figuur.

De volgende werkzaamheden voor de dijkaanleg zijn begroot:

- Vanaf maaiveldniveau wordt een cunet gegraven. Dit is noodzakelijk om de dijkkern te kunnen maken. Deze bestaat uit vette klei.
- Vervolgens wordt dijkkern boven maaiveldniveau gemaakt.
- De toplaag wordt aangebracht over de dijkkern. Het aangehouden talud bedraagt 1:3. Eventuele kabels en leidingen worden aangebracht.
- Voor de lengte van de dijk is dezelfde lengte in rekening gebracht als de lengte van de waterkering: 750,0m.

De kosten van de dijkaanleg over 750m. bedragen fl 5.174.400,- excl. btw.

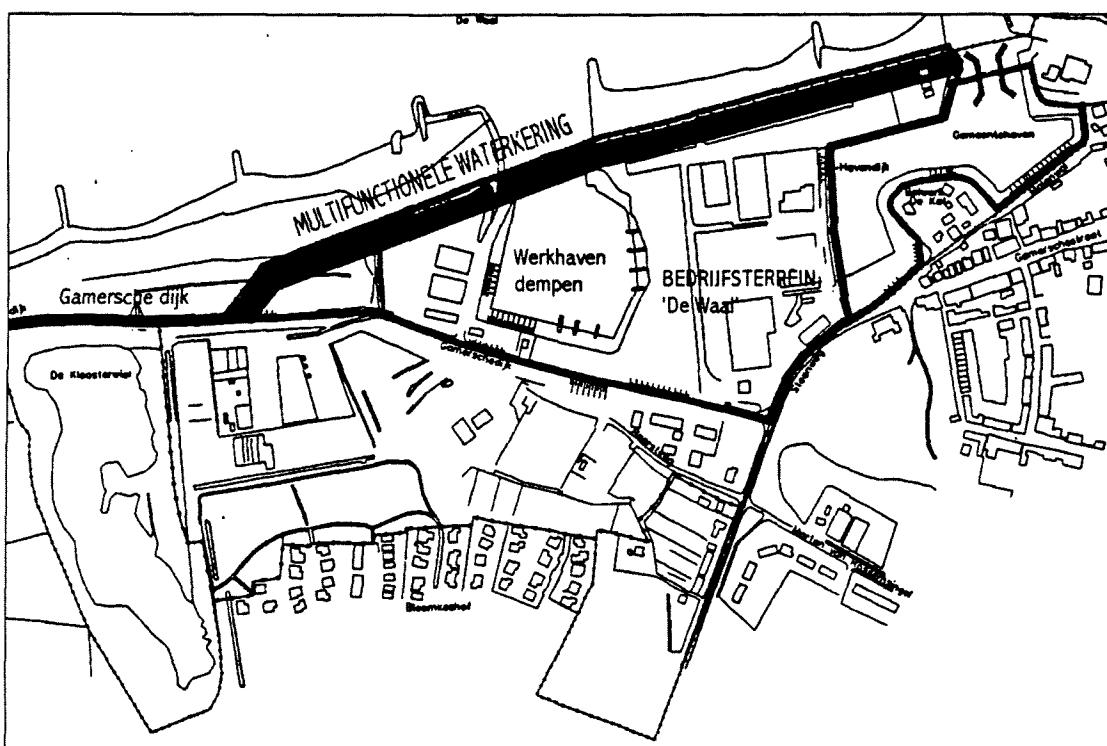
8.1.2.1 Baten

De aanleg van de goedkoopste variant van de multifunctionele waterkering kost fl. 40.752.051,-. De traditionele dijk blijft de goedkoopste oplossing om een waterkering te maken. Worden de 'terugverdienmogelijkheden' die ontstaan door toepassing van de MFW op de voorgestelde locaties echter betrokken in de vergelijking, dan is de multifunctionele waterkering de meest aantrekkelijke oplossing. Bij een zeer globale berekening van de baten is uitgegaan van verkoop van 125 woningen à fl 250.000- per stuk, 125 winkel- eenheden à fl 250.000- per eenheid en de parkeergarage met 580 parkeerplaatsen à fl 500- per m². De baten bedragen dan fl. 68.875.000,- excl. b.t.w. De rente van geldleningen is hierbij buiten beschouwing gelaten.

De opbrengst van de 750 meter lange multifunctionele waterkering bedraagt dan:
fl. 68.875.000 - 40.752.051= fl. 28.122.949,-.

8.1.3 Begroting Zaltbommel Waterstad

Voor het project Zaltbommel waterstad van architect H. Zwanziger is naast het gekozen constructieve-ontwerp voor de multifunctionele waterkering een aanvullende begroting gemaakt voor het bedrijfsterrein. Enkele onderdelen zijn niet begroot omdat hier geen inzicht in kan worden verkregen.



Figuur 64, oppervlak bedrijfsterrein 'de Waal' t.b.v. begroting

Voor het plan 'Zaltbommel Waterstad' zijn de volgende onderdelen begroot, of als uitgangspunt aangehouden:

- Het oppervlak van het bedrijfsterrein dat voor de verschillende posten van de begroting in rekening wordt gebracht is: het deel ingesloten door de multifunctionele waterkering, de zwarte lijn langs de gamersche dijk en de steenweg, zoals is aangegeven in voorgaande figuur.
- Huidige bebouwing en bestrating op het bedrijfsterrein wordt gesloopt.
- het (vervuilde) slib in de werkhaven wordt weggebaggerd en verwerkt.
- De werkhaven wordt met grond aangevuld.
- De gemeente-haven ten oosten van het bedrijfsterrein blijft behouden.
- Vervuilde grond wordt afgegraven.
- Indicatie van de vervuylingsgraad is conform de eerder uitgevoerde haalbaarheidsstudie door BRO-adviseurs voor het plan 'Waalfront-West'.
- Het bedrijfsterrein wordt bouwrijp gemaakt voor de stedebouwkundige invulling van het terrein achter de waterkering, conform het plan 'Zaltbommel Waterstad' van architect Zwanziger.
- De bouw van de multifunctionele waterkering conform het gekozen alternatief met een lengte van 750 meter.

De status van het project ‘Zaltbommel waterstad’ kan aangemerkt worden als ‘een schetsmatig voor-ontwerp’. De multifunctionele waterkering is in dit rapport nader uitgewerkt en in de begroting meegenomen. Het (stede)bouwkundige ontwerp achter de waterkering is niet verder uitgewerkt. Aangezien er momenteel, voor dit plan, nog weinig informatie omtrent de invulling achter de waterkering voor handen is voor een goede begroting, is het (stede)bouwkundige ontwerp achter de waterkering in de begroting niet meegenomen.

Posten waarvan de benodigde informatie voor de calculatie niet is te achterhalen, zijn de volgende:

- De uitkoop van de bedrijven op het bedrijfsterrein en de aankoop van de grond.
- De verdere invulling van het bedrijfsterrein achter de multifunctionele waterkering (woningbouw, parkeren e.d.)
- De baten van de verkoop / exploitatie van de bovengenoemde invulling.

Deze posten zijn niet in de begroting opgenomen.

De kosten-indicatie voor de stedebouwkundige invulling achter de waterkering en van de ontbrekende posten zal voor dit plan in een vervolg moeten worden gecompleteerd.

8.1.3.1 Resultaat

De calculatie voor bovengenoemde onderdelen bedraagt *fl. 56.046.120,-*

Dit bedrag is exclusief b.t.w. en exclusief de baten van de multifunctionele waterkering. Daarbij moet worden vermeld dat de mate van, en de hoeveelheid van de verontreiniging een inschatting zijn. Dit is uiteraard van invloed op de prijs. De eenheidsprijzen van de ingeschatte vervuylingsgraad liggen wel inzekere mate vast. De prijzen van de ontbrekende onderdelen in de begroting dienen door derden te worden aangevuld om de haalbaarheid van Zaltbommel waterstad in te kunnen schatten.

Bij de in September 1994, door BRO-adviseurs gemaakte calculatie voor de haalbaarheidsstudie van het eerdere plan ‘Waalfront West’ zijn de baten afgezet tegen de totale projectkosten. Op deze wijze wordt de financiële haalbaarheid van het plan inzichtelijk gemaakt. Calculatiegegevens van dit plan ‘Waalfront West’ zijn niet voor handen. Een vergelijk van de voor ‘Zaltbommel Waterstad’ begrote onderdelen met het plan Waalfront West is daardoor niet te verwezenlijken.

9. CONCLUSIE

Het plan Zaltbommel Waterstad biedt de kans om dijkverbetering met stedebouwkundige vernieuwing te integreren.

In het ontwerp van Zwanziger wordt het gehele bedrijfsterrein tot in de uiterwaard ontwikkeld. Echter, het bedrijfsterrein heeft een kombergingsfunctie. In de beleidsnota ‘ruimte voor de rivier’ wordt aangegeven dat kombergingsoppervlak behouden moet blijven om de waterstanden bij maatgevend hoogwater in de hand te houden.

De uitgangspunten van Verkeer en Waterstaat ten aanzien van dijkverbetering hebben als doel het veilig stellen van de komberging in de toekomst, dus te handelen in lijn van deze beleidsnota. Deze eisen beperken voor Zaltbommel de mogelijkheden om andere dan conventionele oplossingen toe te passen. De invloed van de bouw van een Multifunctionele waterkering ter plaatse van het bedrijfsterrein, zoals is voorgesteld, is voor de maatgevende hoogwaterstand verwaarloosbaar (+6 mm op een waterstandstoename van ca. 7,0 meter). Zoals de eisen van Verkeer en Waterstaat nu zijn geformuleerd, is toepassing van een Multifunctionele waterkering op deze locatie niet toegestaan.

Echter, de huidige oplossingsrichting van het polderdistrict Groot Maas en Waal (zoals beschreven in paragraaf 2.6.1 en 2.6.2) zou, gezien de eis van Verkeer en Waterstaat ook niet uitgevoerd kunnen worden omdat daar niet aan de uitgangspunten van verkeer en waterstaat wordt tegemoetgekomen.

De vraag is of het beoogde doel ook behaald kan worden door uit te gaan van een tolerantie op de kombergingscapaciteit waardoor ook andere oplossingen kunnen worden overwogen.

Bij de alternatieven van het Polderdistrict komt het bedrijventerrein ‘De Waal’ buitendijks te liggen. Dit betekent dat bij hoog water het terrein onder water loopt hetgeen schadelijk is voor de economische bedrijvigheid.

Toepassing van de Multifunctionele waterkering geeft een oplossing voor de problemen waar Zaltbommel mee te kampen heeft, namelijk gebrek aan ruimte voor stedelijke uitbreiding en verkeersproblemen. Alleen al in de Multifunctionele waterkering kunnen 125 woningen worden gerealiseerd, 125 bedrijfseenheden en 580 parkeerplaatsen welke kunnen worden verkocht of verhuurd. Verkeerskundig wordt het parkeerprobleem aangepakt. Achter de waterkering ontstaat een nog te ontwikkelen gebied van ca. 100.000 m² dat mogelijkheid biedt tot stedebouwkundige invulling.

Door alleen de conventionele waterkering te overwegen wordt Zaltbommel de mogelijkheid ontnomen om ook een kwalitatieve verbetering door te voeren, gecombineerd met het creëren van ruimte.

De traditionele dijk blijft de *goedkoopste* oplossing om een waterkering te maken. *Worden de 'terugverdienmogelijkheden' die ontstaan door toepassing van de MFW op de voorgestelde locaties echter betrokken in de vergelijking, dan is de multifunctionele waterkering de meest aantrekkelijke oplossing.*

Een project als in Zaltbommel kan als voorbeeld dienen voor andere bastide steden die met dezelfde waterbouwkundige en economische knelpunten leven. Het op kleine schaal en op de meest economische locaties ‘land winnen’ is een aantrekkelijke optie voor de vele steden met uitbreidingsplannen en weinig ruimte om dit uit te voeren. Aan het innpassen van een MFW zijn de risico’s in technische en organisatorische zin beperkt. Constructief gezien levert dit een nieuwe toepassingsmogelijkheid voor een waterkering die in andere situaties reeds succesvol is gebleken.

Kanttekening is dat in de beslissingsstructuur voor infrastructurele projecten van deze aard waar niet alleen veiligheid een rol speelt maar ook een aantal andere verlangens leven, zou moeten worden aangepast. Van instanties die alleen verantwoordelijk zijn voor de veiligheid van de oplossingen (zoals Polderdistrict en Verkeer en Waterstaat) mag niet verwacht worden dat zij zeer gemotiveerd zijn om na te denken over toepassingen die ook op andere knelpunten een oplossing bieden. Dat is immers niet hun belang.

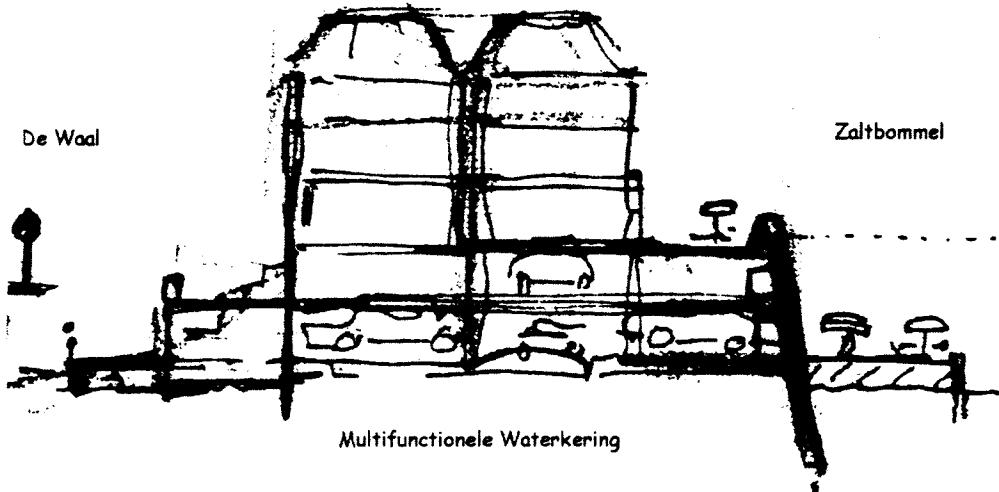
Nederland heeft waterbouwkundig een naam hoog te houden. Internationaal zou de multifunctionele waterkering met gelijksoortige problemen als in Zaltbommel een goede oplossing kunnen betekenen.

Literatuurlijst

1. Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in Grond- Weg- en Waterbouw en Verkeerstechniek (C.R.O.W)
Gebouwde parkeervoorzieningen ontwerp-wijzer
Ede, maart 1996
2. Grontmij Gelderland
O.N.: 34032-16
doc.: 611 MG
Oplossingsrichting verbetering Waalbandijken, dijkvak Kom Zaltbommel - Kloosterwiel
Polderdistrict Groot Maas en Waal
Gelderland, augustus 1992
3. Grontmij N.V. afdeling Geotechniek
O.N.: 34032
doc.: f0005
Technische inventarisatie van de knelpunten en mogelijke oplossingen bij de verbetering van de Waalbandijk in de stad Zaltbommel (hm 86 - 118)
opdrachtgever: Polderdistrict Groot Maas en Waal
De Bilt, november 1986
4. Rijkswaterstaat Directie Oost- Nederland
Natuur in een stroomversnelling
mei 1996
5. Technische adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor het ontwerp, beheer en onderhoud van constructies en vreemde objecten in, op en nabij waterkeringen
Den Haag, april 1976
6. TU-delft
dictaat e1 systematisch ontwerpen
Prof. B.M. Polak / dr. ir. M.R. Beheshti
Delft, oktober 1992
7. Technische uitgeverij H. Stam,
Waterkering waterhuishouding
ir H. van Rossum e.a.
Culemborg, 1968
8. C.U.R.
publicatiennr. 166 damwandconstructies
2e druk, oktober 1993
9. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Handreiking Constructief ontwerpen
april 1994 (groene versie)
10. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Concept Leidraad waterkerende kunstwerken en bijzondere constructies
Den Haag, 24-10-1995
11. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken - deel 1 bovenrivierengebied
Den Haag, 09-1985
12. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken - deel 2 benedenrivierengebied

13. Den Haag, 09-1989
Grondmechanica
prof. A. Verruijt.
Vierde druk, Delft 1993, Delftse uitgevers maatschappij
14. T.U.-Delft
Dictaat b73 lange golven
C. Verspuy
Delft, herdruk april 1987
15. T.U.-Delft
Dictaat b71 vloeistofmechanica
Prof. Dr. Ir. J.A. Battjes
Delft, herdruk augustus 1994
16. T.U.-Delft
Dictaat f8 Rivieren
Prof. Dr. Ir. M.de Vries
Delft, januari 1994
17. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Integrale verkenning inrichting Rijntakken
IVR-rapport nr. 15
RIZA, N. Dounen
Arnhem, oktober 1996
18. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
De bodemsamenstelling van Waal en IJssel in de jaren 1966, '76, '84 en '95
RIZA-rapport nr. 97.009
RIZA, Dr. W. B. M. ten Brinke
Arnhem, februari 1997
19. Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Calibratie SOBEK Rijntakken
RIZA-rapport nr. 97.034
RIZA, Ing. R van den Veen e.a.
Arnhem, mei 1997
20. Haalbaarheidsstudie Waalfront West – Gemeente Zaltbommel
Eindrapportge verkenningsfase
BRO adviseurs
Vught, September 1994
rapport nr. J5098.460.0356
21. Prijzenkrant januari 1996
Witteveen en Bos

Stad aan de Rivier



Bijlagen

Technische Universiteit Delft
faculteit der Civiele Techniek

Vakgroep Waterbouw
Sectie Waterbouwkunde

Afstudeerbegeleiders:
ir. K.G. Bezuyen
prof. drs. ir. J.K. Vrijling
ir. J.G. Oostveen
dhr. H. Zwanziger

M.J. van Alphen
studienummer: 012254

Juli 1999

Inhoudsopgave

B1	INVENTARISATIE HUIDIGE PLANNEN.....	2
B1.1	UITGANGSPUNTEN VAN DE GEMEENTE	2
B1.2	UITGANGSPUNTEN DIJKBEHEERDER (POLDERDISTRICT)	4
B2	ALTERNATIEF OP TRACÉKEUZE POLDERDISTRICT	6
B3	GRONDWATERSTROMING.....	7
B3.1	HORIZONTALE GRONDWATERSTROMING.....	7
B3.2	VERTICALE GRONDWATERSTROMING.....	8
B3.3	VEILIGHEID TEGEN OPBARSTEN	9
B4	TRADITIONELE DIJKVERZWARING.....	10
B4.1	ALGEMEEN.....	10
B4.2	ONTWERPBEREKENINGEN DIJKAFMETINGEN.....	16
B4.2.1	Glijvlakberekening.....	16
B4.2.2	controle piping.....	18
B4.3	BEREKENING BENODIGDE WAAKHOOGTE.....	20
B4.3.1	waterkeringen met een talud	20
B4.3.1.1	Grafieken en tabellen van Bretscheider	21
B4.3.2	Waterkeringen met een verticale wand	23
B4.4	HAALBAARHEID V.E. DIJK ALS MFW.....	24
B5	UITVOER MSTAB.....	25
B5.1	INVOERFILE MAATGEVEND HOOGWATER	25
B5.2	UITVOERFILE MAATGEVEND HOOGWATER	26
B5.3	INVOERFILE SNELVALLEND WATER	44
B5.4	UITVOERFILE SNELVALLEND WATER	45
B6	MAATGEVENDE BELASTINGCOMBINATIES.....	71
B7	UITVOER MSHEET.....	74
B7.1	INVOERFILE DAMWAND AZ18 LENGTE 10M, T.B.V. VERVORMING	74
B7.2	UITVOERFILE DAMWAND AZ18 LENGTE 10M, VERVORMING	77
B8	CONSTRUCTIEVE BEREKENING L-MUUR	94
B9	GEWICHTSBEREKENING	100
B9.1	DIMENSIONERING WANDCONSTRUCTIE.....	101
B9.2	MOMENT EN DWARSKRACHT	120
B10	VERHANGLIJNEN	121
B10.1	THEORIE VERHANGLIJNEN	121
B10.2	VERHANGLIJNBEREKENING / UITGANGSPUNTEN	129
B11	LANGE GOLFVERGELIJKINGEN	130
B11.1	MODELLEN VOOR HOOGWATERGOLFBEREKENING	134
B11.2	LANGE GOLF BEREKENING / UITGANGSPUNTEN	136
B12	GRONDDRUKFACTOREN.....	138
B13	KOSTENCALCULATIE BOUW MFW	140
B13.1	CALCULATIE WANDVARIANTEN	148
B13.2	VERGELIJKING DIJKVERBETERING – M.F.W	152
B13.3	BEGROTING TOTALE PROJECT 'ZALTBOMMEL WATERSTAD'	154

B1 Inventarisatie huidige plannen

In het navolgende, worden de uitgangspunten van gemeente en polderdistrict kort toegelicht.

B1.1 uitgangspunten van de gemeente

- 1. bestaand gebruik en aanzicht moet in overeenstemming zijn met de verwachtingen die men heeft van een vestingstad;*

Toelichting:

Het aanzicht van een vestingstad wordt doorgaans gevormd door de vestingmuur en de vestingwerken. Gekenmerkt door een specifieke vorm, waarbij de vestingmuren grenzen aan stadsgrachten, vormt de rivier de Waal voor Zaltbommel een onderdeel van dit vestingidee. Momenteel is er, gezien vanaf de Waal, sprake van een achterkantsituatie. Dat wil zeggen: de bebouwing is niet georiënteerd op de ligging aan de rivier. Dit is ontstaan omdat de waterkering in de loop der jaren is verplaatst. De ruimte tussen de oorspronkelijke bebouwing en de rivier is op bepaalde plaatsen geminimaliseerd. Bepaalde functies kwamen daardoor in de verdrukking.

Het streven moet zijn om weer een voorkantsituatie te creëren. De belevingswaarde van deze locatie wordt hierdoor verbeterd.

- 2. belevingswaarde van de rivier vanaf de waalkade moet worden vergroot;*

Toelichting:

Dit uitgangspunt is een vervolg op uitgangspunt 1. Door het openbaar gebied (met name de verblijfsgebieden) zo dicht mogelijk bij het water te lokaliseren zou dit bereikt kunnen worden. Dit betekent wel dat er ruimte langs de rivier gerealiseerd moet worden.

- 3. bij de situering van wandel- en fietsroutes, parkeerfaciliteiten en groenvoorzieningen moet rekening worden gehouden met relaties en behoeften van aanliggende gebieden;*

Toelichting:

Uitgangspunt 3 betreft de infrastructurele invulling van het waterkeringstracé.

Voorbeelden hiervan zijn :

- de parkeerbehoefte van de binnenstad;
- de aansluiting op de wandelpaden over "de Wallen".
- een overgang van de dijk (de z.g. groene "Wallen") naar het steenachtige karakter van de binnenstad.

- 4. vanuit historisch oogpunt verdient het de voorkeur om de belijning van de vestigingswerken in stand te houden, zo mogelijk te versterken;*

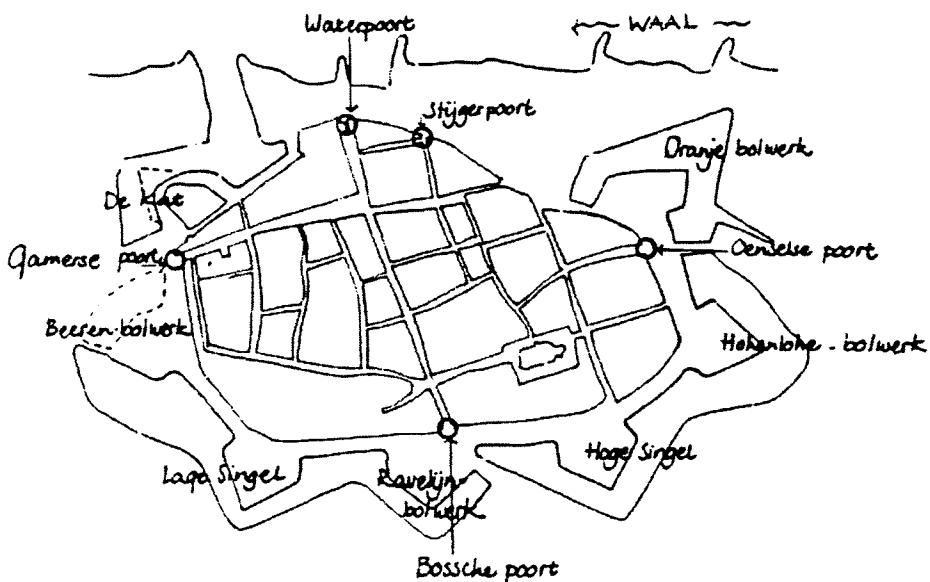
Toelichting:

Om de cultuurhistorische waarde van de vroegere vestingwerken te kunnen behouden

is dit punt door de gemeente als uitgangspunt opgesteld.

In dit geval gaat het met name om:

- de vormgeving van het vestingswerk "Bolwerk de Kat".
- het steenachtige karakter tussen de "Stadsdijk"
- en "Bolwerk de Kat".



Figuur 1, overzicht bolwerken en poorten

5. de mogelijkheden om de bestaande bebouwing te versterken moeten uitgewerkt worden;

Toelichting:

Door het versterken van de bestaande bebouwing wordt het aaneengesloten front hersteld, een weerspiegeling van het oude vestingwerk idee. Hierdoor kan een betere voorkantsituatie worden gecreëerd. De aanwezigheid van bebouwing wordt zo vergroot. Met andere woorden: meer bebouwing met uitzicht op en entree aan de rivier.

Het onderzoek naar de vormgeving van de bebouwing en de invulmogelijkheden hiertoe vallen in principe buiten het afstudeerwerk en dienen door een stedebouwkundig bureau onderzocht te worden. Voor de vormgeving wordt een opzet gemaakt.

6. bestaande voorzieningen dienen minimaal terug te komen bij de uitvoering van het ontwerp en de dijkverzwaring;

Toelichting:

Een voorbeeld hiervan is de jachthaven. Het aantal en de kwaliteit van de ligplaatsen dient voor en na gereedkomen van de dijkverzwaring gelijk te zijn. Verder kan men denken aan de huidige parkeerfaciliteiten, wandelpaden en ontsluitingswegen langs de

dijken van dit gebied.

- 7. de financiële bijdrage, ten behoeve van niet in het kader van de dijkverbetering noodzakelijke werkzaamheden, moet binnen de meerjarenbegroting van de gemeente passen.*

Toelichting:

Dit kan worden bereikt door een goede afweging ten aanzien van gewenste elementen ten opzichte van de daarmee gepaard gaande kosten en door een juiste fasering van de uit te voeren werken. De kosten van het ontwerp zijn daarmee geen onbelangrijke factor.

Voor de volledigheid worden hieronder de aan te houden uitgangspunten van de dijkbeheerder genoemd:

B1.2 uitgangspunten dijkbeheerder (polderdistrict)

- 1. De door de Minister van Verkeer en Waterstaat vastgestelde maatgevende hoogwaterstanden langs de Nederlandse rivieren, uitgaande van een overschrijdingskans van één maal per 1.250 jaar, zijn vertrekpunt bij de planvorming. Het Polderdistrict heeft in deze geen bestuurlijke ruimte daar wijzigingen op aan te brengen. Nieuwe ontwikkelingen zullen, indien van toepassing, in de plannen worden verwerkt (bijvoorbeeld resultaten van het onlangs door de Minister aangekondige onderzoek).*

Toelichting:

In 1986 is landelijk vastgesteld met welke maatgevende hoogwaterstanden rekening moet worden gehouden, een beslissing welke in 1991 in de Tweede Kamer is bevestigd met de motie " Eversdijk. De resultaten van de herijking 1992 worden afgewacht. Planvorming en gedachtenwisseling omtrent de oplossingsrichtingen kunnen worden voortgezet.

- 2. De leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 1 -bovenrivierengebied.*

Toelichting:

In de leidraad staan de ontwerprichtlijnen voor kruinhoogte, kruinbreedte, golfoploop, bermafmetingen, stabiliteitsberekeningen etc. Deze richtlijnen zijn voor het ontwerp aangehouden.

- 3. De verordening " Dijkverbetering Gelderland" voor de te volgen procedure.*

Toelichting:

In deze verordening worden de te volgen procedure, de betrokkenheid van derden en de inspraakmogelijkheden aangegeven. Het initiatief en de verantwoording daarvoor ligt uiteraard bij het Polderdistrict. Van die zijde zullen ook hoorzitting en inspraakprocedures worden geregeld. Daarbij zal de betrokkenheid van de gemeente vanuit haar verantwoordelijkheid worden aangegeven.

4. Een onderbouwde afweging van de in het geding zijnde belangen, waartoe ook behoren stedebouwkundige en cultuurhistorische belangen.

Toelichting:

De in het geding zijnde belangen zullen tevoren in beeld moeten zijn gebracht. Daarvoor wordt een uitgebreide inventarisatie gemaakt en afhankelijk van de aard en samenhang daarvan moeten keuzes worden gemaakt.

5. De te realiseren oplossingen dienen toekomstgerichte ontwikkelingen, zowel t.a.v. de stad als t.a.v. de waterkering, niet te belemmeren.

Toelichting:

In principe dient een dijkverbeteringplan zo te worden ontworpen dat ruimte beschikbaar blijft of komt voor toekomstige aanpassingen aan de waterkering, maar ook voor aanpassingen in het kader van de ruimtelijke ordening.

6. De dijkverbeteringswerken moeten passen binnen de bestemmingsplannen, danwel de bestemmingsplannen zullen daarvoor moeten worden gewijzigd.

Toelichting:

Vaak zal voor de dijkverbeteringswerken het bestaande bestemmingsplan moeten worden gewijzigd of worden opgesteld. Daarvoor geldt de procedure in het kader van de ruimtelijke ordening.

7. Wijzigingen in het winterbed van de rivier tengevolge van dijkverbeteringswerken moeten zo worden gecompenseerd, dat geen waterstandsverhoging in de rivier zal optreden.

Toelichting:

Als een dijkverbetering zo wordt uitgevoerd dat ruimtebeslag wordt gelegd op het winterbed van de rivier, dan zal daarvoor door de dijkbeheerder compensatie moeten worden geboden. De rivierwaterstanden mogen niet wijzigen tengevolge van dijkverbeteringswerken. De locatie voor compensatie is onderwerp van studie.

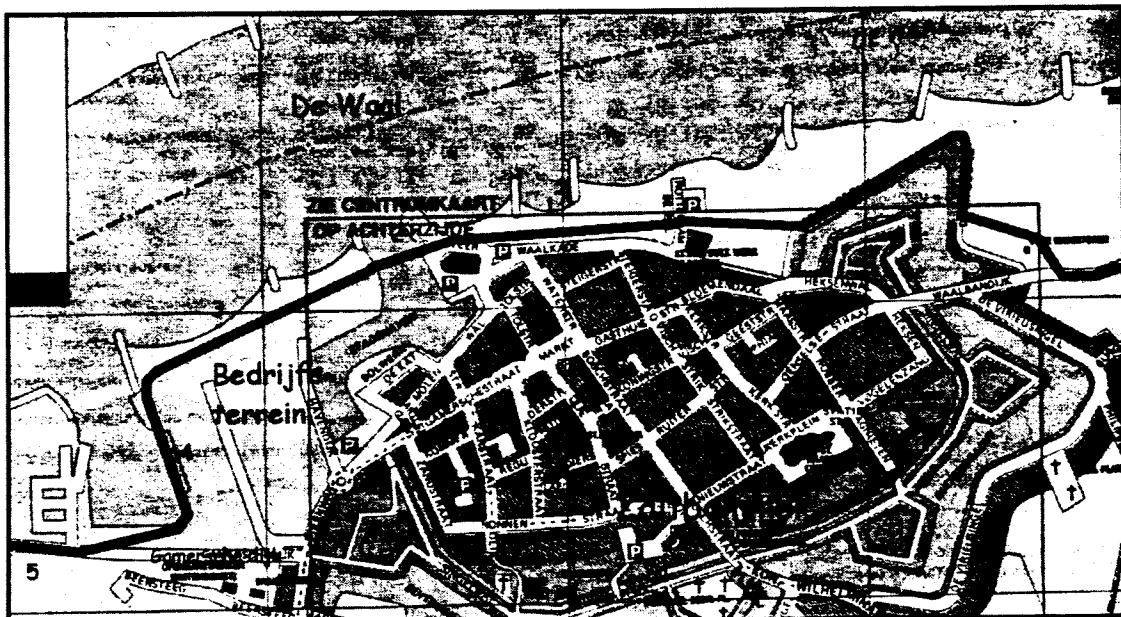
8. De totale kosten dienen integraal in beeld te worden gebracht, waar mogelijk gesplitst in kosten dijkverbetering en kosten derden.

Toelichting:

Beoogd wordt om vanaf het begin de financiële verantwoordelijkheden in beeld te houden. Onder "derden" wordt verstaan, andere instanties dan die welke in het kader van de rivierdijkverbeteringswerken een primaire verantwoordelijkheid hebben. Dat kunnen zijn de Gemeente, Monumentenzorg, VROM, enz.

B2 alternatief op tracékeuze polderdistrict

Een variant op de tracéligging van het plan 'Zaltbommel waterstad' is een tracé waarbij een deel van het kombergingsoppervlak behouden blijft. Leidt het verlies van het kombergingsoppervlak tot onaanvaardbare waterstandsverhoging, dan zou men kunnen overwegen een deel van het oppervlak uit de vorige variant te reserveren voor komberging van water. Het resterende oppervlak moet overeenkomstig zijn met het bouwoppervlak van 26 hectare uit het plan 'Waalfront west'. Verschil daarbij is dat een multifunctionele waterkering in plaats van een traditionele dijk wordt toegepast. De werkhaven van het bedrijfsterrein wordt in tegenstelling tot de vorige variant, niet gedempt.



Figuur 2, Variant verloop waterkering op huidige plannen

1. De nieuwe waterkering loopt langs de Waalkade ter plaatse van de huidige waterkering of buitendijks.
2. In de multifunctionele waterkering zal een kunstwerk opgenomen moeten worden om vanaf de Waal de bestaande stadshaven te kunnen bereiken.
3. Door de multifunctionele waterkering wordt het bedrijfsterrein binnen gedijkt.
4. Om de werkhaven te behouden buigt de waterkering hier af richting Gamersche dijk.

Volgens de gestelde eisen door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat zouden de twee bovenomschreven alternatieven ongeoorloofd zijn als dit van invloed is op het waterpeil tijdens hoogwater. Aangezien ingrepen mogelijk zijn om de voornaamste bezwaren weg te nemen, worden deze ontwerpen toch verder uitgewerkt.

B3 Grondwaterstroming

B3.1 Horizontale grondwaterstroming

In berekening wordt aangenomen dat de stroming in de zandlaag volledig horizontaal is. Met de analytische oplossing, voor gevallen van stationaire grondwaterstroming [11 appendix B], kan voor de bestaande toestand tijdens maatgevend hoogwater het volgende stijghoogteverloop worden gevonden in het zandpakket onder de dijk. De waarden gelden ter hoogte van hectometernummer 99:

$$\text{stijghoogte t.p.v. binnenteen } \varphi_2 = \varphi_3 + (\varphi_0 - \varphi_3) \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_3 + L_2} = 4,46 \text{ meter +NAP}$$

$$\text{stijghoogte t.p.v. buitenteen } \varphi_1 = \varphi_3 + (\varphi_0 - \varphi_3) \frac{\lambda_3 + L_2}{\lambda_1 + \lambda_3 + L_2} = 7,29 \text{ meter +NAP}$$

invoergegevens [3] (zie ook figuur 20):

φ_0	= maatgevend hoogwaterstand op de Waal	: NAP+9.25
φ_3	= polderpeil	: NAP+2.5m
λ_1	= spreidingslengte voor de dijk	: 24.2 meter
λ_3	= spreidingslengte achter de dijk	: 24.2 meter
L_2	= dijkbreedte binnenteen-buitenteen	: ~35.0 meter

Het debiet Q_1 door de zandlaag onder de dijk wordt verkregen uit:

$$Q_1 = kD \frac{\varphi_0 - \varphi_3}{\lambda_1 + \lambda_3 + L_2} = 4.45 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

k	= doorlatendheidscoëfficient zandpakket	: 10^{-4} m/s
D	= dikte watervoerend zandpakket	: 55.0 meter

Het debiet Q_2 door de kleilaag onder de dijk wordt verkregen uit:

$$Q_2 = kD \frac{\varphi_0 - \varphi_3}{\lambda_1 + \lambda_3 + L_2} = 3.2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s per m}^2$$

k	= doorlatendheidscoëfficient kleipakket	: $0.5 \cdot 10^{-7}$ m/s
D	= dikte watervoerend kleipakket	: 7.8 meter

Het horizontale debiet door de kleilaag is een factor 14000 kleiner dan het debiet in de watervoerende zandlaag.

Conclusie: Horizontale grondwaterstroming in het kleipakket is te verwaarlozen ten opzichte van de watervoerende zandlaag. Grondwaterstroming zal voornamelijk optreden in de zandlaag.

B3.2 Verticale grondwaterstroming

Verticale grondwaterstroming zal optreden bij stijghoogte verschillen tussen twee grondlagen. Voor de stabiliteit van het dijklichaam is het van belang om te onderzoeken in welke mate verticale stroming optreedt door de afdekkende kleilaag. Het specifieke debiet in verticale richting (q_z) wordt gevonden met behulp van de volgende formule:

$$Q_z = \frac{(\varphi_s - \varphi_p)}{\frac{d}{k_v}} = 4.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s per m}^2$$

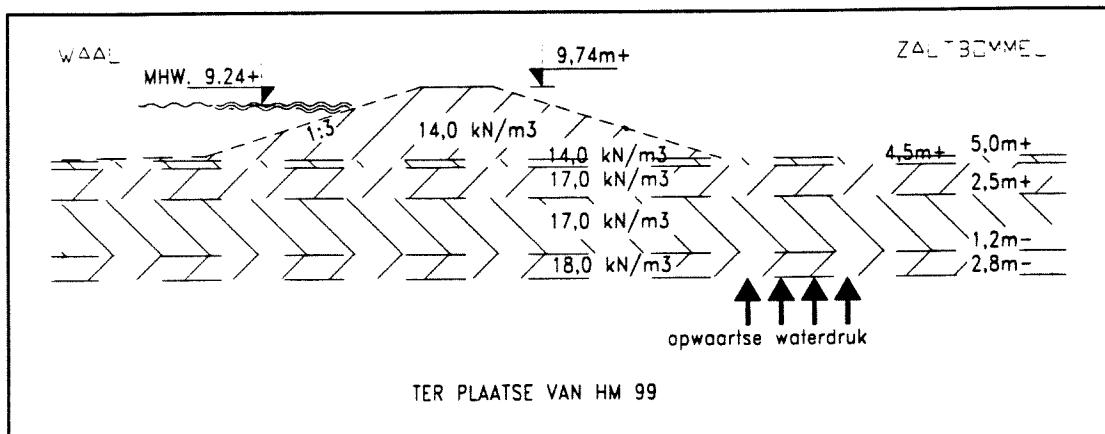
φ_s	= stijghoogte in de watervoerende zandlaag	: NAP+9.25
φ_p	= polderpeil	: NAP+2.5m
k_v	= doorlatendheidscoëfficient kleipakket	: $0.5 \cdot 10^{-7}$ m/s
d	= dikte kleipakket (5,0 ⁺ - 2,8 ⁻)	: 7,8 meter

Het debiet is $0.003 \text{ m}^3/\text{dag per m}^2$ doorstroomoppervlak.

Conclusie: De stroming door de kleilaag is verwaarloosbaar en zal niet in de berekeningen worden meegenomen. De stabiliteit van het waterkerend element onder invloed van de verticale grondwaterstroming is gewaarborgd.

B3.3 Veiligheid tegen opbarsten

De veiligheid tegen opbarsten van de toplaag is gecontroleerd voor de traditionele dijkverzwarening. In figuur 3 is de situatie aangegeven.



Figuur 3, situatie voor berekening: veiligheid tegen opbarsten

Het opbarsten wordt gecontroleerd nabij de binnenteen van de dijk.

De opwaartse waterdruk in het watervoerende pakket is ter plaatse van de binnenteen: NAP+4,46m.

De opwaartse belasting op het kleipakket beraagt dan:

$$\sigma_{\text{opwaarts}} = (4,46\text{m}+ - 2,8\text{m}-) * 10,0 \text{kN/m}^3 = 72,6 \text{kN/m}^2$$

De neerwaartse belasting voortkomend uit het kleipakket:

$$5,0\text{m}+ - 4,5\text{m}+ = 0,5\text{m} * 14,0 \text{kN/m}^3 = 7,0 \text{kN/m}^2$$

$$4,5\text{m}+ - 1,2\text{m}- = 5,7\text{m} * 17,0 \text{kN/m}^3 = 96,9 \text{kN/m}^2$$

$$1,2\text{m}- - 2,8\text{m}- = 1,6\text{m} * 18,0 \text{kN/m}^3 = \underline{\underline{28,8 \text{kN/m}^2}}$$

$$\text{Totaal neerwaarts: } = 132,7 \text{kN/m}^2$$

Dan is de veiligheid tegen opbarsten:

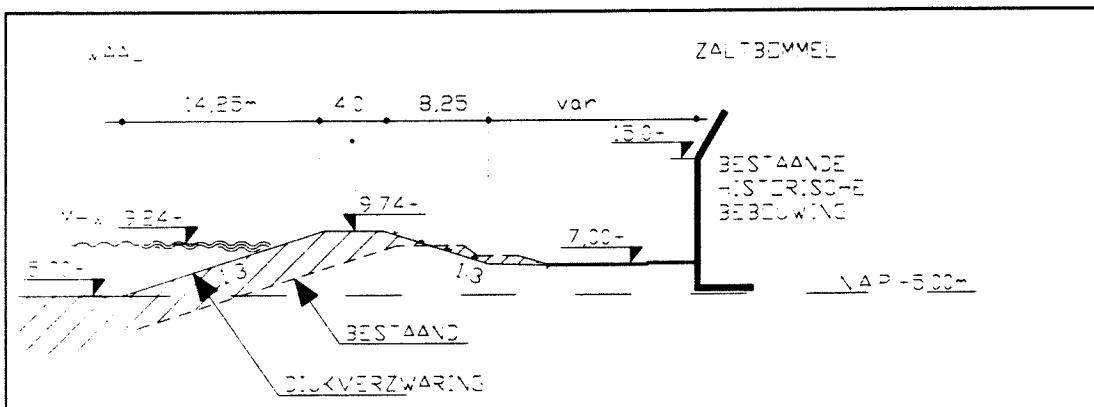
$$132,7 / 72,6 = 1,83 \Rightarrow 1,83 \geq 1,0 \text{ dus accoord.}$$

Er is meer dan voldoende veiligheid tegen opbarsten van de kleilaag uitgaande van de grondopbouw zoals aangegeven in figuur 3.

B4 Traditionele dijkverzwaring

B4.1 Algemeen

De dijkverzwaring wordt bekeken zoals ze is voorgesteld door het Polderdistrict. Zoals reeds eerder is gemeld, wordt het tracé van het Polderdistrict voor de dijkverzwaringen aangehouden. De afmetingen van de dijkverzwaring worden getoetst aan de richtlijnen zoals die gesteld zijn in ‘de leidraad voor het ontwerpen van riverdijken’.



Figuur 4, verzuward dijklichaam conform plannen van het polderdistrict

De bestaande waterkering, uitgevoerd als een dijklichaam, wordt in de plannen van het Polderdistrict (buitendijks) verzuard (zie figuur 4).

- **opbouw van de riverdijk**

Voor de opbouw van de riverdijk zijn twee typen mogelijk:

1. De dijk is volledig opgebouwd uit klei
2. De dijk is uitgevoerd met een zandige kern en een kleiige toplaag van minimaal 1 meter dikte.

In Zaltbommel heeft men met het eerste type te maken waarbij de dijk volledig is opgebouwd uit klei.

Waterdichtheid is geen absolute ontwerp-eis. Dit wordt wel zoveel mogelijk nastreeft om hoge waterspanningen in het dijklichaam te voorkomen. Dit gaat eveneens het optreden van waterbezaar aan de teen van de dijk tegen. De opbouw van het dijkprofiel bestaat daarom uit twee lagen:

- Een onderlaag van vette ondoorlatende klei.
- Een toplaag van schralere klei die minder gevoelig is voor scheuren en die meer geschikt is voor het in stand houden van de grasbekleding van de dijk.

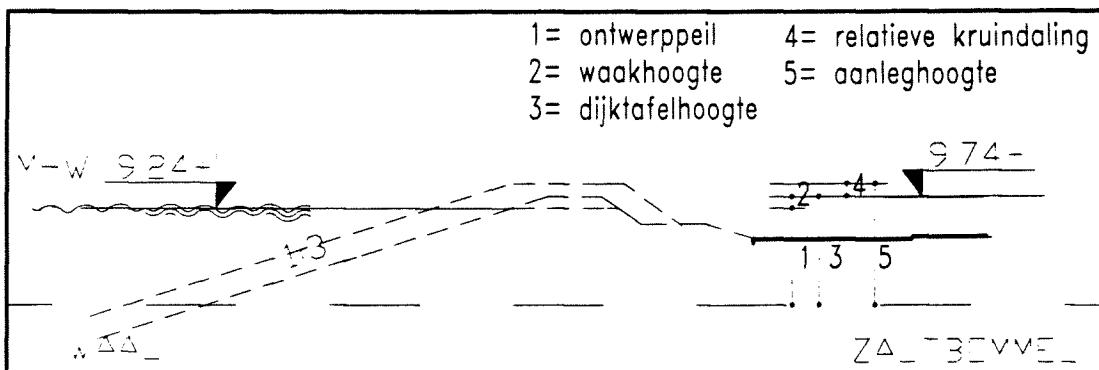
- **Afmetingen van het dijkprofiel volgens het Polderdistrict**

Voor het constructieve ontwerp van het dijkprofiel is het voorstel van het Polderdistrict nader beschouwd. Het dijkprofiel van het Polderdistrict is daarbij volgt opgebouwd:

- Kruinbreedte**

Voor de kruin is conform de leidraad, de minimaal benodigde breedte voor een inspectiepad van 4,00 meter aangehouden [11- blz.151].

- Aanleghoogte**



Figuur 5, relevante hoogtes voor een dijk, opgebouwd uit grond

De aanleghoogte van het constructieve ontwerp wordt bepaald door de som van:

- de ontwerpwaterstand (=MHW) zoals deze is omschreven in paragraaf 5.2.3,
- de waakhoogte om golfoploop op te kunnen vangen en golfoverslag te beperken.

De waakhoogte is afhankelijk van de golfhoogte en -periode, de hoek die het talud maakt en de eigenschappen van het talud, zoals de ruwheid.

Verder speelt de maximaal toelaatbare golfoverslag een rol bij vaststelling van de waakhoogte. Als minimum waakhoogte is 0,5m vereist (verticaal gemeten.)

- bij gebruik van een grondlichaam: een overhoogte om zakkingen, tengevolge van zettingen en klink, tot het volgende herstel op te kunnen vangen.

- Grove bepaling waakhoogte**

Voor de aan te houden waakhoogte wordt onderscheid gemaakt in dijken die aan golfbewegingen zijn blootgesteld en die niet aan golfbewegingen zijn blootgesteld.

Om onzekerheden in de berekeningen van de ontwerpwaterstand te ondervangen geldt als algemene regel dat voor de minimaal benodige waakhoogte minstens $0,50\text{m}^1$ in rekening dient te worden gebracht. Deze waarde wordt ook als minimale waakhoogte aangehouden bij dijken die niet zijn blootgesteld aan golfbewegingen.

Voor dijken die blootgesteld zijn aan golfbewegingen wordt de waakhoogte met behulp van de formules en grafieken van Bretschneider bepaald (zie bijlage B4.3.1.1.) Met deze formules wordt met de waterdiepte, de strikklengte en de windsnelheid als invoerparameters, een significante golfhoogte gevonden. Door met deze golfhoogte de golfoploop te bepalen kan de benodigde waakhoogte vastgesteld worden.

In bijlage B4.3 is de berekening gemaakt voor de benodigde waakhoogte.

Uit berekening volgt dat dijken die zijn blootgesteld aan golfbewegingen de maximaal benodige waakhoogte $0,82\text{m}^1$ bedraagt (maximale windsnelheid) en de minimaal benodige waakhoogte $0,50\text{m}^1$ bedraagt (bij een windsnelheid tot $9,5\text{m/s}$) Dijken die niet zijn blootgesteld aan golfbewegingen bedraagt de minimaal benodige waakhoogte $0,50\text{m}^1$.

Er is ervan uitgegaan dat de dijken aan golfsbeweging zijn blootgesteld, waarbij de constante windsnelheid maximaal 9,5m/s bedraagt. Dit betekent dat er gerekend wordt met een waakhoogte van 0,5m.

- **Zetting en klink**

Door de belastingtoename, tengevolge van een gemiddelde ophoging van de kruin met 1,25m grond, zal het onderliggende kleipakket gaan consolideren. Uitgangspunt voor de berekening is dat de dijkverzwarening wordt uitgevoerd in de as van de bestaande dijk. De zettingen (Δh) zijn bepaald met behulp van de gecombineerde formule van Terzaghi en Buisman-Koppejan. De formule luidt:

$$\frac{\Delta h}{h} = \left(\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log \frac{t}{t_0} \right) \ln \frac{p_0 + \Delta p}{p_0}$$

C_p = primaire samendrukkingconstante [-] = 15

C_s = secundaire samendrukkingconstante [-] = 175

t_0 = 1 etmaal = 86400 s

t = tijdsduur na aanbrengen van de extra belasting Δp [s]

Uitgaande van een gemiddeld volumiek gewicht van 15 kN/m³ voor de ophoging:

en $\gamma_{klei:gemiddeld}$ = 15 kN/m³

met Δp = 1,25m * 15 kN/m³ = 18,75 kN/m²

p_0 = 11,3m * 15 kN/m³ = 169,5 kN/m²

t = 50 jaar * 365 dagen * 86400 sec

$$\frac{\Delta h}{h} = \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{175} \log 18250 \right) \ln \frac{169.5 + 18.75}{169.5} = 0,0095$$

met h = dikte kleipakket = NAP+9,74m - NAP-2,8m = 12,54 m

dan Δh = 0,0095 * 12,54m = **0,12 m**

Als controle kan de volgende vuistregel gebruikt worden: zetting ≈ 10% van het opgebrachte materiaal. 10% * 1,25m = 12,5 cm, hetgeen vrijwel overeenkomt met berekende waarde.

Voor kruindaling en relatieve zeespiegelijzing, die in de periode tot het volgende herstel -meestal 50 jaar- wordt verwacht is 0,12 m.

De aanleghoogte van de dijk van de dijk ontworpen door het Polderdistrict is slechts 0,5m hoger dan de maatgevende hoogwaterstand. Aangezien de minimaal vereiste waakhoogte al 0,5m bedraagt, wordt door het Polderdistrict in haar ontwerp blijkbaar géén rekening gehouden een overhoogte voor de kruindaling tengevolge van zetting en klink van het dijklichaam.

Mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat het Polderdistrict, in haar ontwerp ervan uitgaat dat inspectie en onderhoud (met name ophoging) wordt uitgevoerd met korte tijdsintervallen (bijvoorbeeld al na één of twee jaar.) Er wordt dan niet met de 50 jaar gerekend, hetgeen gebruikelijk is.

In tegenstelling tot het ontwerp van het Polderdistrict komt de aanleghoogte daarmee 12 centimeter hoger te liggen op **NAP+9,86m**. In de nieuwe situatie ligt de dijk 1,00 tot 1,50 meter hoger dan de bestaande dijk.

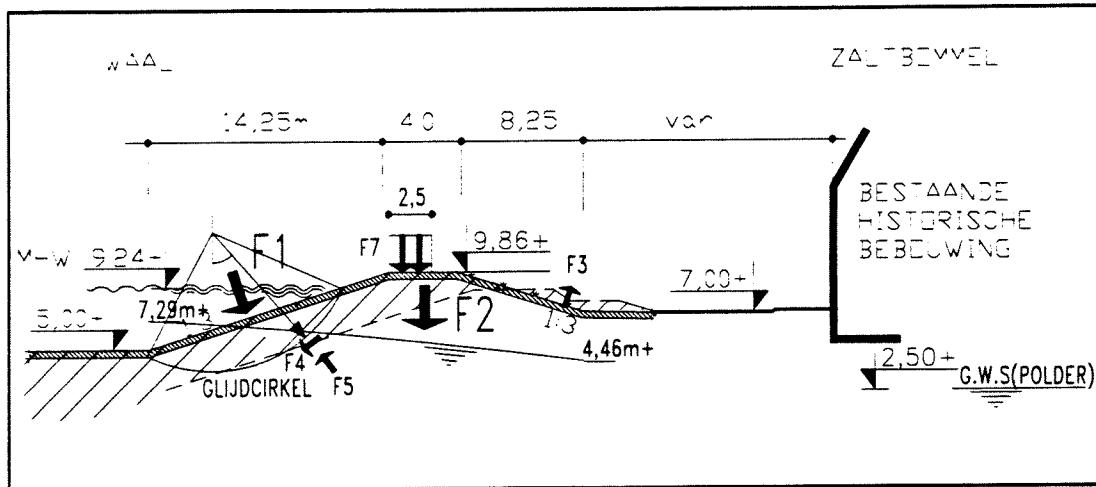
- **Voorland**

- Het niveau van het voorland ter plaatse van de buitenteen, wordt gelijk gehouden aan het bestaande niveau van NAP+5,00m
- Maaiveldniveau achter de dijk,
Het maaiveld achter de dijk wordt op NAP+7,00m gehouden.
Dit komt grofweg overeen met het straatniveau van de Waalkade en met het niveau van het bedrijfsterrein de Waal.
 - taluds
Om de stabiliteit van het dijklichaam te verbeteren heeft men verschillende middelen ter beschikking. Te denken aan toepassing van een binnenberm, of van geotextielen waardoor steilere taluds mogelijk zijn. Met filterconstructies of ontlastsloten kan de grondwaterstroming en daarmee het stijghoogteverloop in het dijklichaam beïnvloed worden, hetgeen bijdraagt tot een verbeterde stabiliteit. Alternatief hierop is toepassing van kwelschermen in de vorm van een damwand of betonierscherm. Al deze middelen ter verbetering van de stabiliteit van de dijk vormen dure oplossingen. Waarschijnlijk is daarom door het polderdistrict gekozen om de aanlegbreedte te vergroten waar dat mogelijk is. Voor de taluds is een helling van 1:3 aangehouden.

• Belastingen

De belastingen die op een dijklichaam werken zijn aangegeven in figuur 6. De maatgevende belasting op een dijklichaam komt voort uit de belasting die bezwijken van het dijklichaam tot gevolg kan hebben.

Doorgaans wordt bezwijken veroorzaakt door belasting uit het water. Stabiliteit van het dijklichaam wordt bepaald door het evenwicht tussen korrel- en waterspanningen enerzijds en de grondspanning anderzijds. Bij verweking van het dijklichaam bestaat de kans dat de korrelspanning te klein wordt. Er kunnen dan geen krachten meer via de korrels afgedragen worden. De sterkte neemt hierdoor af en daarmee ook de stabiliteit. Aangezien de stabiliteit van het dijklichaam direct wordt beïnvloed door de waterspanningen in het dijklichaam is het verloop van de rivierstand in de tijd en de opbouw van de dijk van belang.



Figuur 6, belasting op dijklichaam en glijvlakmechanisme

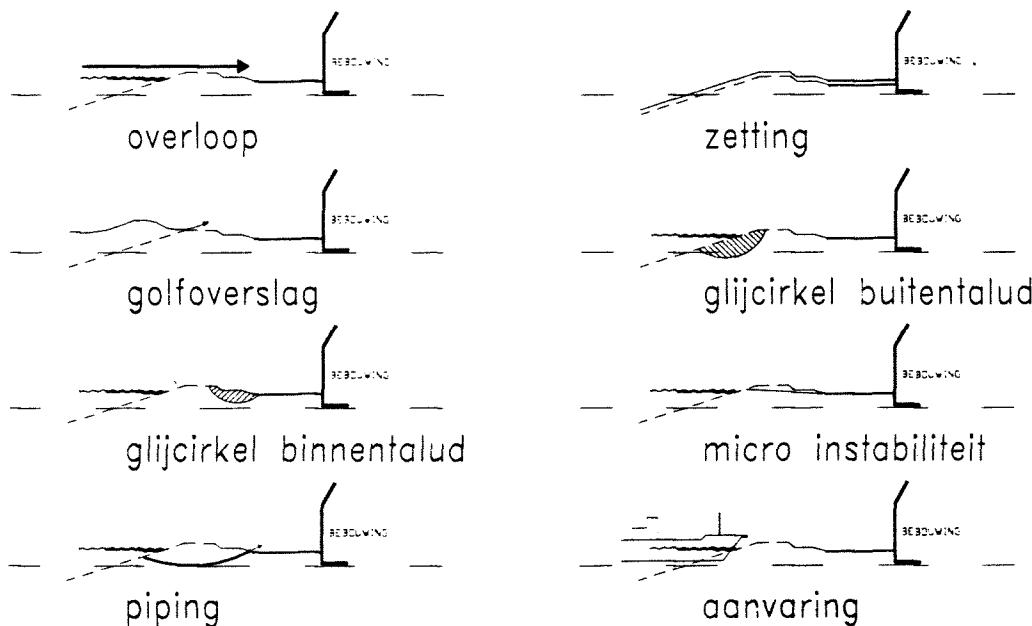
- | | |
|--------------------------------|--|
| F1: waterdruk op dijkbekleding | F4: schuifspanning τ langs glijcirkel |
| F2: eigen gewicht dijklichaam | F5: grondnormaalspanning σ_n |
| F3: waterdruk op dijkbekleding | F6: volumege wicht van de grond |

t.g.v. kwel
F7: verkeersbelasting 15 kN/m²

binnen het glijvlak

• Mogelijke bezwijkmechanismen

In deze paragraaf worden de faalmechanismen besproken die bij een traditionele dijkoplossing kunnen optreden. Bij toepassing van een bijzondere constructie kan het aantal mogelijke faalmechanismen aanzienlijk worden gereduceerd. Dit is een voordeel bij toepassing van een revolutionaire constructie als oplossing voor de dijkverzwaring. Door het optreden van instabiliteit van het dijklichaam ontstaat de kans tot bezwijken volgens een bepaald mechanisme. Er kan op verschillende manieren instabiliteit van het dijklichaam optreden. In onderstaande figuur zijn de voornaamste faalmechanismen aangegeven:



Figuur 7, faalmechanisme dijklichaam

De verschillende faalmechanismen worden in het navolgende kort behandeld.

- Overloop

Is de kruinhoogte lager dan de maatgevende hoogwaterstand dan bestaat de kans dat het water uit de rivier de polder instroomt tengevolge van 'overlopen'. Ondanks dat de constructie bij het optreden van maatgevend hoogwater 'op sterkte' niet bezwijkt, faalt de constructie. De waterkeringsconstructie voldoet wel op sterkte maar niet op het criterium 'veiligheid'.

- Zetting

Door zetting van de ondergrond, tengevolge van consolidatie van het materiaal waaruit de dijk en de onderliggende grondlagen opgebouwd is, treedt zinking van de kruin op. De tijd waarover consolidatie optreedt wordt de hydrodynamische periode genoemd. Tijdens deze hydrodynamische periode neemt de snelheid van

consolidatieproces in de tijd af. Door de afnemende waterkerende hoogte van de dijk in de tijd neemt de kans van falen van de constructie toe.

- **Golfoverslag**

Golfoverslag kan erosie en verweking van het binnentalud tot gevolg hebben met kans op bezwijken van het dijklichaam. De toplaag van het dijklichaam heeft een relatief hoge doorlatendheidswaarde door scheurtjes en wortelkanalen. Afhankelijk van het type dijkbekleding wordt een zekere hoeveelheid golfoverslag toegelaten.

Golfoverslag, uitgedrukt in een debiet per sterkende meter dijk, is afhankelijk van de golfhoogte, de golfsteilheid, de taludhelling en de aanwezige waakhoogte. Als ontwerpcriterium voor de benodigde kruinhoogte wordt als conservatieve benadering ook wel de 2%-golfoploophoogte genomen. Dit komt overeen met een overslagdebiet van 0,1 liter/seconde per m¹ dijk. Aangenomen mag worden dat de optredende infiltratie dan onvoldoende is om een verhoogde waterspanning in een potentieel glijvlak te doen ontstaan [9].

- **Glijcirkel buitentalud**

Door stroming van de rivier de Waal bestaat het gevaar voor aantasting van de dijkbekleding, in dit geval grasbekleding, en uitschuring van het buitentalud. De grond wordt door het stromende water meegevoerd waardoor het buitentalud instabiel kan worden en kan gaan afschuiven.

Bij het met water verzadigde dijklichaam bestaat het gevaar dat bij een snelle val van de rivierwaterstand, de waterdrukken vanuit het dijklichaam op de dijkbekleding te groot worden. Bij een waterdoorlatende dijkbekleding zou het water in het buitentalud kunnen uittreden. Ook in dit geval bestaat de kans op afschuiving van het buitentalud langs een (on)diep glijvlak.

- **Glijcirkel binnentalud**

Bij het met water verzadigde dijklichaam kan ook ter plaatse van het binnentalud een glijcirkel ontstaan. Het uittredende water ter plaatse van het binnentalud kan instabiliteit veroorzaken, met bezwijken tot gevolg.

- **micro instabiliteit**

Hieronder wordt verstaan: de instabiliteit van grondlagen van beperkte dikte aan het oppervlak van een talud onder invloed van stromend grondwater. Bij micro instabiliteit wordt het evenwicht evenwijdig aan- en loodrecht op het talud beschouwd. Kritieke situaties treden op bij uittredend grondwater t.p.v. het talud en bij afstromend grondwater evenwijdig aan het talud.

Bij langdurig hoogwater ontstaat, door een verhoging van de freatische lijn, verweking van het dijklichaam. De korreldrukken in het dijklichaam nemen hierbij af. Door deze verhoging bestaat de mogelijkheid van uittredend water (=kwel) aan de teen van het binnentalud. De kans micro-instabiliteit van het talud neemt hierdoor toe. Een goede constructieve detaillering ter plaatse van de teen en van de opbouw van de toplaag van het talud kan de kans van optreden van micro-instabiliteit reduceren.

Als oplossing wordt van een goede detailering uitgegaan.

- **Piping**

Bij hoge waterstanden bestaat de kans van optreden van zandmeevoerende wellen. Dit optreden van zandmeevoerende wellen wordt 'piping' genoemd. De wellen onstaan door een geconcentreerde uitstroming van grondwater, meestal onder een waterkerend

element. Door de grote snelheid van het uittredende grondwater worden gronddeeltjes meegevoerd. Hierdoor kunnen in de grond holten ontstaan.

Bij langere duur van hoge waterstanden blijft dit eroderende proces in stand, dat falen en zelfs bezwijken van de constructie tot gevolg kan hebben. Door de kwelweg lang genoeg te maken kunnen zandmeevoerende wellen worden voorkomen.

De lengte van de kwelweg wordt doorgaans bepaald met behulp van de formule van Bligh en Lane. Alhoewel het gebruik van deze formule oorspronkelijk is bedoeld voor bepaling van de kwelweg bij kunstwerken, kan deze ook worden toegepast bij rivierdijken. In het geval van het dijklichaam bij Zaltbommel, uitgevoerd als een ondoorlatende kleidijk op een slechtdoorlatende afdekkende toplaag, met daaronder een watervoerende zandlaag, het zogenaamde 'Hollands profiel', wordt in de formule van Bligh, voor de c_w -waarde '15' aangehouden.

Dit geeft als resultaat: $L_b = c_w * H$ = 42,45 m.

L_b = minimaal benodigde kwelweglengte

c_w = coefficient afhankelijk van de grondsoort = 15

H = totale verval over het dijklichaam (7,29-4,46) = 2,83 m.

- Aanvaring

Een schip dat bij hoogwater uit zijn roer loopt kan in aanvaring komen met de waterkering als er geen geleidingsconstructie wordt toegepast. De krachten die bij een aanvaring op de waterkering wordt uitgeoefend zijn aanzienlijk. Het gevaar bestaat dan ook dat de waterkering onder deze stoobelasting bezwijkt. Om dit te voorkomen wordt het voorland zodanig opgehoogd dat het schip bij een dergelijke calamiteit aan de grond loopt.

B4.2 Ontwerpberkeningen dijkafmetingen

In de paragrafen 4.2.1 tot en met 4.2.4 zijn enkele ontwerpberkeningen gemaakt voor de traditionele dijkverzwaring, als oplossing voor de dijkverbetering. Hierbij is met een aangepaste kruinhoogte gerekend van

B4.2.1 Glijvlakberekening

De stabiliteitsberekening voor de dijkverzwaring is uitgevoerd met behulp van programma MSTAB. Er zijn twee gevallen doorgerekend:

- Stabiliteit van het dijklichaam bij maatgevend hoogwater.
- Stabiliteit van het dijklichaam bij snel vallend water.

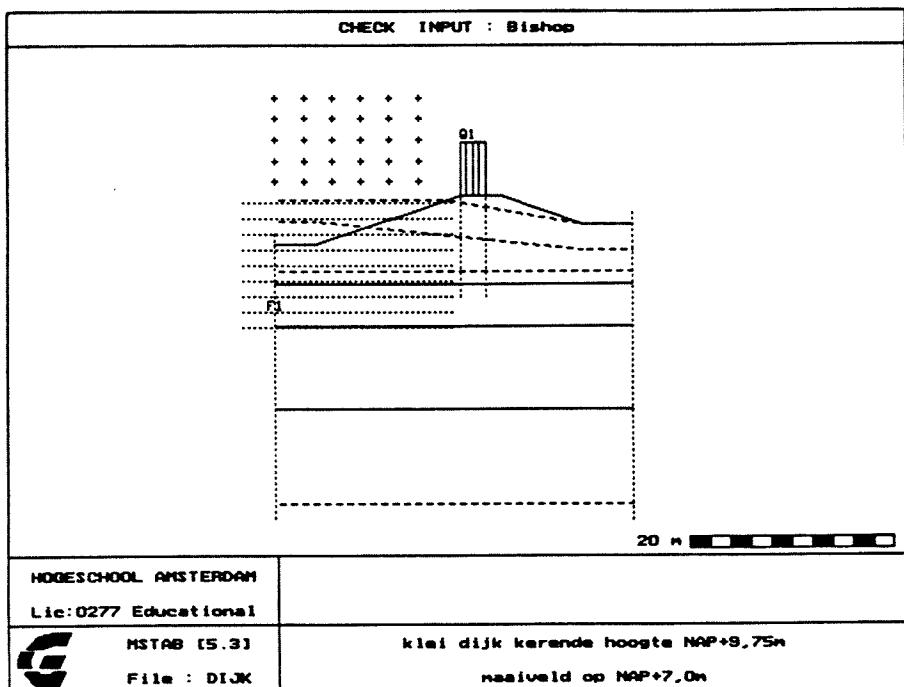
Als uitgangspunt is de minimale waterkerende hoogte genomen van 9,75m+NAP(dus exclusief de overhoogte van 0,12m), zoals geschat in figuur 4 op bladzijde 10. Als de aanleghoogte na zetting en klink is gereduceerd tot de minimale kerende hoogte, treedt de maatgevende situatie op met betrekking tot de stabiliteit van het dijklichaam. Daarom is voor de berekening uitgegaan van deze minimale kerende hoogte van NAP+9,75m.

Hierbij wordt de veiligheid tegen afschuiven gecontroleerd door de ontwerpwaarde van het aandrijvend moment M_{ad} te vergelijken met de ontwerpwaarde van het maximaal weerstandbiedende moment M_{md} .

Er moet gelden:

$$\gamma = \frac{M_{md}}{M_{ad}} \geq 1,0$$

In de berekening is het dijklichaam als volgt geschematiseerd (zie figuur 8):



Figuur 8, schematisatie dijklichaam t.b.v. MSTAB-berekening

Voor de berekening zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- controle van de stabiliteit van het dijklichaam volgens de Methode van Bishop
- het optreden van maatgevend hoogwater (NAP+ 9,25m),
- afmetingen van het dijklichaam conform figuur 4 op blz. 10,
- opbouw van de grondlagen conform het boorprofiel in paragraaf 5.1.4,
- de representatieve parameterwaarden (paragraaf 5.1.5),
- de representatieve waarden voor de beddingsconstanten uit tabel 7. (paragraaf 5.1.5),
- stijghoogte t.p.v. de buitenteen: NAP+7,29m (conform B3.1),
- stijghoogte t.p.v. de binnenteen: NAP+4,46m (conform B3.1),
- belasting Q1 van 15,0 kN/m² over 2,5m breedte links van de kruin op de dijk

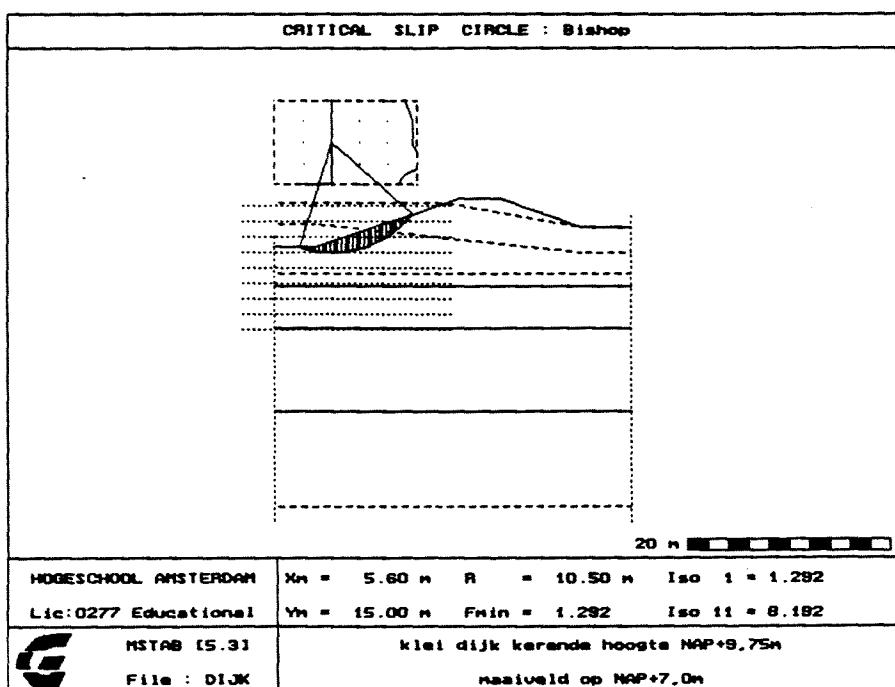
De meest kritische glijcirkel wordt bepaald door een raster van aangenomen middelpunten glijcirkels met verschillende stralen door te rekenen. De cirkel met de laagste waarde voor de veiligheid γ , wordt beschouwd als de kritieke glijcirkel.

In bijlage B5 is de invoer en uitvoer voor de stabiliteitsberekening met behulp van het programma MSTAB opgenomen.

Van de twee doorgerekende belastingsgevallen blijkt het optreden van maatgevend hoogwater maatgevend te zijn voor de stabiliteit van het dijklichaam.

De berekening geeft als resultaat dat de veiligheid tegen afschuiving (F_{min}) 1,292 bedraagt. De kritieke glijcirkel treedt op bij hoogwater ter plaatse van het buitentalud (zie figuur 9.)

De minimale vereiste veiligheid is 1,0. Dit betekent dat de ontworpen taluds steiler zouden kunnen worden opgezet (bijvoorbeeld 1:2,5.)

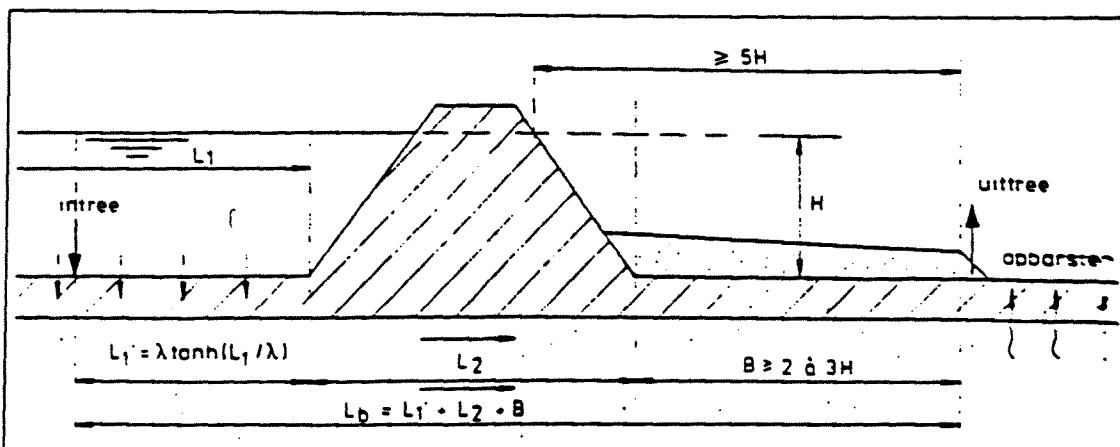


Figuur 9, kritieke glijcirkel m.b.v. het programma MSTAAB

B4.2.2 controle piping

De kwelweglengte onder een traditioneel dijklichaam wordt bepaald zoals is aangegeven in figuur 10. Bij Zaltbommel is het voorland (= de uiterwaard) opgebouwd uit een slechtdoorlatende toplaag. Als intreepunt wordt de afstand $L_1' = \lambda \tanh(L_1 / \lambda)$ vanaf de buitenteen van de dijk aangehouden.

Het uittreepunt wordt aangenomen op een afstand waar de afdekkende toplaag, onder invloed van de waterdruk in de watervoerende zandlaag, zou kunnen opbarsten. Dit is op een afstand van 3 maal de kerende hoogte van de dijk, vanaf de binnenteen van de dijk.



Figuur 10, bepaling kwelweglengte

L_1	= lengte voorland:	50 m
L_2	= dijkzate (=afstand binnenteen\buitenteen)	35 m
B	= bufferzone = 2 à 3*kerende hoogte (H)	10 m
λ	= lekfactor \sqrt{kDc} =	926 m
	met k = doorlatendheid zandpakket:	$1 \cdot 10^{-4}$ m/s
	D = dikte zandpakket:	55 m
	c = d/k_v :	$1,56 \cdot 10^8$ s
	met d = dikte toplaag: $5,0^+ - (2,8^-) = 7,8$ m	
	k_v = verticale doorlatendheid toplaag	
		$= 5 \cdot 10^{-8}$ m/s

$$L'_1 = \lambda \tanh(L_1/\lambda) = 926 \tanh(50/926) = 49.95 \text{ m}$$

De kwelweglengte L_b wordt dan:

$$L_b = L'_1 + L_2 + B = 50 + 35 + 10 = 95,00 \text{ m} \geq c_w * H = 42,45 \text{ m} \Rightarrow \text{voldoet}$$

Conclusie:

Bij een Hollands grondprofiel zoals dat bij Zaltbommel is aangenomen, vormt piping geen probleem bij toepassing van een traditionele dijkverzwareing.

Wordt er geen bufferzone toegepast, dan moet de minimale lengte van het intreepunt t.p.v. het voorland 7,5 meter bedragen om aan de ontwerpeis te voldoen.

B4.3 Berekening benodigde waakhoogte

Onderscheid in berekening waakhoogte

Bij het vaststellen van de benodigde waakhoogte wordt onderscheid gemaakt tussen:

1. waterkeringen met een talud
 - met golfoploop
 - zonder golfoploop
2. waterkeringen met een verticale wand

B4.3.1 waterkeringen met een talud

De waakhoogte wordt bepaald aan de hand van de te verwachten golfoploop.

De golfoploop is afhankelijk van de golffoogte en -periode, de hoek die het talud met de horizontaal maakt en de eigenschappen van het talud, zoals de ruwheid. Verder speelt de maximaal toelaatbare golfoverslag een rol bij vaststelling van de waakhoogte. Als minimum waakhoogte is 0,5m vereist (verticaal gemeten.)

- **Dijken blootgesteld aan golfbewegingen**

Voor de berekening zijn de volgende aannames gedaan:

Waterdiepte: MHW - niveau vooroever/uiterwaard (N.A.P.+5,0 m¹): 4,25 m¹.

Strijklengte: 900 m¹.

Windsnelheid: 14 m/s (= de *maximale* constante windsnelheid uit de grafiek)

Volgens grafiek Bretschneider: significante golffoogte (H_s): 0,34 m¹.

Algemeen luidt de formule voor golfoploop:

$$z_{2\%} = 0,74T\sqrt{(g H_s) \tan \alpha}$$

Voor waterkeringen met taluds die flauwer zijn dan 1:3 en een optredende golfsteilheid die minder bedraagt dan 6% (=overeenkomstig met $H_s/L_o = 1:20$ à 1:15), dan mag een vereenvoudigde formule worden toegepast die luidt:

$$z_{2\%} = 8 H_s \tan \alpha \quad \text{met} \quad H_s = 0,34 \text{ m}^1.$$

taludhelling α : 1:3 en $\alpha = 18,43^\circ$
 $\tan \alpha = 0,334$

Volgens formule: $z_{2\%} = 0,90 \text{ m}^1$. (Dit is een conservatieve benadering.)

De formule geldt voor gladde taluds. Bij Zaltbommel bestaat het talud uit een grasbekleding waarvoor volgens de leidraad een reductiecoëfficiënt mag worden toegepast van 0,85 à 0,9 (zie tabel 1).

Bekleding	Relatieve reductie
Glad, gesloten	1
Betonplaten	0,9
Basalstglooiing – bloksteen – grasmat	0,85 à 0,9
1 laag stortsteen op ondoorlatende laag	0,8
Gezette stenen	0,75 à 0,8
Gestorte ronde stenen	0,6 à 0,65
Gestorte breuksteen	0,5 à 0,6

Tabel 1, reductiefactoren voor formule golfoploop

De totale waakhoogte wordt dan:

$$z_{2\%} = \text{reductiecoëfficient} * 0,90 \text{ m}^1. = 0,816 \text{ m}^1.$$

Bij bovenstaande uitgangspunten geeft dit voor dijken die zijn blootgesteld aan golfbewegingen het volgende resultaat:

De minimaal benodige dijktafelhoogte = NAP+9,25m + 0,82m = NAP+10,07m¹
(exclusief 0,12m overhoogte t.b.v. zetting en klink)

Wordt voor de windsnelheid 8,0 m/s aangehouden dan reduceert de significante golphoogte (H_s) tot 0,17m¹.

De golfoploop reduceert dan tot 0,45m. Met een reductie van 0,9 (zie tabel 1) wordt de benodigde waakhoogte: 0,41m¹. Minimaal moet 0,5m¹ worden aangehouden.

Tot een constante windsnelheid van 9,5m/s, is de vereiste waakhoogte gelijk aan de minimale waakhoogte van 0,5m¹.

De minimaal benodige dijktafelhoogte = NAP+9,25 + 0,50m = NAP+9,75 m¹.
(exclusief 0,12m overhoogte t.b.v. zetting en klink)

- **Dijken niet blootgesteld aan golfbewegingen**

Voor dijken die niet zijn blootgesteld aan golfbewegingen geldt de minimale waakhoogte van 0,5m¹.

De minimaal benodige dijktafelhoogte = NAP+9,25 + 0,50m = NAP+9,75 m¹.
(exclusief 0,12m overhoogte t.b.v. zetting en klink)

Er wordt ervan uitgegaan dat de dijken aan golfbeweging zijn blootgesteld waarbij de constante windsnelheid maximaal 9,5m/s bedraagt.

B4.3.1.1 Grafieken en tabellen van Bretscheider

In de voorgaande berekening is uitgegaan van de grafieken van Bretscheider.

Door invoer van een constante windsnelheid, een waterdiepte ter plaatse van de uiterwaard en een strikklengte kan de met behulp van de juiste grafiek de significante golphoogte worden bepaald.

$$\frac{gH_s}{u^2} = 0,283 \tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{u^2} \right)^{0,75} \right] \tanh \frac{0,0125 \left(\frac{gF}{u^2} \right)^{0,42}}{\tanh \left[0,530 \left(\frac{gd}{u^2} \right)^{0,75} \right]}$$

$$\frac{gT}{u} = 2\pi * 1,2 \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{u^2} \right)^{0,375} \right] \tanh \frac{0,077 \left(\frac{gF}{u^2} \right)^{0,25}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{u^2} \right)^{0,375} \right]}$$

met H_s = significante golphoogte [m]

T = golfperiode [s]

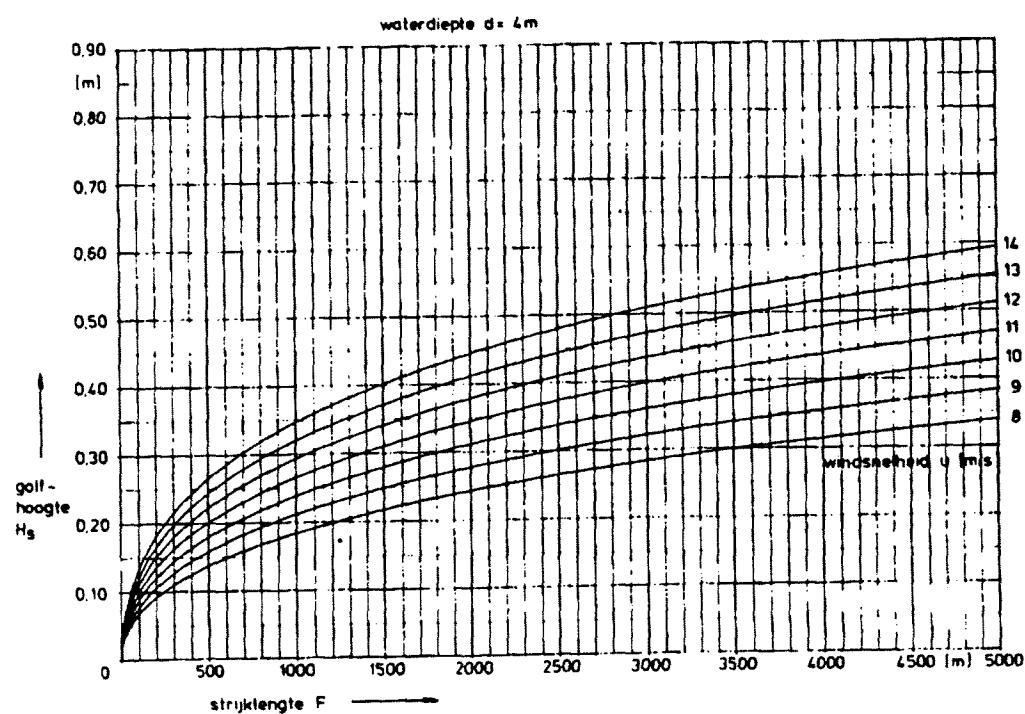
F = strikklengte [m]

d = waterdiepte [m]

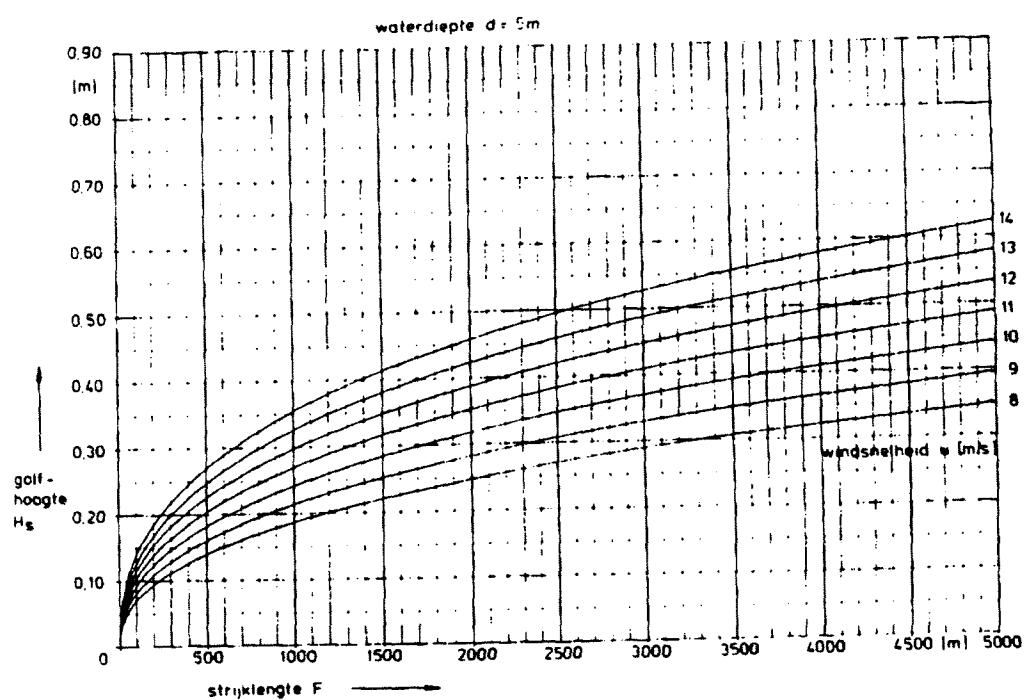
u = windsnelheid [m/s]

g = zwaartekrachtversnelling [m/s²]

Met bovenstaande formules kan de samenhang tussen de verschillende parameters in een grafiek worden uitgezet (zie figuur 11 en figuur 12.)



Figuur 11, grafiek van Bretscheider, waterdiepte 4,0m



Figuur 12, grafiek van Bretscheider, waterdiepte 5,0m

B4.3.2 Waterkeringen met een verticale wand

Bij de Multifunctionele waterkering heeft men met een verticale wand te maken. De golven zullen niet breken en er zal geen golfoploop plaats vinden zoals bij een traditionele dijkverzwaring. Er treedt hier het fenomeen op van een ‘staande golf’. De beweging kent vaste punten, de z.g. knopen waarin de oppervlakte-uitwijkking, de verticale snelheid en de druk gelijk is aan nul. De horizontale snelheid varieert hier maximaal. Vaste punten waarin het tegengestelde zich voordoet worden buiken genoemd. Ter plaatse van de verticale wand bevindt zich een buik. Afhankelijk van de ruwheid van de wand kan de amplitude ter plaatse van de wand oplopen tot maximaal 2* de amplitude van de invallende golf (a_i). $a_s = 2 * a_i$.

De golfhoogte van de invallende golf is 2* de golfamplitude: $H_i = 2a_i$. Ter plaatse van de wand is de golfhoogte conform het bovenstaande dus maximaal 4* a_i . Dit houdt in dat de overhoogte ten opzichte van de stilstaand waterlijn bij maatgevend hoogwater minimaal een $\frac{1}{2}H_s = 2^*$ de golfamplitude a_i moet bedragen. Dit komt overeen met de berekende golfhoogte immers $H_s = 2a_i$. Eerder is berekend dat $H_i = 0,34m$. Dus de overhoogte ten opzichte van de stilstaand waterlijn bij maatgevend hoogwater wordt $\frac{1}{2}H_s = H_i = 0,34m$.

Als minimum wordt 0,5m aangehouden.

B4.4 Haalbaarheid v.e. dijk als MFW

Het vereiste ruimtebeslag zorgt langs het tracé voor de nodige problemen. De ruimte kan voor de dijkverzwaring worden vrij gemaakt maar gaat ten koste van LNC waarden.

- Voordeel

Ten opzichte van de nader te noemen oplossingen is dit een relatief goedkope oplossing. Grondverzet is goedkoper dan het aanbrengen van een kerende constructie.

De uitvoering is vrij eenvoudig.

Aansluiting op de bestaande constructie is gemakkelijk te realiseren.

Een grondlichaam is goed aan te passen op de in de toekomst vereiste kerende hoogten. Er is veel kennis van en ervaring met deze techniek, zowel de ‘niewbouw’, aanpassing, onderhoud als uitbreiding hiervan. Het opnieuw bekijken van optimale oplossingen die passen bij nieuwe ontwikkelingen wordt hierdoor niet gestimuleerd (pakt op termijn uit als nadeel).

- Nadeel

Benodigde afmetingen, met name de aanlegbreedte, zijn relatief groot.

Zonder hulpmiddelen is een verticale wandafwerking niet mogelijk.

Mogelijkheden als toepassing voor een multifunctionele waterkering zijn gering.

Grondlichaam is kwetsbaar voor externe invloeden: rattengangen, wortels van begroeiing.

Een grondlichaam is zettingsgevoelig.

Het grondlichaam is opgebouwd uit natuurlijk materiaal en vergt derhalve continue (intensieve) monitoring.

Conclusie:

Dijkverzwaren zijn technisch goed haalbaar.

Als multifunctionele waterkering is een dijkverzwaren geen goede optie omdat de combinatie van functies in verticale zin niet mogelijk is en het ruimtebeslag bij het combineren van functies in horizontale zin te groot wordt.

B5 Uitvoer Mstab

B5.1 Invoerfile Maatgevend hoogwater

Input file for MSTAB : Stability of earth slopes.

```
=====
===== COMPANY : HOGESCHOOL AMSTERDAM
===== LICENCE : 0277
===== DATE : 1999-04-06
===== TIME : 8:42:08
===== FILENAME : DIJK.STI created by MSTAB version 5.3
===== ===== BEGINNING OF DATA
===== =====
```

klei dijk kerende hoogte NAP+9,75m
maaiveld op NAP+7,0m, Maatgev. Hoogwater

Layer	Rho-dry	Rho-wt	Cohes	Phi	Ko	Cu-top	Cu-bot	PN1	
PN2	Spare								
1	17.00	21.00	0.00	35.00	0.50	0.00	0.00	2	
2	0								
	2	15.50	19.50	0.00	31.00	0.50	0.00	0.00	2
2	0								
	3	15.00	18.00	1.00	27.50	0.50	0.00	0.00	1
2	0								
	4	14.00	17.00	5.00	22.50	0.50	0.00	0.00	-3
1	0								
1	- Number of areas								
	1	0.00	35.00	- Area number, X-left and X-right					
9.81	- Unit weight of water								
0	- Consolidation percentages. Capillary water NOT included								
4	100								
3	100 100								
2	100 100 100								
1	100 100 100 100								
	- Grid and tangent lines								
	0.000	14.000	6	X-direction					
	11.000	19.000	5	Y-direction					
	9.000	-3.000	9	Tangent lines					
	0.000	0.000	0	Fixed point					
1	- Line loads								
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
1	- Uniform loads								
1	15.00	18.10	20.60	0.00					
0	- Temporary loads								
0	- Number of stress tables								
0	0 - Stress Tables for layer 1								
0	0 - Stress Tables for layer 2								
0	0 - Stress Tables for layer 3								

0 0 - Stress Tables for layer 4
0 - Number of geotextiles

END OF MSTAB INPUT FILE

B5.2 Uitvoerfile Maatgevend hoogwater

	MM	MM	SSSSSS	TTTTTTTTT	AAAAAAA		
BBBBBBBB	MMMM	MMMM	S	TT	AA	AA	BB
BB	MM MM	MM MM	S	TT	AA	AA	BB
BB	MM MM	MM MM	SSSSSS	TT	AAAAAAA		
BBBBBBBB	MM	MM	S	TT	AA	AA	BB
BB	MM	MM	S	TT	AA	AA	BB
BB	MM	MM	SSSSSS	TT	AA	AA	
BBBBBBBB							

S L O P E S T A B I L I T Y
 developed by:
 D E L F T G E O T E C H N I C S

Version : 5.3
 Update : 950303
 Licence : 0277
 Copy : N1
 Company : HOGESCHOOL AMSTERDAM

Date : 1999-04-06
 Time : 8:42:09

Problem identification : klei dijk kerende hoogte NAP+9,75m
 : maaiveld op NAP+7,0m, Maatgev. Hoogwater

Input file : DIJK.STI
 Output file : DIJK.STO
 Drawing data file : DIJK.STP

ECHO OF THE INPUT
 =====

Calculation method : Bishop

LAYER BOUNDARIES
 =====

Boundary no.	Coordinates [m]
-----	-----

4 - X -	0.00	4.00	18.10	22.10	30.20	35.00
4 - Y -	5.00	5.00	9.75	9.75	7.00	7.00
3 - X -	0.00	35.00				
3 - Y -	1.20	1.20				
2 - X -	0.00	35.00				
2 - Y -	-2.80	-2.80				
1 - X -	0.00	35.00				
1 - Y -	-10.80	-10.80				
0 - X -	0.00	35.00				
0 - Y -	-20.00	-20.00				

PL-LINES

=====

PL-line no.	Coordinates [m]			

1 - X -	0.00	35.00		
1 - Y -	2.50	2.50		
2 - X -	0.00	4.00	30.20	35.00
2 - Y -	7.29	7.29	4.46	4.46
3 - X -	0.00	16.60	30.20	35.00
3 - Y -	9.25	9.25	7.00	7.00

Unit weight of water used for calculation: 9.81 [kN/m³]
The groundwater level is determined by PL-line number 1

FORBIDDEN LINES

=====

No forbidden lines were input.

GENERAL SOIL PROPERTIES

=====

Layer number	Gam dry [kN/m³]	Gam wet [kN/m³]	Cohesion [kN/m²]	Phi degrees	PL-line top	PL-line bottom
4	14.00	17.00	5.00	22.50	-3	1
3	15.00	18.00	1.00	27.50	1	2
2	15.50	19.50	0.00	31.00	2	2
1	17.00	21.00	0.00	35.00	2	-

No consolidation percentages <> 100% input.

CENTER POINT GRID AND TANGENT LINES

=====

X - coordinate grid left : 0.00 [m]
 X - coordinate grid right : 14.00 [m]
 Number of grid points in X - direction : 6

Y - coordinate grid bottom : 11.00 [m]
 Y - coordinate grid top : 19.00 [m]
 Number of grid points in Y - direction : 5

Y - coordinate tangent smallest circle : 9.00 [m]
 Y - coordinate tangent biggest circle : -3.00 [m]
 Number of circles per grid point : 9

No fixed points input.

Total number of center points in the grid: 30
 Total number of slip circles in the grid : 270

LINE LOADS

=====

Line load number	Magnitude [kN/m]	X coor. [m]	Y coor [m]	Angle degrees	Distrib. degrees
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIFORM LOAD

=====

Uniform load number	Magnitude [kN/m]	X start [m]	X end [m]	Distrib. degrees
1	15.00	18.10	20.60	0.00

TEMPORARY LOAD

=====

No temporary loads were input.

GEOTEXTILES

=====

No geotextiles were input.

```
*****  
*****  
***** The input has been tested, and is correct.  
*****  
*****  
*****
```

RESULTS OF THE SLOPE STABILITY ANALYSIS

=====

Calculation method : Bishop

Minimum safety factor per slip circle.

X-coord [m]	Y-coord [m]	Radius [m]	F	
0.00	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	6.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

0.00	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
----- ----- ----- -----				
2.80	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	11.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	6.50	8.192	Negative effective stress.
times.				
2.80	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
<hr/>				
5.60	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	8.00	1.716	Negative effective stress.
5.60	11.00	6.50	1.492	Negative effective stress.
5.60	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	8.50	1.355	Negative effective stress.
5.60	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

5.60	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	10.50	1.292	Negative effective stress.
5.60	15.00	9.00	49.282	Negative effective stress.
5.60	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	12.50	1.323	Negative effective stress.
5.60	17.00	11.00	12.094	Negative effective stress.
5.60	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	14.50	1.393	Negative effective stress.
5.60	19.00	13.00	6.869	Negative effective stress.
5.60	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	
8.40	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	9.50	2.334	Negative effective stress.
8.40	11.00	8.00	1.859	Negative effective stress.
8.40	11.00	6.50	1.485	Negative effective stress.

8.40	11.00	5.00	2.499	Negative effective stress.
8.40	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	11.50	2.089	Negative effective stress.
8.40	13.00	10.00	1.790	Negative effective stress.
8.40	13.00	8.50	1.478	Negative effective stress.
8.40	13.00	7.00	2.112	Negative effective stress.
8.40	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	12.00	1.671	Negative effective stress.
8.40	15.00	10.50	1.511	Negative effective stress.
8.40	15.00	9.00	1.834	Negative effective stress.
8.40	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	14.00	1.631	Negative effective stress.
8.40	17.00	12.50	1.480	Negative effective stress.
8.40	17.00	11.00	1.726	Negative effective stress.
8.40	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	16.00	1.685	Negative effective stress.

8.40	19.00	14.50	1.449	Negative effective stress.
8.40	19.00	13.00	1.793	Negative effective stress.
8.40	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	-----
11.20	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	11.00	12.50	2.776	Negative effective stress.
11.20	11.00	11.00	2.673	Negative effective stress.
11.20	11.00	9.50	2.303	Negative effective stress.
11.20	11.00	8.00	2.124	Negative effective stress.
11.20	11.00	6.50	2.048	Negative effective stress.
11.20	11.00	5.00	1.869	Negative effective stress.
11.20	11.00	3.50	15.189	Negative effective stress.
11.20	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	13.00	2.644	Negative effective stress.
11.20	13.00	11.50	2.248	Negative effective stress.
11.20	13.00	10.00	1.899	Negative effective stress.
11.20	13.00	8.50	1.768	Negative effective stress.
11.20	13.00	7.00	1.857	Negative effective stress.
11.20	13.00	5.50	7.851	Negative effective stress.
11.20	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	15.00	2.735	Negative effective stress.
11.20	15.00	13.50	2.292	Negative effective stress.
11.20	15.00	12.00	1.931	Negative effective stress.
11.20	15.00	10.50	1.667	Negative effective stress.
11.20	15.00	9.00	1.744	Negative effective stress.
11.20	15.00	7.50	5.268	Negative effective stress.
11.20	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	15.50	2.381	Negative effective stress.
11.20	17.00	14.00	1.978	Negative effective stress.
11.20	17.00	12.50	1.724	Negative effective stress.
11.20	17.00	11.00	1.646	Negative effective stress.
11.20	17.00	9.50	4.032	Negative effective stress.
11.20	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

11.20	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	17.50	2.490	Negative effective stress.
11.20	19.00	16.00	2.070	Negative effective stress.
11.20	19.00	14.50	1.830	Negative effective stress.
11.20	19.00	13.00	1.657	Negative effective stress.
11.20	19.00	11.50	3.604	Negative effective stress.
11.20	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	11.00	14.00	3.946	Negative effective stress.
14.00	11.00	12.50	3.737	Negative effective stress.
14.00	11.00	11.00	3.609	Negative effective stress.
14.00	11.00	9.50	3.096	Negative effective stress.
14.00	11.00	8.00	2.671	Negative effective stress.
14.00	11.00	6.50	2.265	Negative effective stress.
14.00	11.00	5.00	2.214	Negative effective stress.
14.00	11.00	3.50	2.895	Negative effective stress.
14.00	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	13.00	16.00	4.067	Negative effective stress.
14.00	13.00	14.50	3.796	Negative effective stress.
14.00	13.00	13.00	3.621	Negative effective stress.
14.00	13.00	11.50	3.081	Negative effective stress.
14.00	13.00	10.00	2.643	Negative effective stress.
14.00	13.00	8.50	2.250	Negative effective stress.
14.00	13.00	7.00	1.915	Negative effective stress.
14.00	13.00	5.50	2.332	Negative effective stress.
14.00	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	15.00	16.50	3.948	Negative effective stress.
14.00	15.00	15.00	3.722	Negative effective stress.
14.00	15.00	13.50	3.178	Negative effective stress.
14.00	15.00	12.00	2.736	Negative effective stress.
14.00	15.00	10.50	2.368	Negative effective stress.
14.00	15.00	9.00	2.033	Negative effective stress.
14.00	15.00	7.50	2.026	Negative effective stress.
14.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	17.00	3.899	Negative effective stress.
14.00	17.00	15.50	3.295	Negative effective stress.
14.00	17.00	14.00	2.860	Negative effective stress.
14.00	17.00	12.50	2.507	Negative effective stress.
14.00	17.00	11.00	2.208	Negative effective stress.
14.00	17.00	9.50	2.044	Negative effective stress.
14.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

14.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
14.00	19.00	19.00	4.099	Negative effective stress.
14.00	19.00	17.50	3.441	Negative effective stress.
14.00	19.00	16.00	3.018	Negative effective stress.
14.00	19.00	14.50	2.665	Negative effective stress.
14.00	19.00	13.00	2.394	Negative effective stress.
14.00	19.00	11.50	2.193	Negative effective stress.
14.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

Information on the critical circle : Fmin = 1.292
 Calculation method used : (Bishop method)
 =====

X - coordinate center point : 5.60 [m]
 Y - coordinate center point : 15.00 [m]
 Radius of critical circle : 10.50 [m]

The center point of the critical circle is enclosed !

Driving moment soil : -478.84 [kNm/m]
 Driving moment free water : 0.00 [kNm/m]
 Driving moment external loads : 0.00 [kNm/m]
 Iterated resisting moment : 478.84 [kNm/m]
 Non-iterated resisting moment : 606.18 [kNm/m]

SLICE DATA

=====

Slice	X-coor	Y-bot	Y-top	Width	Angle bottom	Angle top	[m]
Arc.len.	[m]	[m]	[m]	[m]			
1 2.56 4.95 5.00 0.32 -16.84 0.00 0.33							
5.00							
2 2.88 4.86 5.00 0.32 -15.02 0.00 0.33							
5.00							
3 3.20 4.78 5.00 0.32 -13.22 0.00 0.33							
5.00							
4 3.52 4.71 5.00 0.32 -11.43 0.00 0.33							
5.00							
5 3.84 4.65 5.00 0.32 -9.65 0.00 0.32							
5.00							
6 4.18 4.60 5.06 0.37 -7.75 18.62 0.37							
5.00							
7 4.55 4.55 5.19 0.37 -5.73 18.62 0.37							
5.00							
8 4.92 4.52 5.31 0.37 -3.72 18.62 0.37							
5.00							
9 5.29 4.51 5.43 0.37 -1.71 18.62 0.37							
5.00							
10 5.65 4.50 5.56 0.37 0.30 18.62 0.37							
5.00							
11 6.02 4.51 5.68 0.37 2.30 18.62 0.37							
5.00							
12 6.39 4.53 5.81 0.37 4.31 18.62 0.37							
5.00							
13 6.76 4.57 5.93 0.37 6.33 18.62 0.37							
5.00							
14 7.13 4.61 6.05 0.37 8.35 18.62 0.37							
5.00							
15 7.49 4.67 6.18 0.37 10.39 18.62 0.37							
5.00							
16 7.86 4.75 6.30 0.37 12.43 18.62 0.38							
5.00							
17 8.23 4.84 6.42 0.37 14.50 18.62 0.38							
5.00							
18 8.60 4.94 6.55 0.37 16.58 18.62 0.38							
5.00							
19 8.96 5.06 6.67 0.37 18.69 18.62 0.39							
5.00							
20 9.33 5.19 6.80 0.37 20.81 18.62 0.39							
5.00							
21 9.70 5.33 6.92 0.37 22.96 18.62 0.40							
5.00							
22 10.06 5.50 7.04 0.37 25.15 18.62 0.40							
5.00							
23 10.43 5.68 7.16 0.37 27.37 18.62 0.41							
5.00							

24	10.79	5.88	7.29	0.37	29.64	18.62	0.42
5.00							
25	11.16	6.09	7.41	0.37	31.96	18.62	0.43
5.00							
26	11.52	6.33	7.53	0.37	34.35	18.62	0.44
5.00							
27	11.87	6.58	7.65	0.32	36.65	18.62	0.40
5.00							
28	12.19	6.83	7.76	0.32	38.88	18.62	0.41
5.00							
29	12.51	7.10	7.87	0.32	41.18	18.62	0.43
5.00							
30	12.83	7.39	7.98	0.32	43.56	18.62	0.45
5.00							
31	13.16	7.71	8.08	0.32	46.05	18.62	0.46
5.00							
32	13.48	8.06	8.19	0.32	48.65	18.62	0.49
5.00							

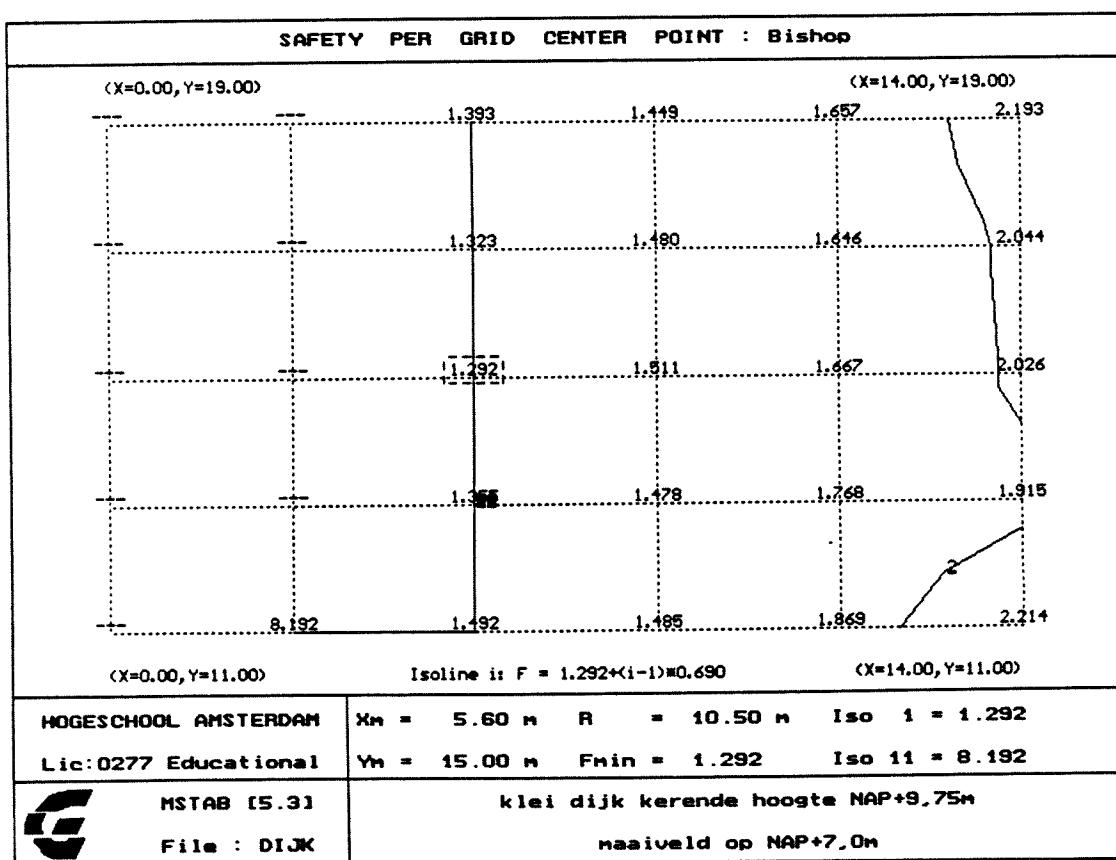
Slice	Phi	Sw surf	Fw hor.	Fw ver.	Weight	S-tot.	S-eff.
Sw-hydro	degree	[kN/m ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m ²]	
[kN/m ²]	[kN/m ²]						
-24.05	22.50	0.00	0.00	-0.00	0.22	0.68	0.00
-23.15	22.50	0.00	0.00	-0.00	0.63	1.96	0.00
-22.36	22.50	0.00	0.00	-0.00	0.99	3.09	0.00
-21.67	22.50	0.00	0.00	-0.00	1.30	4.07	0.00
-21.09	22.50	0.00	0.00	-0.00	1.57	4.90	0.00
-20.58	22.50	0.00	0.00	-0.00	2.39	6.50	0.00
-20.15	22.50	0.00	0.00	-0.00	3.25	8.84	0.00
-19.85	22.50	0.00	0.00	-0.00	4.05	11.00	0.00
-19.68	22.50	0.00	0.00	-0.00	4.77	12.98	0.00
-19.64	22.50	0.00	0.00	-0.00	5.43	14.78	0.00
-19.72	22.50	0.00	0.00	-0.00	6.03	16.40	0.00
-19.93	22.50	0.00	0.00	-0.00	6.56	17.83	0.00
-20.26	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.02	19.09	0.00
-20.73	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.41	20.16	0.00
-21.32	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.74	21.04	0.00
-22.05	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.99	21.74	0.00
-22.92	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.18	22.24	0.00
-23.92	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.29	22.54	0.17
-25.07	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.32	22.64	1.05
-26.36	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.23	22.52	1.70
-27.80	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.11	22.19	2.12
-29.40	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.90	21.63	2.32
-31.17	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.61	20.83	2.29
-33.12	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.23	19.77	2.03
-35.26	22.50	0.00	0.00	-0.00	6.74	18.44	1.52

26	22.50	0.00	0.00	-0.00	6.15	16.82	0.76
-37.60							
27	22.50	0.00	0.00	-0.00	4.84	15.02	0.00
-40.00							
28	22.50	0.00	0.00	-0.00	4.20	13.04	0.00
-42.46							
29	22.50	0.00	0.00	-0.00	3.47	10.76	0.00
-45.12							
30	22.50	0.00	0.00	-0.00	2.63	8.16	0.00
-48.00							
31	22.50	0.00	0.00	-0.00	1.67	5.19	0.00
-51.15							
32	22.50	0.00	0.00	-0.00	0.58	1.80	0.00
-54.59							

Slice	Sw-extr	Sw tot.	S shear	Cu	Ko	Sig-
Vo'	Alf*SigB	Sig-Alfa				
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
	[kN/m ²]					
1 0.00	24.73	0.68	4.29	0.00	0.00	0.00
2 0.00	25.11	1.96	4.24	0.00	0.00	0.00
3 0.00	25.45	3.09	4.19	0.00	0.00	0.00
4 0.00	25.74	4.07	4.14	0.00	0.00	0.00
5 0.00	25.99	4.90	4.09	0.00	0.00	0.00
6 0.00	27.08	6.50	4.05	0.00	0.00	0.00
7 0.00	28.99	8.84	4.00	0.00	0.00	0.00
8 0.00	30.86	11.00	3.95	0.00	0.00	0.00
9 0.00	32.66	12.98	3.91	0.00	0.00	0.00
10 0.00	34.42	14.78	3.86	0.00	0.00	0.00
11 0.00	36.11	16.40	3.82	0.00	0.00	0.00
12 0.00	37.76	17.83	3.78	0.00	0.00	0.00
13 0.00	39.35	19.09	3.74	0.00	0.00	0.00
14 0.00	40.89	20.16	3.70	0.00	0.00	0.00
15 0.00	42.37	21.04	3.66	0.00	0.00	0.00
16 0.00	43.79	21.74	3.62	0.00	0.00	0.00
17 0.00	45.15	22.24	3.57	0.00	0.00	0.00
18 0.17	46.28	22.36	3.58	0.00	0.00	0.00
19 1.05	46.65	21.59	3.80	0.00	0.00	0.00
20 1.70	47.18	20.82	3.94	0.00	0.00	0.00
21 2.12	47.86	20.07	4.01	0.00	0.00	0.00
22 2.32	48.71	19.31	4.01	0.00	0.00	0.00
23 2.29	49.70	18.53	3.95	0.00	0.00	0.00
24 2.03	50.86	17.74	3.82	0.00	0.00	0.00
25 1.52	52.17	16.92	3.63	0.00	0.00	0.00

26	53.66	16.06	3.38	0.00	0.00	0.00	0.00
0.76							
27	55.02	15.02	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							
28	55.49	13.04	3.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							
29	55.88	10.76	3.02	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							
30	56.16	8.16	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							
31	56.34	5.19	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							
32	56.39	1.80	2.84	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00							

END OF MSTAB OUTPUT



Figuur 2, detail van safetygrid

B5.3 Invoerfile snelvallend water

Input file for MSTAB : Stability of earth slopes.

```
=====
=====

COMPANY : HOGESCHOOL AMSTERDAM
LICENCE : 0277
DATE   : 1999-04-06
TIME   : 8:37:56
FILENAME : DIJK1.STI created by MSTAB version 5.3
=====          BEGINNING OF DATA
=====

klei dijk, kerende hoogte NAP+9,75m
maaiveld op NAP+7,0m, snelvallend water

1 : BISHOP method
0 : Not used
0 : No potential file used
0 - Forbidden lines
1 1 - Cu boundary number & PL-line after loading
4 - Number of layers
- General soil data
Layer Rho-dry Rho-wt Cohes Phi Ko Cu-top Cu-bot PN1
PN2 Spare
1 17.00 21.00 0.00 35.00 0.50 0.00 0.00 2
2 0
2 2 15.50 19.50 0.00 31.00 0.50 0.00 0.00 2
2 0
3 15.00 18.00 1.00 27.50 0.50 0.00 0.00 1
2 0
4 14.00 17.00 5.00 22.50 0.50 0.00 0.00 -3
1 0
1 - Number of areas
1 0.00 35.00 - Area number, X-left and X-right
9.81 - Unit weight of water
0 - Consolidation percentages. Capillary water NOT included
4 100
3 100 100
2 100 100 100
1 100 100 100 100
- Grid and tangent lines
0.000 14.000 6 X-direction
11.000 19.000 5 Y-direction
9.000 -3.000 9 Tangent lines
0.000 0.000 0 Fixed point
1 - Line loads
1 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
1 - Uniform loads
1 15.00 18.10 20.60 0.00
0 - Temporary loads
0 - Number of stress tables
0 0 - Stress Tables for layer 1
0 0 - Stress Tables for layer 2
0 0 - Stress Tables for layer 3
0 0 - Stress Tables for layer 4
0 - Number of geotextiles

END OF MSTAB INPUT FILE
```

B5.4 Uitvoerfile snelvallend water

MM	MM	SSSSSSS	TTTTTTTTT	AAAAAAA		
BBBBBBBB						
BB	MMMM	MMMM	S	TT	AA	AA
BB	MM MM	MM MM	S	TT	AA	AA
BB	MM	MM	SSSSSS	TT	AAAAAAA	
BBBBBBBB						
BB	MM	MM	S	TT	AA	BB
BB	MM	MM	S	TT	AA	AA
BB	MM	MM	SSSSSS	TT	AA	AA
BBBBBBBB						

S L O P E S T A B I L I T Y
 developed by:
D E L F T G E O T E C H N I C S

Version : 5.3
 Update : 950303
 Licence : 0277
 Copy : N1
 Company : HOGESCHOOL AMSTERDAM

Date : 1999-04-06
 Time : 8:38:00

Problem identification : klei dijk, kerende hoogte NAP+9,75m
 : maaiveld op NAP+7,0m, snelvallend water

Input file : DIJK1.STI
 Output file : DIJK1.STO
 Drawing data file : DIJK1.STP

ECHO OF THE INPUT
 =====

Calculation method : Bishop

LAYER BOUNDARIES
 =====

Boundary no.	Coordinates [m]
4 - X -	0.00 4.00 18.10 22.10 30.20 35.00

4 - Y -	5.00	5.00	9.75	9.75	7.00	7.00
3 - X -	0.00	35.00				
3 - Y -	1.20	1.20				
2 - X -	0.00	35.00				
2 - Y -	-2.80	-2.80				
1 - X -	0.00	35.00				
1 - Y -	-10.80	-10.80				
0 - X -	0.00	35.00				
0 - Y -	-20.00	-20.00				

PL-LINES

=====

PL-line no.	Coordinates [m]					
1 - X -	0.00	35.00				
1 - Y -	2.50	2.50				
2 - X -	0.00	4.00	30.20	35.00		
2 - Y -	7.29	7.29	4.46	4.46		
3 - X -	0.00	4.00	16.60	30.20	35.00	
3 - Y -	5.00	5.00	9.25	7.00	7.00	

Unit weight of water used for calculation: 9.81 [kN/m³]
The groundwater level is determined by PL-line number 1

FORBIDDEN LINES

=====

No forbidden lines were input.

GENERAL SOIL PROPERTIES

=====

Layer number	Gam dry [kN/m ³]	Gam wet [kN/m ³]	Cohesion [kN/m ²]	Phi degrees	PL-line top	PL-line bottom
4	14.00	17.00	5.00	22.50	-3	1
3	15.00	18.00	1.00	27.50	1	2
2	15.50	19.50	0.00	31.00	2	2
1	17.00	21.00	0.00	35.00	2	-

No consolidation percentages <> 100% input.

CENTER POINT GRID AND TANGENT LINES

=====

X - coordinate grid left	:	0.00 [m]
X - coordinate grid right	:	14.00 [m]
Number of grid points in X - direction	:	6
Y - coordinate grid bottom	:	11.00 [m]
Y - coordinate grid top	:	19.00 [m]
Number of grid points in Y - direction	:	5
Y - coordinate tangent smallest circle	:	9.00 [m]
Y - coordinate tangent biggest circle	:	-3.00 [m]
Number of circles per grid point	:	9

No fixed points input.

Total number of center points in the grid: 30
 Total number of slip circles in the grid : 270

LINE LOADS

=====

Line load number	Magnitude [kN/m]	X coor. [m]	Y coor [m]	Angle degrees	Distrib. degrees
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

UNIFORM LOAD

=====

Uniform load number	Magnitude [kN/m]	X start [m]	X end [m]	Distrib. degrees
1	15.00	18.10	20.60	0.00

TEMPORARY LOAD

=====

No temporary loads were input.

GEOTEXTILES

=====

No geotextiles were input.

```
*****  
*****  
***** The input has been tested, and is correct.  
*****  
*****
```

RESULTS OF THE SLOPE STABILITY ANALYSIS

Calculation method : Bishop

Minimum safety factor per slip circle.

X-coord [m]	Y-coord [m]	Radius [m]	F	
0.00	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	6.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

0.00	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
----- ----- ----- -----				
2.80	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	11.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	6.50	10.824	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	
5.60	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	8.00	2.755	
5.60	11.00	6.50	2.829	
5.60	11.00	5.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	8.50	2.666	
5.60	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

5.60	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	10.50	2.542	
5.60	15.00	9.00	50.344	
5.60	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	12.50	2.441	
5.60	17.00	11.00	13.227	
5.60	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	14.50	2.356	
5.60	19.00	13.00	8.024	
5.60	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
----- ----- ----- -----				
8.40	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	9.50	2.578	
8.40	11.00	8.00	2.340	
8.40	11.00	6.50	2.433	

8.40	11.00	5.00	3.792	
8.40	11.00	3.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	11.50	2.289	
8.40	13.00	10.00	2.177	
8.40	13.00	8.50	2.238	
8.40	13.00	7.00	3.385	
8.40	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	12.00	1.987	
8.40	15.00	10.50	2.121	
8.40	15.00	9.00	3.098	
8.40	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	14.00	1.913	
8.40	17.00	12.50	1.966	
8.40	17.00	11.00	2.881	
8.40	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	16.00	1.959	

8.40	19.00	14.50	1.851	
8.40	19.00	13.00	2.713	
8.40	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	-----
11.20	11.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	11.00	12.50	2.849	
11.20	11.00	11.00	2.765	
11.20	11.00	9.50	2.444	
11.20	11.00	8.00	2.387	
11.20	11.00	6.50	2.521	
11.20	11.00	5.00	2.800	
11.20	11.00	3.50	16.357	
11.20	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	13.00	2.737	
11.20	13.00	11.50	2.381	
11.20	13.00	10.00	2.112	
11.20	13.00	8.50	2.109	
11.20	13.00	7.00	2.529	
11.20	13.00	5.50	9.052	
11.20	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	15.00	2.830	
11.20	15.00	13.50	2.426	
11.20	15.00	12.00	2.133	
11.20	15.00	10.50	1.950	
11.20	15.00	9.00	2.230	
11.20	15.00	7.50	6.485	
11.20	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	17.00	15.50	2.521	
11.20	17.00	14.00	2.176	
11.20	17.00	12.50	1.992	
11.20	17.00	11.00	2.023	
11.20	17.00	9.50	5.175	
11.20	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

11.20	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	19.00	17.50	2.638	
11.20	19.00	16.00	2.269	
11.20	19.00	14.50	2.094	
11.20	19.00	13.00	1.983	
11.20	19.00	11.50	4.403	
11.20	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	-----
14.00	11.00	14.00	4.021	
14.00	11.00	12.50	3.815	
14.00	11.00	11.00	3.710	
14.00	11.00	9.50	3.242	
14.00	11.00	8.00	2.863	
14.00	11.00	6.50	2.491	
14.00	11.00	5.00	2.523	
14.00	11.00	3.50	3.547	
14.00	11.00	2.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	13.00	16.00	4.145	
14.00	13.00	14.50	3.880	
14.00	13.00	13.00	3.718	
14.00	13.00	11.50	3.222	
14.00	13.00	10.00	2.829	
14.00	13.00	8.50	2.465	
14.00	13.00	7.00	2.148	
14.00	13.00	5.50	2.698	
14.00	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	15.00	16.50	4.038	
14.00	15.00	15.00	3.822	
14.00	15.00	13.50	3.321	
14.00	15.00	12.00	2.924	
14.00	15.00	10.50	2.584	
14.00	15.00	9.00	2.258	
14.00	15.00	7.50	2.275	
14.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	17.00	17.00	4.007	
14.00	17.00	15.50	3.442	
14.00	17.00	14.00	3.055	
14.00	17.00	12.50	2.731	
14.00	17.00	11.00	2.439	
14.00	17.00	9.50	2.253	
14.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

14.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
14.00	19.00	19.00	4.219	
14.00	19.00	17.50	3.591	
14.00	19.00	16.00	3.221	
14.00	19.00	14.50	2.898	
14.00	19.00	13.00	2.631	
14.00	19.00	11.50	2.391	
14.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

The center point of the critical circle lies on the edge of the grid.

New grid with : X minimum = 0.00 [m]
 X maximum = 14.00 [m]
 Y minimum = 13.00 [m]
 Y maximum = 21.00 [m]

Minimum safety factor per slip circle.

X-coord [m]	Y-coord [m]	Radius [m]	F	
0.00	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

0.00	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	13.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	8.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	7.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	5.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	13.00	4.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	13.00	8.50	2.666	Evaluated earlier.
5.60	15.00	10.50	2.542	Evaluated earlier.
5.60	17.00	12.50	2.441	Evaluated earlier.
5.60	19.00	14.50	2.356	Evaluated earlier.
5.60	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	16.50	2.285	
5.60	21.00	15.00	5.949	
5.60	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	13.00	10.00	2.177	Evaluated earlier.
8.40	15.00	12.00	1.987	Evaluated earlier.
8.40	17.00	14.00	1.913	Evaluated earlier.
8.40	19.00	14.50	1.851	Evaluated earlier.

8.40	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	21.00	18.00	2.035	
8.40	21.00	16.50	1.818	
8.40	21.00	15.00	2.476	
8.40	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	13.00	8.50	2.109	Evaluated earlier.
11.20	15.00	10.50	1.950	Evaluated earlier.
11.20	17.00	12.50	1.992	Evaluated earlier.
11.20	19.00	13.00	1.983	Evaluated earlier.
11.20	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	21.00	19.50	2.779	
11.20	21.00	18.00	2.380	
11.20	21.00	16.50	2.198	
11.20	21.00	15.00	2.083	
11.20	21.00	13.50	3.116	
11.20	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	13.00	7.00	2.148	Evaluated earlier.
14.00	15.00	9.00	2.258	Evaluated earlier.
14.00	17.00	9.50	2.253	Evaluated earlier.
14.00	19.00	11.50	2.391	Evaluated earlier.
14.00	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	21.00	21.00	4.472	
14.00	21.00	19.50	3.779	
14.00	21.00	18.00	3.390	
14.00	21.00	16.50	3.073	
14.00	21.00	15.00	2.830	
14.00	21.00	13.50	2.665	
14.00	21.00	12.00	13.184	

The center point of the critical circle lies on the edge of the grid.

New grid with : X minimum = 0.00 [m]
 X maximum = 14.00 [m]
 Y minimum = 15.00 [m]
 Y maximum = 23.00 [m]

Minimum safety factor per slip circle.

=====

X-coord [m]	Y-coord [m]	Radius [m]	F	
0.00	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
0.00	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.

0.00	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	21.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
0.00	23.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
-----	-----	-----	-----	
2.80	15.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	10.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	9.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	15.00	6.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	17.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	11.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	17.00	8.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	22.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	20.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	19.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	17.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	16.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	13.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	11.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	19.00	10.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	24.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	22.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	21.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	19.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	18.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	16.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	15.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	13.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	21.00	12.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

2.80	23.00	21.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	18.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	17.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
2.80	23.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	15.00	10.50	2.542	Evaluated earlier.
5.60	17.00	12.50	2.441	Evaluated earlier.
5.60	19.00	14.50	2.356	Evaluated earlier.
5.60	21.00	16.50	2.285	Evaluated earlier.
5.60	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	21.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	18.50	2.148	
5.60	23.00	17.00	4.834	
5.60	23.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
5.60	23.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	15.00	12.00	1.987	Evaluated earlier.
8.40	17.00	14.00	1.913	Evaluated earlier.
8.40	19.00	14.50	1.851	Evaluated earlier.
8.40	21.00	16.50	1.818	Evaluated earlier.
8.40	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	21.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	20.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	18.50	1.875	
8.40	23.00	17.00	2.217	
8.40	23.00	15.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
8.40	23.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	15.00	10.50	1.950	Evaluated earlier.
11.20	17.00	12.50	1.992	Evaluated earlier.
11.20	19.00	13.00	1.983	Evaluated earlier.
11.20	21.00	15.00	2.083	Evaluated earlier.
11.20	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				

11.20	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	23.00	21.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
11.20	23.00	20.00	2.518	
11.20	23.00	18.50	2.292	
11.20	23.00	17.00	2.214	
11.20	23.00	15.50	2.745	
11.20	23.00	14.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	15.00	9.00	2.258	Evaluated earlier.
14.00	17.00	9.50	2.253	Evaluated earlier.
14.00	19.00	11.50	2.391	Evaluated earlier.
14.00	21.00	13.50	2.665	Evaluated earlier.
14.00	23.00	26.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	23.00	24.50	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	23.00	23.00	--	Circle cuts geometry < 2
times.				
14.00	23.00	21.50	3.968	
14.00	23.00	20.00	3.564	
14.00	23.00	18.50	3.270	
14.00	23.00	17.00	3.033	
14.00	23.00	15.50	2.920	
14.00	23.00	14.00	5.324	Negative effective stress.

Information on the critical circle : Fmin = 1.818
 Calculation method used : (Bishop method)

X - coordinate center point : 8.40 [m]
 Y - coordinate center point : 21.00 [m]
 Radius of critical circle : 16.50 [m]

The center point of the critical circle is enclosed !

Driving moment soil : -2031.44 [kNm/m]
 Driving moment free water : 0.00 [kNm/m]
 Driving moment external loads : -386.98 [kNm/m]
 Iterated resisting moment : 2418.42 [kNm/m]
 Non-iterated resisting moment : 4168.08 [kNm/m]

SLICE DATA							
Slice	X-coor	Y-bot	Y-top	Width	Angle bottom	Angle top	[m]
Arc.len.	Cohesion	[m]	[m]	[m]			
[kN/m ²]							
1	4.41	4.99	5.14	0.50	-14.00	18.62	0.51
5.00							
2	4.91	4.88	5.31	0.50	-12.22	18.62	0.51
5.00							
3	5.41	4.78	5.47	0.50	-10.45	18.62	0.51
5.00							
4	5.91	4.69	5.64	0.50	-8.70	18.62	0.50
5.00							
5	6.40	4.62	5.81	0.50	-6.95	18.62	0.50
5.00							
6	6.90	4.57	5.98	0.50	-5.21	18.62	0.50
5.00							
7	7.40	4.53	6.15	0.50	-3.47	18.62	0.50
5.00							
8	7.90	4.51	6.31	0.50	-1.73	18.62	0.50
5.00							
9	8.40	4.50	6.48	0.50	-0.00	18.62	0.50
5.00							
10	8.90	4.51	6.65	0.50	1.73	18.62	0.50
5.00							
11	9.41	4.53	6.82	0.52	3.50	18.62	0.52
5.00							
12	9.93	4.57	7.00	0.52	5.32	18.62	0.52
5.00							
13	10.45	4.63	7.17	0.52	7.14	18.62	0.53
5.00							
14	10.97	4.70	7.35	0.52	8.97	18.62	0.53
5.00							
15	11.49	4.79	7.52	0.52	10.80	18.62	0.53
5.00							
16	12.01	4.90	7.70	0.52	12.65	18.62	0.53
5.00							
17	12.53	5.03	7.88	0.52	14.51	18.62	0.54
5.00							
18	13.06	5.17	8.05	0.52	16.39	18.62	0.54
5.00							
19	13.58	5.34	8.23	0.52	18.29	18.62	0.55
5.00							
20	14.10	5.52	8.40	0.52	20.20	18.62	0.56
5.00							
21	14.62	5.72	8.58	0.52	22.14	18.62	0.56
5.00							
22	15.14	5.94	8.75	0.52	24.11	18.62	0.57
5.00							
23	15.60	6.16	8.91	0.40	25.88	18.62	0.44
5.00							

24	16.00	6.36	9.04	0.40	27.43	18.62	0.45
5.00							
25	16.40	6.57	9.18	0.40	29.01	18.62	0.46
5.00							
26	16.61	6.68	9.25	0.01	29.82	18.62	0.01
5.00							
27	16.86	6.84	9.33	0.50	30.85	18.62	0.58
5.00							
28	17.36	7.14	9.50	0.50	32.88	18.62	0.59
5.00							
29	17.85	7.48	9.67	0.50	34.95	18.62	0.61
5.00							
30	18.33	7.83	9.75	0.46	37.01	0.00	0.58
5.00							
31	18.79	8.19	9.75	0.46	39.03	0.00	0.59
5.00							
32	19.25	8.57	9.75	0.46	41.12	0.00	0.61
5.00							
33	19.73	9.01	9.75	0.50	43.37	0.00	0.68
5.00							
34	20.22	9.50	9.75	0.50	45.78	0.00	0.71
5.00							

Slice	Phi	Sw surf	Fw hor.	Fw ver.	Weight	S-tot.	s-eff.
Sw-hydro	degree	[kN/m ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m ²]	
[kN/m ²]	[kN/m ²]						
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	22.50	0.00	0.00	-0.00	1.02	2.05	1.57
-24.44							
2	22.50	0.00	0.00	-0.00	3.00	6.02	4.68
-23.31							
3	22.50	0.00	0.00	-0.00	4.88	9.78	7.69
-22.32							
4	22.50	0.00	0.00	-0.00	6.64	13.31	10.57
-21.50							
5	22.50	0.00	0.00	-0.00	8.29	16.62	13.33
-20.83							
6	22.50	0.00	0.00	-0.00	9.83	19.71	15.95
-20.31							
7	22.50	0.00	0.00	-0.00	11.27	22.59	18.42
-19.94							
8	22.50	0.00	0.00	-0.00	12.60	25.26	20.75
-19.71							
9	22.50	0.00	0.00	-0.00	13.82	27.72	22.93
-19.64							
10	22.50	0.00	0.00	-0.00	14.95	29.97	24.95
-19.71							
11	22.50	0.00	0.00	-0.00	16.70	32.04	26.84
-19.94							
12	22.50	0.00	0.00	-0.00	17.69	33.94	28.59
-20.34							
13	22.50	0.00	0.00	-0.00	18.55	35.60	30.16
-20.89							
14	22.50	0.00	0.00	-0.00	19.29	37.03	31.52
-21.62							
15	22.50	0.00	0.00	-0.00	19.91	38.21	32.69
-22.51							
16	22.50	0.00	0.00	-0.00	20.40	39.16	33.65
-23.57							
17	22.50	0.00	0.00	-0.00	20.77	39.85	34.39
-24.81							
18	22.50	0.00	0.00	-0.00	20.99	40.29	34.91
-26.22							
19	22.50	0.00	0.00	-0.00	21.09	40.47	35.20
-27.82							
20	22.50	0.00	0.00	-0.00	21.04	40.38	35.25
-29.60							
21	22.50	0.00	0.00	-0.00	20.85	40.01	35.04
-31.58							
22	22.50	0.00	0.00	-0.00	20.51	39.35	34.58
-33.77							
23	22.50	0.00	0.00	-0.00	15.41	38.53	33.95
-35.86							
24	22.50	0.00	0.00	-0.00	15.04	37.61	33.21
-37.83							
25	22.50	0.00	0.00	-0.00	14.59	36.49	32.29
-39.94							

26	22.50	0.00	0.00	-0.00	0.38	35.86	31.78		
-41.05									
27	22.50	0.00	0.00	-0.00	17.35	34.94	31.87		
-42.54									
28	22.50	0.00	0.00	-0.00	16.36	32.96	31.97		
-45.57									
29	22.50	0.00	0.00	-0.00	15.20	30.63	30.63		
-48.84									
30	22.50	0.00	0.00	-0.00	12.39	41.94	41.94		
-52.24									
31	22.50	0.00	0.00	-0.00	10.07	36.90	36.90		
-55.77									
32	22.50	0.00	0.00	-0.00	7.58	31.48	31.48		
-59.57									
33	22.50	0.00	0.00	-0.00	5.15	25.40	25.40		
-63.84									
34	22.50	0.00	0.00	-0.00	1.76	18.56	18.56		
-68.63									

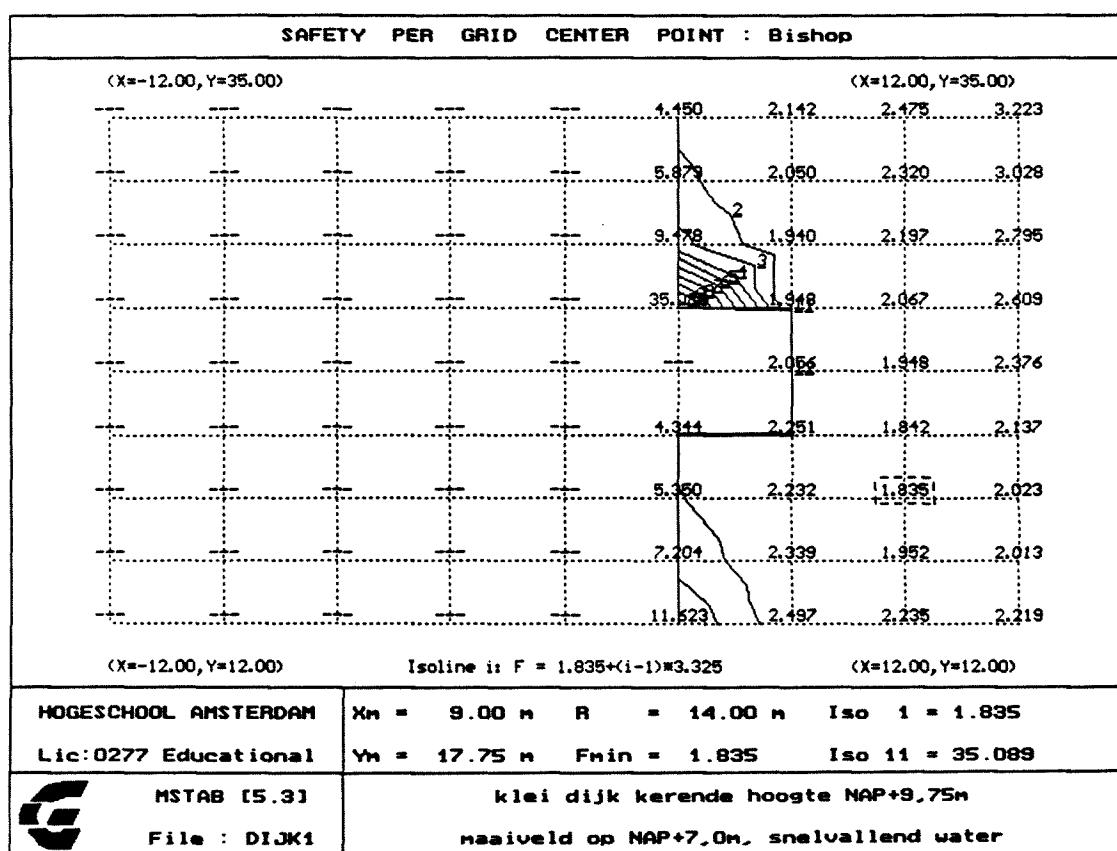
Slice	Sw-extr	Sw tot.	S shear	Cu	Ko	Sig-
Vo'	Alf*SigB	Sig-Alfa				[kN/m ²]
	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]		[kN/m ²]
	[kN/m ²]					
1	24.92	0.47	3.30	0.00	0.00	0.00
1.57						
2	24.65	1.34	4.02	0.00	0.00	0.00
4.68						
3	24.41	2.09	4.70	0.00	0.00	0.00
7.69						
4	24.23	2.73	5.35	0.00	0.00	0.00
10.57						
5	24.12	3.29	5.95	0.00	0.00	0.00
13.33						
6	24.07	3.77	6.52	0.00	0.00	0.00
15.95		.				
7	24.11	4.17	7.05	0.00	0.00	0.00
18.42						
8	24.22	4.51	7.53	0.00	0.00	0.00
20.75						
9	24.43	4.79	7.98	0.00	0.00	0.00
22.93						
10	24.73	5.02	8.38	0.00	0.00	0.00
24.95						
11	25.15	5.21	8.75	0.00	0.00	0.00
26.84						
12	25.68	5.35	9.08	0.00	0.00	0.00
28.59						
13	26.34	5.44	9.36	0.00	0.00	0.00
30.16						
14	27.12	5.50	9.59	0.00	0.00	0.00
31.52						
15	28.03	5.52	9.78	0.00	0.00	0.00
32.69						
16	29.08	5.51	9.91	0.00	0.00	0.00
33.65						
17	30.26	5.46	10.00	0.00	0.00	0.00
34.39						
18	31.60	5.38	10.04	0.00	0.00	0.00
34.91						
19	33.09	5.27	10.02	0.00	0.00	0.00
35.20						
20	34.73	5.13	9.95	0.00	0.00	0.00
35.25						
21	36.55	4.97	9.83	0.00	0.00	0.00
35.04						
22	38.54	4.78	9.65	0.00	0.00	0.00
34.58						
23	40.45	4.58	9.45	0.00	0.00	0.00
33.95						
24	42.23	4.40	9.23	0.00	0.00	0.00
33.21						
25	44.14	4.20	8.98	0.00	0.00	0.00
32.29						

Stad aan de rivier

Bijlage

26	45.13	4.08	8.84	0.00	0.00	0.00	0.00
31.78							
27	45.60	3.07	8.82	0.00	0.00	0.00	0.00
31.87							
28	46.55	0.99	8.75	0.00	0.00	0.00	0.00
31.97							
29	48.84	0.00	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00
30.63							
30	52.24	0.00	10.51	0.00	0.00	0.00	0.00
41.94							
31	55.77	0.00	9.42	0.00	0.00	0.00	0.00
36.90							
32	59.57	0.00	8.28	0.00	0.00	0.00	0.00
31.48							
33	63.84	0.00	7.03	0.00	0.00	0.00	0.00
25.40							
34	68.63	0.00	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00
18.56							

END OF MSTAB OUTPUT



B6 maatgevende belastingcombinaties

Per constructietype kunnen de belastingen verschillen door verschillen in eigen gewicht, aanlegdiepte of uitvoering. Een verschil met een traditionele dijkverzwaarting vormt de verkeersbelasting. Bij toepassing van een bijzondere constructie als dijkversterking wordt geadviseerd om minimaal 20,0kN/m² als verkeersbelasting in rekening te brengen direct naast het constructie-element [8].

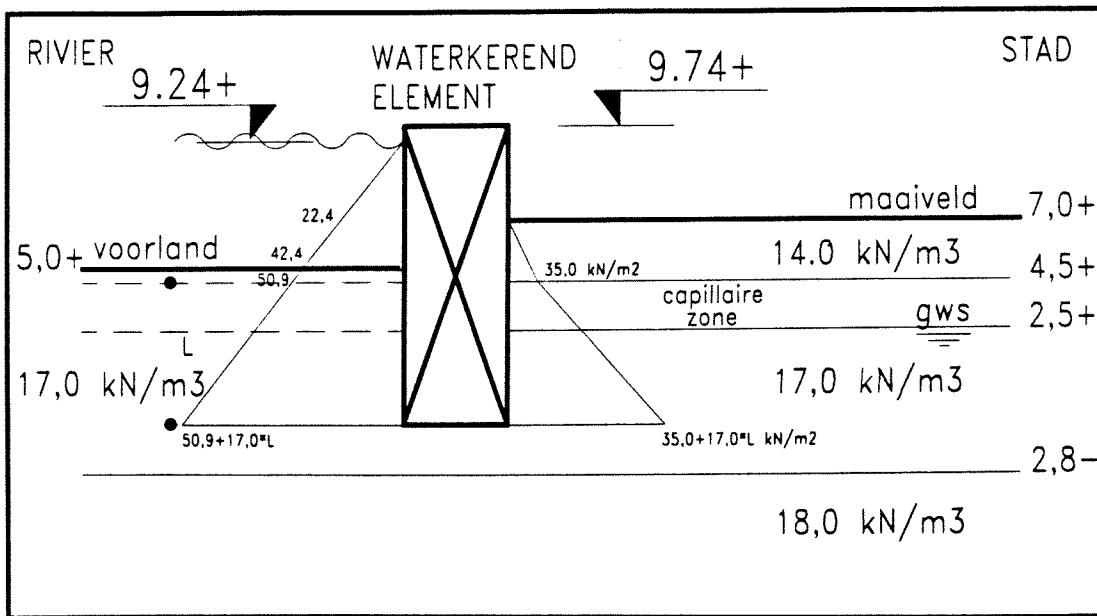
Voor de dimensionering van de bijzondere constructies kunnen twee belastingsgevallen de maatgevende combinatie opleveren:

1. De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf rivierzijde
2. De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf stadszijde

- **De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf rivierzijde**

Bij het optreden van (maatgevend) hoogwater komt de maatgevende belasting ten gevolge van de waterdruk op het waterkerende element van rivierzijde.

Het maaiveldniveau achter het waterkerende element bevindt zich op NAP+7,0m. De grondwaterstand achter de waterkering bevindt zich op normaal peil (=NAP+2,5m) tijdens het optreden van hoogwater. De verkeersbelasting, achter de constructie aan stadszijde, zou gunstig werken en is daarom niet in de belastingscombinatie meegenomen.



Figuur 1, verloop verticale (grond)spanning bij MHW

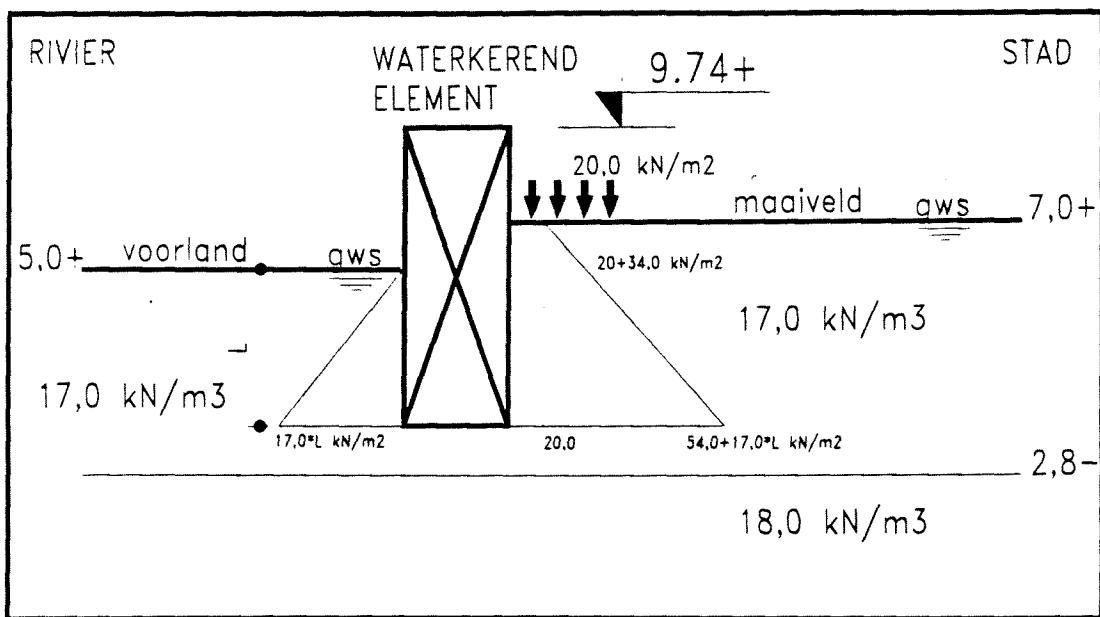
De grondwaterstand in de ‘normale toestand’ bevindt zich midden in de kleilaag en ligt op NAP.+2,5m. Bij toenemende waterstand op de rivier zal de grondwaterspiegel achter de waterkering slechts traag reageren. Door de invloed van deze kleilaag heeft in eerste instantie de grondwaterstand op het waterkerend element géén reducerende werking op de optredende krachten en momenten ten gevolge van de waterdruk bij hoogwater. In figuur 1 zijn voor dit belastingsgeval de optredende verticale grondspanningen aangegeven. Ter plaatse van het voorland zorgt de waterstand voor

een bovenbelasting van $(9,24\text{m}-5,0\text{m}) \cdot 10,0 \text{ kN/m}^3 = 42,4 \text{ kN/m}^2$. De verticale grondspanning neemt verder toe met $17,0 \cdot \text{de diepte}$. Aan stadszijde heeft de verticale grondspanning ter plaatse van de grens met de capillaire zone een waarde van $2,5\text{m} \cdot 14,0 \text{ kN/m}^3 = 35,0 \text{ kN/m}^2$. Vervolgens neemt de verticale grondspanning verder toe met $17,0 \cdot \text{de diepte}$ (zie figuur 1.)

Aan de hand van bovenstaand spanningsfiguur kunnen de horizontale korreldrukken worden afgeleid door de verticale korreldrukken (=grondspanning – waterdruk) te vermenigvuldigen met een coëfficiënt voor de actieve korreldruk (K_a) aan rivierzijde en een coëfficiënt voor de passieve korreldruk (K_p) aan stadszijde. De grootte van de coëfficiënten is afhankelijk van de hoek van inwendige wrijving van de desbetreffende grondlaag. Afhankelijk van de inbrengdiepte van de bijzondere constructie is de resulterende kracht ($F_{\text{hor,max1}}$) te berekenen.

- De maatgevende belasting op de constructie komt vanaf stadszijde**

Bij langdurige regenval kan de slechtdoorlatende toplaag volledig verzadigd raken. Bevindt de rivierwaterstand zich onder het maaiveldniveau van het voorland (of winterbed) in deze situatie dan ontstaat, in combinatie met de verkeersbelasting van $20,0 \text{ kN/m}^2$, een tweede maatgevend belastingsgeval. Er is een niveauverschil aanwezig van $2,0\text{m}$ tussen maaiveld voor- en achter de waterkering. De waterdruk op het waterkerende element komt nu van stadszijde.



Figuur 2, verloop verticale grondspanning na langdurige regenval

Blijft de rivierwaterstand onder het voorlandniveau, dan wordt de maximale grondspanning ter plaatse van het voorland op een diepte L : $Q_{\text{grond,max2}} = \rho g L = 17,0 \cdot L \text{ kN/m}^2$. Aan stadszijde komt hier de bovenbelasting van $20,0 \text{ kN/m}^2$, ten gevolge van verkeer, bij opgeteld. Op een diepte L bedraagt de verticale grondspanning dan $Q_{\text{grond,max2}} = 2,0\text{m} \cdot 17,0 \text{kN/m}^3 + 20,0 + 17,0 \cdot L = 54,0 + 17,0 \cdot L \text{ kN/m}^2$ (zie figuur 2.)

Van de twee besproken belastingsgevallen is de eerste maatgevend voor de dimensionering.

- Slechtdoorlatende toplaag**

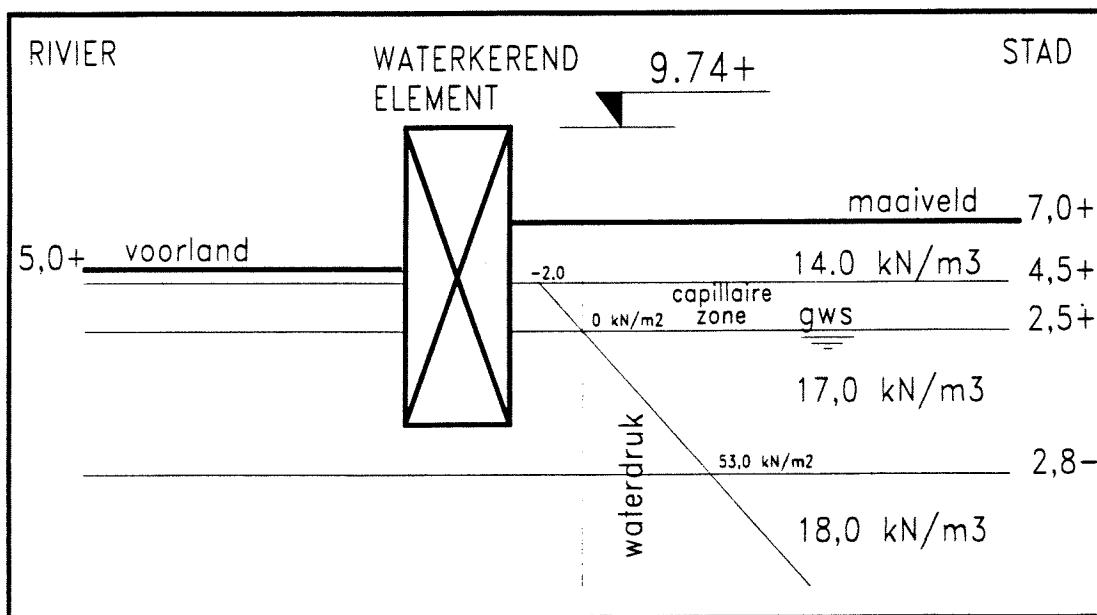
Bij de dimensionering van de bijzondere constructie wordt uitgegaan van de situatie zoals die in de standaarddoorsneden is geschetst.

Een belangrijke invloed op de belastingen is het gedrag van de slechtdoorlatende cohesieve toplaag in de tijd, aangezien het waterkerend element wordt aangelegd in deze toplaag. De toplaag bestaat uit klei met aangenomen volumieke gewichten:

$\gamma_{klei;droog} = 14 \text{ kN/m}^3$ en $\gamma_{klei;nat} = 17 \text{ kN/m}^3$. Bekende eigenschap van cohesieve lagen is ongedraaineerd gedrag bij spanningsveranderingen. Dit houdt in dat de grondspanningsveranderingen in deze laag in eerste instantie volledig door de waterspanning zullen worden opgenomen. De korrelspanningen blijven op dat moment gelijk aan de initiele korrelspanningen in de uitgangssituatie. Na enige tijd zullen de korrelspanningen in de slechtdoorlatende laag zich instellen op de nieuwe belastingstoestand. De waterdruk in deze laag wijzigt hierdoor eveneens in de tijd. In de volgende paragrafen zijn de spanningen aangegeven die uit de belastingen voortkomen.

- Waterdruk**

In de normale situatie bevindt het freatische vlak zich op NAP.+2,5m. In de capillaire zone, aangenomen tot 2,0m boven het freatische vlak, zal een negatieve waterdruk ontstaan. De waterdruk in de slecht doorlatende laag heeft een hydrostatisch verloop.



Figuur 3, verloop waterspanning bij een GWS op NAP+2,5m

Door het tijdsafhankelijke karakter van de kleilaag zullen waterstandsveranderingen op de rivier van weinig invloed zijn op de grondwaterstand *in* de kleilaag.

Resulterende kracht op de damwand ten gevolge van grondwaterstandsveranderingen worden daarom verwaarloosd in de berekening.

B7 Uitvoer Msheet

B7.1 Invoerfile damwand AZ18 lengte 10m, t.b.v. vervorming

Invoerfile voor MSHEET : damwanden

```
=====
COMPANY : HOGESCHOOL AMSTERDAM
LICENCE : 0279
DATE   : 1998-12-11
TIME   : 21:54:25
FILENAME : DAMWREP3.SHI created by MSHEET version 3.1
===== BEGINNING OF DATA
=====
```

verhoging waterkering mbv damwand

Erep AZ18 lengte 10m, mv op NAP+7.0m

9.74 Niveau top damwand

10.00 Damwand lengte

1 Aantal stukken met varierende eigenschappen

Nr	Stijfh. EI	Werk. br	Peil
1	7.182E+0004	1.00	-0.26

0 Aantal ankers / stempels

0 Aantal verende steunpunten

0 Aantal starre steunpunten

0 Aantal bovenbelastingen

1 Aantal willekeurige lasten

1 2 Rechts

Nr	X-koord	Grootte
	0.00	10.00
	5.50	10.00

0 Aantal horizontale lijnlasten

0 Aantal momenten

0 Aantal normaalkrachten

0 Aantal punten met grondverplaatsing

1 Aantal takken voor de veerkarakteristiek

0 1/0 : Wel/Geen ontlastingstak

4 Aantal verschillende grondlagen

1	KLEI1			
	14.00	17.00	5.00	Volumegewicht & cohesie
	7.50	22.50		Delta & phi
	0.41	0.62	2.72	Lambda akt, neutr, pas.
	2.000E+0003	2.000E+0003		K1 Beddingsconstante

boven/onder

2	KLEI2			
	15.00	18.00	1.00	Volumegewicht & cohesie
	11.45	27.50		Delta & phi
	0.33	0.54	3.79	Lambda akt, neutr, pas.
	2.500E+0003	2.500E+0003		K1 Beddingsconstante

boven/onder

3	ZAND1			
	16.00	19.50	0.00	Volumegewicht & cohesie
	20.67	31.00		Delta & phi
	0.27	0.48	6.25	Lambda akt, neutr, pas.

1.000E+0004 1.000E+0004 K1 Beddingsconstante
 boven/onder
 4 ZAND2
 17.00 21.00 0.00 Volumegewicht & cohesie
 23.34 35.00 Delta & phi
 0.22 0.43 9.15 Lambda akt, neutr, pas.
 1.500E+0004 1.500E+0004 K1 Beddingsconstante
 boven/onder
 2 Aantal grondprofielen
 1 VOORONTGR
 3 Aantal grondlagen van grondprofiel
 Nr Laag Peil Wosp Bo Wosp Ond
 1 KLEI1 8.70 0.00 0.00
 2 KLEI2 -4.40 0.00 0.00
 3 ZAND1 -10.80 0.00 0.00
 2 NAONTGR
 3 Aantal grondlagen van grondprofiel
 Nr Laag Peil Wosp Bo Wosp Ond
 1 KLEI1 -8.70 0.00 0.00
 2 KLEI2 -4.40 0.00 0.00
 3 ZAND1 -10.80 0.00 0.00
 3 maaivelden
 1 Rechts
 6 aantal punten
 1 0.00 8.70 i (x,y) - coordinaat punt i
 2 4.00 8.70 i (x,y) - coordinaat punt i
 3 5.00 8.20 i (x,y) - coordinaat punt i
 4 7.50 8.20 i (x,y) - coordinaat punt i
 5 9.00 7.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 6 10.00 7.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 2 Links
 3 aantal punten
 1 0.00 8.70 i (x,y) - coordinaat punt i
 2 5.55 6.85 i (x,y) - coordinaat punt i
 3 11.10 5.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 3 Rechts
 3 aantal punten
 1 0.00 7.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 2 4.00 7.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 3 10.00 7.00 i (x,y) - coordinaat punt i
 3 Aantal bouwfases
 1 Bouwfase nummer
 2 2 Methode Links : c,i,e Methode Rechts :
 c,i,e
 2 1 Maaiveld links en rechts
 2.50 2.50 Waterpeil links en rechts
 VOORONTGR VOORONTGR Grondprofiel links en rechts
 0.0000 Kopverplaatsing
 0 Grondverplaatsingen
 0 Ankers / stempels aanwezig in bouwfase
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 : Nummer in tabel
 : Verende steunp
 : Starre steunp
 : Bovenbelast.
 : Willekeurigelast
 : Hor. lijnlast
 : Moment
 : Normaalkracht

2 Bouwfase nummer

2	2	Methode Links : c,i,é	Methode Rechts :
c,i,é			
2	3	Maaiveld links en rechts	
2.50	2.50	Waterpeil links en rechts	
NAONTGR	NAONTGR	Grondprofiel links en rechts	
0.0000		Kopverplaatsing	
0		Grondverplaatsingen	
0		Ankers / stempels aanwezig in bouwfase	
1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	:	Nummer in tabel
		:	Verende steunp
		:	Starre steunp
		:	Bovenbelast.
*		:	Willekeurigelast
		:	Hor. lijnlast
		:	Moment
		:	Normaalkracht

3 Bouwfase nummer

2	2	Methode Links : c,i,é	Methode Rechts :
c,i,é			
2	3	Maaiveld links en rechts	
9.24	2.50	Waterpeil links en rechts	
NAONTGR	NAONTGR	Grondprofiel links en rechts	
0.0000		Kopverplaatsing	
0		Grondverplaatsingen	
0		Ankers / stempels aanwezig in bouwfase	
1 2 3 4 5 6 7	8 9 10 11 12 13 14 15	:	Nummer in tabel
		:	Verende steunp
		:	Starre steunp
		:	Bovenbelast.
-		:	Willekeurigelast
		:	Hor. lijnlast
		:	Moment
		:	Normaalkracht

===== Einde invoer data
=====

B7.2 Uitvoerfile damwand AZ18 lengte 10m, vervorming

MM	MM	SSSSSS	HH	HH	EEEEEE	EEEEEE	TTTTTTT
MMM	MMM	SS	HH	HH	EE	EE	T
MM	MM	SSSSS	HHHHHHHH	HHHHHHHH	EEEE	EEEE	T
MM	M	MM	SS	HH	EE	EE	T
MM	MM	SSSSSS	HH	HH	EEEEEE	EEEEEE	T

Versie : 3.1
 Update : 950412
 Licentie : 0279
 Bedrijf : HOGESCHOOL AMSTERDAM

Probleem titels : verhoging waterkering mbv damwand
 : Erep AZ18 lengte 10m, mv op NAP+7.0m
 Datum : 1998-10-23
 Tijd : 15:26:20

Naam uitvoerfile : DAMWREP3.SHO
 Naam invoerfile : DAMWREP3.SHI
 Naam dumpfile : DAMWREP3.SHD

=====

=====

OVERZICHT VAN ALGEMENE INVOER GEGEVENS :

Aantal takken in veerkarakteristiek : 1
 Ontlastingstak voor veerkarakteristiek : Nee
 Aantal bouwfasen : 3

Damwand gegevens :

Lengte : 10.00 [m]
 Peil bovenkant : 9.74 [m]
 Aantal stukken : 1

Stuk	[m]	tov Peil	Stijfheid EI	W-breed.
nr	Van -	Tot	[kNm ² /Bm]	[m]
1	9.74	-0.26	7.182E+0004	1.00

Gegevens grondlaag : KLEI1

Volumieke massa droog : 14.00 [kN/m ³]	Lambda actief :	
0.41		
nat : 17.00 [kN/m ³]	Lambda neutraal :	
0.62		
Cohesie : 5.00 [kN/m ²]	Lambda passief :	
2.72		
Wandwrijving delta : 7.50 [graden]		
Phi : 22.50 [graden]		
Beddingskonstanten : Nr	Boven	Onder

[kN/m ³]	K[1]	2000.00	2000.00
Gegevens grondlaag : KLEI2			

Volumieke massa droog : 0.33	15.00 [kN/m ³]	Lambda actief :	
nat : 0.54	18.00 [kN/m ³]	Lambda neutraal :	
Cohesie : 3.79	1.00 [kN/m ²]	Lambda passief :	
Wandwrijving delta	11.45 [graden]		
Phi	27.50 [graden]		
Beddingskonstanten [kN/m ³]	Nr K[1]	Boven 2500.00	Onder 2500.00
Gegevens grondlaag : ZAND1			

Volumieke massa droog : 0.27	16.00 [kN/m ³]	Lambda actief :	
nat : 0.48	19.50 [kN/m ³]	Lambda neutraal :	
Cohesie : 6.25	0.00 [kN/m ²]	Lambda passief :	
Wandwrijving delta	20.67 [graden]		
Phi	31.00 [graden]		
Beddingskonstanten [kN/m ³]	Nr K[1]	Boven 10000.00	Onder 10000.00

=====

=====

De invoer is gecontroleerd en goed bevonden.

=====

=====

***** B O U W F A S E 1 : Uitvoer voor alle knopen !

Overzicht ingevoerde gegevens voor bouwfase 1

=====

Maaiveld LINKS : (Maaiveldnr. 2)	Maaiveld RECHTS :		
(Maaiveldnr. 1)			

Punt X-coordinaat coordinaat	Y-coordinaat	Punt X-coordinaat nr.	Y-
nr. [m] tov DAMWAND	[m] tov.PEIL	[m] tov DAMWAND	[m]
tov.PEIL			

1	0.00	8.70	1	0.00
8.70				
2	5.55	6.85	2	4.00
8.70				
3	11.10	5.00	3	5.00
8.20			4	7.50
8.20			5	9.00
7.00			6	10.00
7.00				

Water Peil Links / Rechts : 2.50 / 2.50 [m]

Grondgegevens LINKS & RECHTS : (Grond profiel VOORONTGR)

Laag nr	Grondlaag Naam	Peil bovenkant grondlaag [m]	Wosp-B [kN/m ²]	Wosp-O [kN/m ²]
1	KLEI1	8.70	0.00	0.00
2	KLEI2	-4.40	0.00	0.00
3	ZAND1	-10.80	0.00	0.00

Gebruikte methode aan LINKER-zijde van de damwand : c,i,e

Gebruikte methode aan RECHTER-zijde van de damwand : c,i,e

Willekeurige last 1 aan de RECHTER-zijde van de damwand.

Punt nr.	X-coordinaat [m] van DAMWAND	Q [kN/m ²]
1	0.00	10.00
2	5.50	10.00

Linkerzijde

Segment LP	Niveau [m]	horizontale wanddruk [kN/m ²]	LA	LN
nr fictief	midden fictief	aktief	passief	fictief
1 3.98	8.39	0.00	17.27	0.00
2 2.28	7.77	0.00	29.68	0.00
3 1.92	7.15	0.00	41.73	0.00
4 1.76	6.53	3.21	53.59	0.11
5 1.67	5.91	8.10	65.33	0.21
6 1.61	5.29	11.02	77.01	0.23
7 1.57	4.67	13.94	88.62	0.25
8 1.54	4.05	16.88	100.15	0.26
				0.33

9	3.43	19.82	113.48	0.27	0.36
1.54					
10	2.81	22.74	132.61	0.28	0.39
1.61					
11	2.22	24.72	144.94	0.28	0.40
1.63					
12	1.67	25.76	152.29	0.28	0.41
1.64					
13	1.12	26.79	159.09	0.28	0.42
1.65					
14	0.57	27.82	166.58	0.28	0.43
1.66					
15	0.02	28.85	174.75	0.28	0.44
1.68					

Rechterzijde

Segment LP	Niveau [m]	horizontale wanddruk [kN/m ²]	LA	LN
nr fictief	midden fictief	aktief	passief	fictief
1	8.39	0.00	57.32	0.00
4.00				1.26
2	7.77	3.05	80.91	0.13
3.51				0.84
3	7.15	6.87	96.09	0.22
3.03				0.70
4	6.53	10.44	93.87	0.26
2.32				0.63
5	5.91	14.02	93.30	0.29
1.90				0.59
6	5.29	17.59	113.23	0.30
1.96				0.57
7	4.67	21.17	132.41	0.32
1.99				0.56
8	4.05	24.74	152.28	0.33
2.03				0.55
9	3.43	28.31	171.96	0.34
2.05				0.55
10	2.81	32.02	192.71	0.35
2.08				0.55
11	2.22	33.86	206.75	0.34
2.09				0.55
12	1.67	34.89	214.96	0.34
2.10				0.55
13	1.12	35.70	224.08	0.34
2.10				0.55
14	0.57	36.57	233.64	0.33
2.12				0.55
15	0.02	37.74	242.49	0.33
2.12				0.55

Resultaten van de berekening van bouwfase 1

Aantal iteraties : 2

Kn WatSpL	Peil WatSpR	Verpl mm	Moment kNm/Bm	DwarsK kN/Bm		KorSpL Stat kN/m ²	%	KorSpR Stat kN/m ²	%	
nr kN/m ²	m kN/m ²			kN/Bm		kN/m ²		kN/m ²		
1 0.00	9.74 0.00	-5.2	0.0	-0.0		0.00		0.00		
2 0.00	9.24 0.00	-5.2	-0.0	-0.0		0.00		0.00		
2 0.00	9.24 0.00	-5.2	-0.0	0.0		0.00		0.00		
3 0.00	8.97 0.00	-5.2	0.0	0.0		0.00		0.00		
3 0.00	8.97 0.00	-5.2	-0.0	0.0		0.00		0.00		
4 0.00	8.70 0.00	-5.2	0.0	0.0		0.00		0.00		
4 0.00	8.70 0.00	-5.2	0.0	-0.0		0.00 P		2.23		
5 0.00	8.27 0.00	-5.2	-0.2	-0.9		10.39	44	9.75		
5 0.00	8.27 0.00	-5.2	-0.2	-0.9		10.39	44	9.75		
6 0.00	7.85 0.00	-5.2	-0.5	-1.4		10.38	38	8.00		
6 0.00	7.85 0.00	-5.2	-0.5	-1.4		10.38	38	8.00		
7 0.00	7.42 0.00	-5.2	-1.2	-1.5		10.37	30	9.05		
7 0.00	7.42 0.00	-5.2	-1.2	-1.5		10.37	30	9.05		
8 0.00	7.00 0.00	-5.2	-1.8	-1.2		10.36	23	13.21		
8 0.00	7.00 0.00	-5.2	-1.8	-1.2		10.36	23	13.21		
9 0.00	6.55 0.00	-5.2	-2.2	-0.7		13.52	25	14.79		
9 0.00	6.55 0.00	-5.2	-2.2	-0.7		13.52	25	14.79		
10 0.00	6.10 0.00	-5.1	-2.3	-0.1		17.85	29	17.00		
10 0.00	6.10 0.00	-5.1	-2.3	-0.1		17.85	29	17.00		
11 0.00	5.65 0.00	-5.1	-2.4	0.1		19.11	27	20.75		
11 0.00	5.65 0.00	-5.1	-2.4	0.1		20.70	30	19.65		
12 0.00	5.20 0.00	-5.1	-2.3	0.1		22.18	28	23.29		
12 0.00	5.20 0.00	-5.1	-2.3	0.1		22.18	28	23.29		
13 0.00	4.75 0.00	-5.1	-2.2	0.4		26.22	30	26.23		

13	4.75	-5.1	-2.2	0.4	26.22	30	26.23	
0.00	0.00							
14	4.30	-5.0	-1.9	0.7	30.27	32	29.45	
0.00	0.00							
14	4.30	-5.0	-1.9	0.7	30.27	32	29.45	
0.00	0.00							
15	3.85	-5.0	-1.7	0.7	32.25	31	33.02	
0.00	0.00							
15	3.85	-5.0	-1.7	0.7	32.25	31	33.02	
0.00	0.00							
16	3.40	-4.9	-1.3	0.6	36.49	32	36.46	
0.00	0.00							
16	3.40	-4.9	-1.3	0.6	36.49	32	36.46	
0.00	0.00							
17	2.95	-4.8	-1.0	0.7	40.71	31	40.07	
0.00	0.00							
17	2.95	-4.8	-1.0	0.7	40.71	31	40.07	
0.00	0.00							
18	2.50	-4.8	-0.7	0.7	43.01	31	43.66	
0.00	0.00							
18	2.50	-4.8	-0.7	0.7	44.41	31	43.68	.
0.00	0.00							
19	2.04	-4.7	-0.5	0.5	45.58	31	45.59	
4.60	4.60							
19	2.04	-4.7	-0.5	0.5	45.58	31	45.59	
4.60	4.60							
20	1.58	-4.7	-0.3	0.4	47.61	31	47.46	
9.20	9.20							
20	1.58	-4.7	-0.3	0.4	47.61	31	47.46	
9.20	9.20							
21	1.12	-4.6	-0.1	0.2	49.68	31	49.41	
13.80	13.80							
21	1.12	-4.6	-0.1	0.2	49.68	31	49.41	
13.80	13.80							
22	0.66	-4.5	-0.0	0.1	51.77	31	51.41	
18.40	18.40							
22	0.66	-4.5	-0.0	0.1	51.77	31	51.41	
18.40	18.40							
23	0.20	-4.5	0.0	0.0	53.88	31	53.46	
23.00	23.00							
23	0.20	-4.5	0.0	0.0	53.88	31	53.46	
23.00	23.00							
24	-0.26	-4.4	-0.0	-0.0	55.16	31	55.38	
27.60	27.60							
<hr/>								
Maxima :								
		-5.2	-2.4	-1.5				

Horizontale grondkracht op de damwand [kN/Bm] :

Links Rechts

Korrel	:	273.03	273.03
Water	:	38.09	38.09
Totaal	:	311.12	311.12

Als passieve zijde wordt beschouwd : Links
 Maximale passieve korrelweerstand : 886.06 [kNm/Bm]

Gemobiliseerde passieve korrelweerstand : 273.03 [kNm/Bm]
 Percentage gemobiliseerde weerstand : 30.8 [%]

 ***** B O U W F A S E 2 : Uitvoer voor alle knopen !

Overzicht ingevoerde gegevens voor bouwfase 2

Maaiveld LINKS : (Maaiveldnr. 2) Maaiveld RECHTS :
 (Maaiveldnr. 3)

Punt coordinaat nr.	X-coordinaat [m] tov DAMWAND	Y-coordinaat [m] tov.PEIL	Punt nr.	X-coordinaat [m] tov DAMWAND	Y- [m]
1	0.00	8.70	1	0.00	
2	5.55	6.85	2	4.00	
3	11.10	5.00	3	10.00	
7.00					

Water Peil Links / Rechts : 2.50 / 2.50 [m]

Grondgegevens LINKS & RECHTS : (Grond profielNAONTGR)

Laag nr	Grondlaag Naam	Peil bovenkant grondlaag [m]	Wosp-B [kN/m ²]	Wosp-O [kN/m ²]
1	KLEI1	8.70	0.00	0.00
2	KLEI2	-4.40	0.00	0.00
3	ZAND1	-10.80	0.00	0.00

Gebruikte methode aan LINKER-zijde van de damwand : c,i,é
 Gebruikte methode aan RECHTER-zijde van de damwand : c,i,é

Willekeurige last 1 aan de RECHTER-zijde van de damwand.

Punt nr.	X-coordinaat van DAMWAND	Q [kN/m ²]
1	0.00	10.00
2	5.50	10.00

Linkerzijde

Segment LP	Niveau [m]	horizontale wanddruk [kN/m ²]	LA	LN
nr fictief	midden fictief	aktief	passief	fictief

1	8.39	0.00	17.27	0.00	0.00	
3.98						
2	7.77	0.00	29.68	0.00	0.00	
2.28						
3	7.15	0.00	41.73	0.00	0.00	
1.92						
4	6.53	3.21	53.59	0.11	0.11	
1.76						
5	5.91	8.10	65.33	0.21	0.21	
1.67						
6	5.29	11.02	77.01	0.23	0.24	
1.61						
7	4.67	13.94	88.62	0.25	0.29	
1.57						
8	4.05	16.88	100.15	0.26	0.33	
1.54						
9	3.43	19.82	113.48	0.27	0.36	
1.54						
10	2.81	22.74	132.61	0.28	0.39	
1.61						
11	2.22	24.72	144.94	0.28	0.40	
1.63						
12	1.67	25.76	152.29	0.28	0.41	
1.64						
13	1.12	26.79	159.09	0.28	0.42	
1.65						
14	0.57	27.82	166.58	0.28	0.43	
1.66						
15	0.02	28.85	174.75	0.28	0.44	
1.68						

Rechterzijde

Segment	Niveau [m]	horizontale wanddruk [kN/m ²]	LA	LN
LP				
nr	midden	aktief	passief	fictief
fictief	fictief			
1	6.68	0.00	57.75	0.00
3.98				1.29
2	6.04	3.31	82.21	0.14
3.50				0.92
3	5.39	7.20	106.67	0.22
3.28				0.79
4	4.75	10.91	130.51	0.26
3.14				0.73
5	4.11	14.61	132.19	0.29
2.62				0.69
6	3.46	18.32	155.47	0.31
2.61				0.67
7	2.82	22.02	179.10	0.32
2.61				0.65

8	2.22	24.67	196.35	0.33	0.64
2.62					
9	1.67	26.26	206.05	0.33	0.64
2.61					
10	1.12	27.85	216.51	0.34	0.63
2.62					
11	0.57	29.44	227.03	0.34	0.63
2.62					
12	0.02	31.03	237.39	0.34	0.63
2.63					

Resultaten van de berekening van bouwfase 2

=====

Aantal iteraties : 2

Kn WatSpL	Peil WatSpL	Verpl WatSpR	Moment mm	DwarsK kNm/Bm	KorSpL Stat kN/Bm	KorSpR Stat kN/m ²	%	KorSpR Stat kN/m ²	%
nr kN/m ²	m kN/m ²		mm	kNm/Bm	kN/Bm	kN/m ²		kN/m ²	
1 0.00	9.74 0.00	-1.2 0.00	0.0 -0.0	-0.0	0.00	0.00		0.00	
2 0.00	9.24 0.00	-1.5 0.00	-0.0 -0.0	-0.0	0.00	0.00		0.00	
2 0.00	9.24 0.00	-1.5 0.00	-0.0 0.0	0.0	0.00	0.00		0.00	
3 0.00	8.97 0.00	-1.6 0.00	0.0 0.0	0.0	0.00	0.00		0.00	
3 0.00	8.97 0.00	-1.6 0.00	-0.0 0.0	0.0	0.00	0.00		0.00	
4 0.00	8.70 0.00	-1.7 0.00	0.0 0.0	0.0	0.00	0.00		0.00	
4 0.00	8.70 0.00	-1.7 0.00	-0.0 0.0	0.0	0.00 A	0.00		0.00	
5 0.00	8.27 0.00	-1.9 0.00	-0.1 -1.0	-1.0	3.81 16	0.00		0.00	
5 0.00	8.27 0.00	-1.9 0.00	-0.1 -1.0	-1.0	3.81 16	0.00		0.00	
6 0.00	7.85 0.00	-2.1 0.00	-0.9 -2.7	-2.7	4.21 16	0.00		0.00	
6 0.00	7.85 0.00	-2.1 0.00	-0.9 -2.7	-2.7	4.21 16	0.00		0.00	
7 0.00	7.42 0.00	-2.3 0.00	-2.5 -4.6	-4.6	4.59 13	0.00		0.00	
7 0.00	7.42 0.00	-2.3 0.00	-2.5 -4.6	-4.6	4.59 13	0.00		0.00	
8 0.00	7.00 0.00	-2.5 -4.9	-4.9 -6.6	-6.6	4.97 11	0.00		0.00	
8 0.00	7.00 0.00	-2.5 -4.9	-4.9 -6.6	-6.6	4.97 11	7.96		7.96	
9 0.00	6.55 0.00	-2.7 -7.4	-7.4 -4.5	-4.5	8.52 16	15.74		15.74	
9 0.00	6.55 0.00	-2.7 -7.4	-7.4 -4.5	-4.5	8.52 16	15.74		15.74	

Stad aan de rivier

Bijlage

10	6.10	-2.8	-8.7	-2.0		13.22	22		15.05	
0.00	0.00									
10	6.10	-2.8	-8.7	-2.0		13.22	22		15.05	
0.00	0.00									
11	5.65	-3.0	-9.3	-0.5		14.81	21		16.91	
0.00	0.00									
11	5.65	-3.0	-9.3	-0.5		16.41	24		16.91	
0.00	0.00									
12	5.20	-3.1	-9.4	0.4		18.18	23		21.67	
0.00	0.00									
12	5.20	-3.1	-9.4	0.4		18.18	23		21.67	
0.00	0.00									
13	4.75	-3.2	-9.0	1.3		22.47	26		23.78	
0.00	0.00									
13	4.75	-3.2	-9.0	1.3		22.47	26		23.78	
0.00	0.00									
14	4.30	-3.2	-8.2	2.1		26.74	28		26.44	
0.00	0.00									
14	4.30	-3.2	-8.2	2.1		26.74	28		26.44	
0.00	0.00									
15	3.85	-3.3	-7.2	2.4		28.89	28		30.70	
0.00	0.00									
15	3.85	-3.3	-7.2	2.4		28.89	28		29.46	
0.00	0.00									
16	3.40	-3.3	-6.1	2.4		33.28	29		33.61	
0.00	0.00									
16	3.40	-3.3	-6.1	2.4		33.28	29		33.61	
0.00	0.00									
17	2.95	-3.3	-5.0	2.5		37.62	29		36.82	
0.00	0.00									
17	2.95	-3.3	-5.0	2.5		37.62	29		36.82	
0.00	0.00									
18	2.50	-3.3	-3.9	2.5		40.02	29		40.94	
0.00	0.00									
18	2.50	-3.3	-3.9	2.5		41.42	29		40.32	
0.00	0.00									
19	2.04	-3.3	-2.8	2.2		42.67	29		42.43	
4.60	4.60									
19	2.04	-3.3	-2.8	2.2		42.67	29		42.43	
4.60	4.60									
20	1.58	-3.2	-1.8	1.9		44.77	29		44.15	
9.20	9.20									
20	1.58	-3.2	-1.8	1.9		44.77	29		44.15	
9.20	9.20									
21	1.12	-3.2	-1.0	1.5		46.90	29		45.94	
13.80	13.80									
21	1.12	-3.2	-1.0	1.5		46.90	29		45.94	
13.80	13.80									
22	0.66	-3.2	-0.4	1.0		49.05	30		47.80	
18.40	18.40									
22	0.66	-3.2	-0.4	1.0		49.05	30		47.80	
18.40	18.40									
23	0.20	-3.1	-0.1	0.5		51.21	30		49.69	
23.00	23.00									
23	0.20	-3.1	-0.1	0.5		51.21	30		49.69	
23.00	23.00									
24	-0.26	-3.1	0.0	0.0		52.53	30		51.80	
27.60	27.60									

Maxima :	-3.3	-9.4	-6.6	
----------	------	------	------	--

Horizontale grondkracht op de damwand [kN/Bm] :

	Links	Rechts
--	-------	--------

Korrel :	237.75	237.75
Water :	38.09	38.09
Totaal :	275.84	275.84

Als passieve zijde wordt beschouwd :	Links
Maximale passieve korrelweerstand :	886.06 [kNm/Bm]
Gemobiliseerde passieve korrelweerstand :	237.75 [kNm/Bm]
Percentage gemobiliseerde weerstand :	26.8 [%]

***** B O U W F A S E 3 : Uitvoer voor alle knopen !

Overzicht ingevoerde gegevens voor bouwfase 3

Maaiveld LINKS : (Maaiveldnr. 2)	Maaiveld RECHTS :
(Maaiveldnr. 3)	

Punt X-coordinaat Y-coordinaat	Punt X-coordinaat Y-
coordinaat	
nr. [m] tov DAMWAND [m] tov.PEIL	nr. [m] tov DAMWAND [m]
tov.PEIL	
1 0.00 8.70	1 0.00
7.00 2 5.55 6.85	2 4.00
7.00 3 11.10 5.00	3 10.00
7.00	
Water Peil Links / Rechts : 9.24 / 2.50 [m]	

Grondgegevens LINKS & RECHTS : (Grond profielNAONTGR)

Laag nr	Grondlaag Naam	Peil bovenkant grondlaag [m]	Wosp-B [kN/m ²]	Wosp-O [kN/m ²]
1	KLEI1	8.70	0.00	0.00
2	KLEI2	-4.40	0.00	0.00
3	ZAND1	-10.80	0.00	0.00

Gebruikte methode aan LINKER-zijde van de damwand : c,i,ē

Gebruikte methode aan RECHTER-zijde van de damwand : c,i,e

Linkerzijde

Segment LP nr fictief	Niveau [m] midden fictief	horizontale wanddruk [kN/m ²] aktief	LA	LN
		passief		
		fictief		
1	8.38	0.00	14.21	0.00
6.34				
2	7.74	0.00	20.74	0.00
3.09				
3	7.10	0.00	27.13	0.00
2.42				
4	6.46	0.00	33.41	0.00
2.13				0.12
5	5.82	0.00	39.62	0.00
1.97				0.19
6	5.18	0.00	45.77	0.00
1.86				0.25
7	4.54	1.67	51.87	0.06
1.78				0.30
8	3.90	6.26	57.96	0.19
1.73				0.34
9	3.26	7.77	64.04	0.20
1.68				0.37
10	2.62	9.28	73.07	0.22
1.72				0.39
11	1.98	10.79	85.26	0.23
1.81				0.41
12	1.34	12.30	97.13	0.24
1.89				0.43
13	0.70	13.80	108.44	0.25
1.94				0.45
14	0.06	15.31	119.31	0.25
1.97				0.46

Rechterzijde

Segment LP nr fictief	Niveau [m] midden fictief	horizontale wanddruk [kN/m ²] aktief	LA	LN
		passief		
		fictief		
1	6.68	0.00	30.57	0.00
6.79				0.62
2	6.04	0.00	55.03	0.00
4.08				0.62
3	5.39	0.00	79.49	0.00
3.53				0.62
4	4.75	4.98	103.95	0.16
3.30				0.62

5	4.11	10.49	128.41	0.26	0.62
3.17					
6	3.46	14.19	152.84	0.29	0.62
3.09					
7	2.82	17.91	177.24	0.31	0.62
3.03					
8	2.22	20.55	194.71	0.32	0.62
3.00					
9	1.67	22.14	205.20	0.32	0.62
2.98					
10	1.12	23.74	215.69	0.33	0.62
2.97					
11	0.57	25.33	226.18	0.33	0.62
2.96					
12	0.02	26.92	236.67	0.33	0.62
2.94					

Resultaten van de berekening van bouwfase 3

=====

Aantal iteraties : 4

Kn WatSpL nr kN/m2	Peil WatSpR m kN/m2	Verpl mm	Moment kNm/Bm	DwarsK kN/Bm	KorSpL Stat kN/m2	%	KorSpR Stat kN/m2	%
1 9.74 0.00	35.8 0.00	0.0	-0.0	0.00			0.00	
2 9.24 0.00	34.1 0.00	-0.0	-0.0	0.00			0.00	
2 9.24 0.00	34.1 0.00	0.0	-0.0	0.00			0.00	
3 8.97 2.70 0.00	33.1 0.00	-0.0	-0.4	0.00			0.00	
3 8.97 2.70 0.00	33.1 0.00	-0.0	-0.4	0.00			0.00	
4 8.70 5.40 0.00	32.2 0.00	-0.3	-1.5	0.00			0.00	
4 8.70 5.40 0.00	32.2 0.00	-0.3	-1.5	0.00 A			0.00	
5 8.27 9.65 0.00	30.7 0.00	-1.5	-4.7	0.00 A			0.00	
5 8.27 9.65 0.00	30.7 0.00	-1.5	-4.7	0.00 A			0.00	
6 7.85 13.90 0.00	29.2 0.00	-4.5	-9.7	0.00 A			0.00	
6 7.85 13.90 0.00	29.2 0.00	-4.5	-9.7	0.00 A			0.00	
7 7.42 18.15 0.00	27.7 0.00	-10.0	-16.5	0.00 A			0.00	
7 7.42 18.15 0.00	27.7 0.00	-10.0	-16.5	0.00 A			0.00	
8 7.00 22.40 0.00	26.3 0.00	-18.7	-25.1	0.00 A			0.00	

8	7.00	26.3	-18.7	-25.1	0.00 A		0.00 P	
22.40	0.00							
9	6.55	24.8	-31.0	-26.5	0.00 A		42.80 P	
26.90	0.00							
9	6.55	24.8	-31.0	-26.5	0.00 A		42.80 P	
26.90	0.00							
10	6.10	23.4	-40.9	-18.1	0.00 A		51.36 P	
31.40	0.00							
10	6.10	23.4	-40.9	-18.1	0.00 A		51.36 P	
31.40	0.00							
11	5.65	22.1	-46.9	-8.5	0.00 A		55.88 84	
35.90	0.00							
11	5.65	22.1	-46.9	-8.5	0.00 A		55.88 84	
35.90	0.00							
12	5.20	21.0	-48.8	-0.2	0.00 A		57.47 65	
40.40	0.00							
12	5.20	21.0	-48.8	-0.2	0.00 A		57.47 65	
40.40	0.00							
13	4.75	19.9	-47.3	6.7	1.59 A		59.33 57	
44.90	0.00							
13	4.75	19.9	-47.3	6.7	1.59 A		59.33 57	
44.90	0.00							
14	4.30	19.1	-43.1	11.8	1.77 A		61.46 51	
49.40	0.00							
14	4.30	19.1	-43.1	11.8	5.73 A		61.46 51	
49.40	0.00							
15	3.85	18.3	-37.2	14.1	6.32 A		63.82 46	
53.90	0.00							
15	3.85	18.3	-37.2	14.1	6.32 A		63.82 47	
53.90	0.00							
16	3.40	17.6	-30.6	15.0	7.57 A		66.40 43	
58.40	0.00							
16	3.40	17.6	-30.6	15.0	7.57 A		66.40 43	
58.40	0.00							
17	2.95	17.1	-23.9	14.7	8.22 A		69.15 40	
62.90	0.00							
17	2.95	17.1	-23.9	14.7	8.78 A		69.15 40	
62.90	0.00							
18	2.50	16.6	-17.6	13.0	9.46 A		72.04 38	
67.40	0.00							
18	2.50	16.6	-17.6	13.0	9.46 A		72.04 38	
67.40	0.00							
19	2.04	16.1	-12.1	10.8	10.69 A		73.10 37	
72.00	4.60							
19	2.04	16.1	-12.1	10.8	10.69 A		73.10 37	
72.00	4.60							
20	1.58	15.7	-7.7	8.5	11.90 A		74.24 36	
76.60	9.20							
20	1.58	15.7	-7.7	8.5	11.90 A		74.24 36	
76.60	9.20							
21	1.12	15.3	-4.3	6.3	12.66 A		75.42 35	
81.20	13.80							
21	1.12	15.3	-4.3	6.3	12.66 A		75.42 35	
81.20	13.80							
22	0.66	14.9	-1.9	4.1	13.87 A		76.63 34	
85.80	18.40							
22	0.66	14.9	-1.9	4.1	13.87 A		76.63 34	
85.80	18.40							

23	0.20	14.5	-0.5	2.0		15.06 A		77.84	33	
90.40	23.00									
23	0.20	14.5	-0.5	2.0		15.06 A		77.84	33	
90.40	23.00									
24	-0.26	14.1	0.0	0.0		15.88 A		79.07	33	
95.00	27.60									
<hr/>										
Maxima :		35.8	-48.8	-26.5						

Horizontale grondkracht op de damwand [kN/Bm] :

Links Rechts

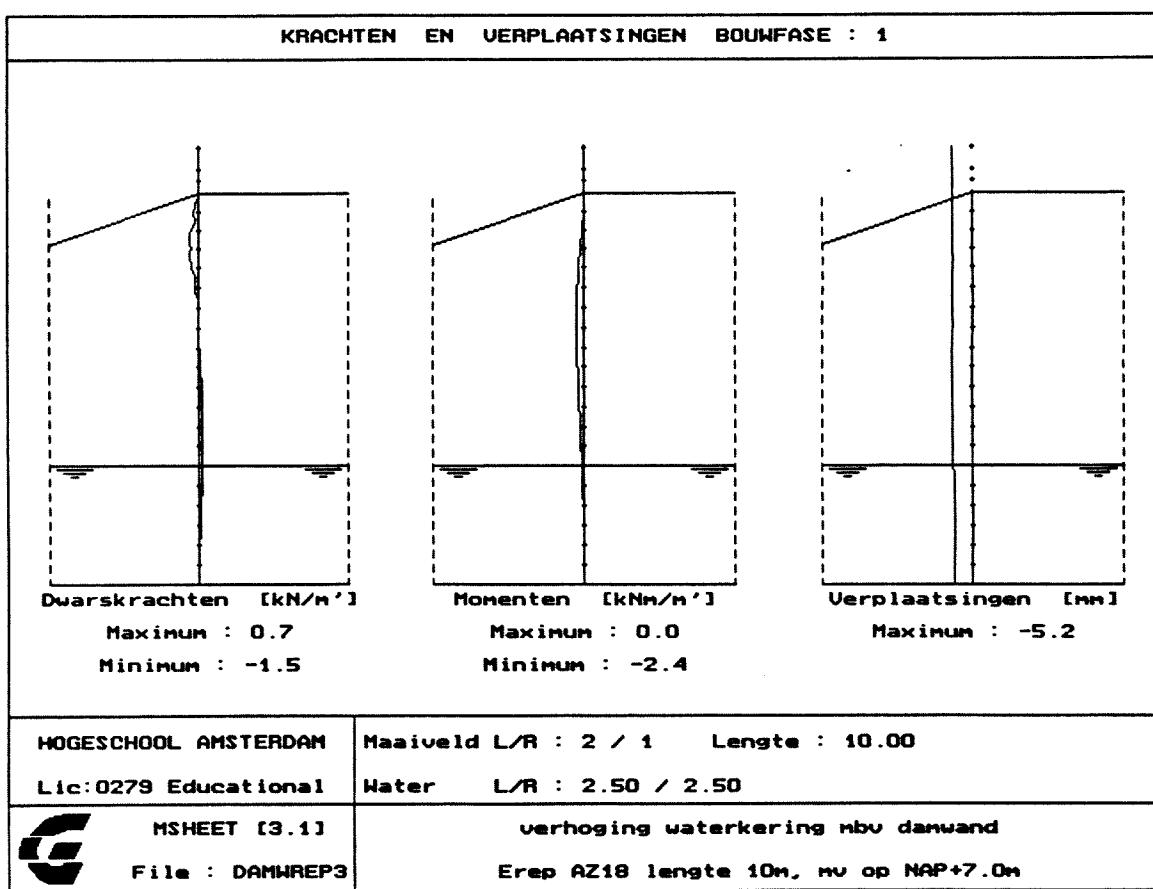
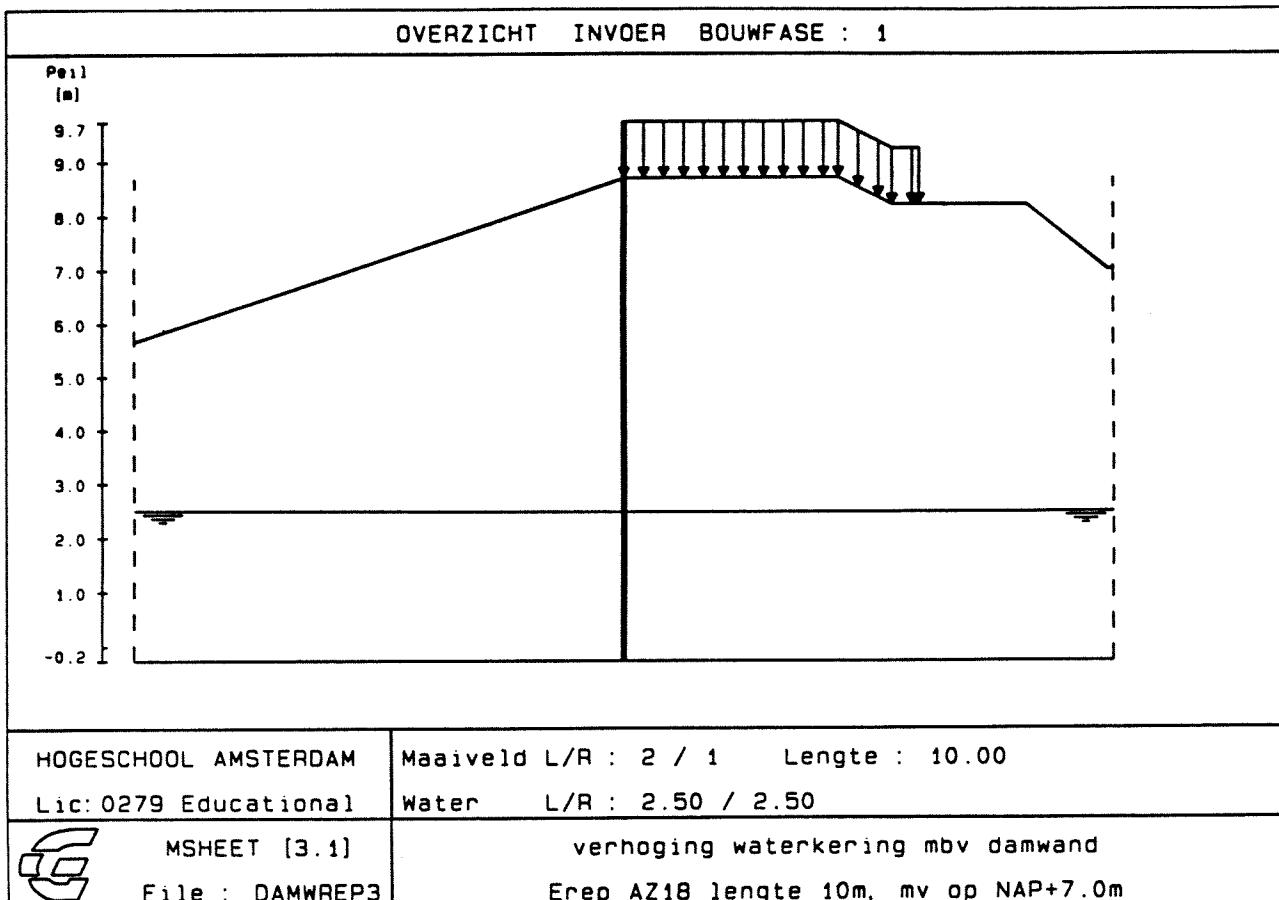
Korrel	:	49.67	462.83
Water	:	451.25	38.09
Totaal	:	500.92	500.92

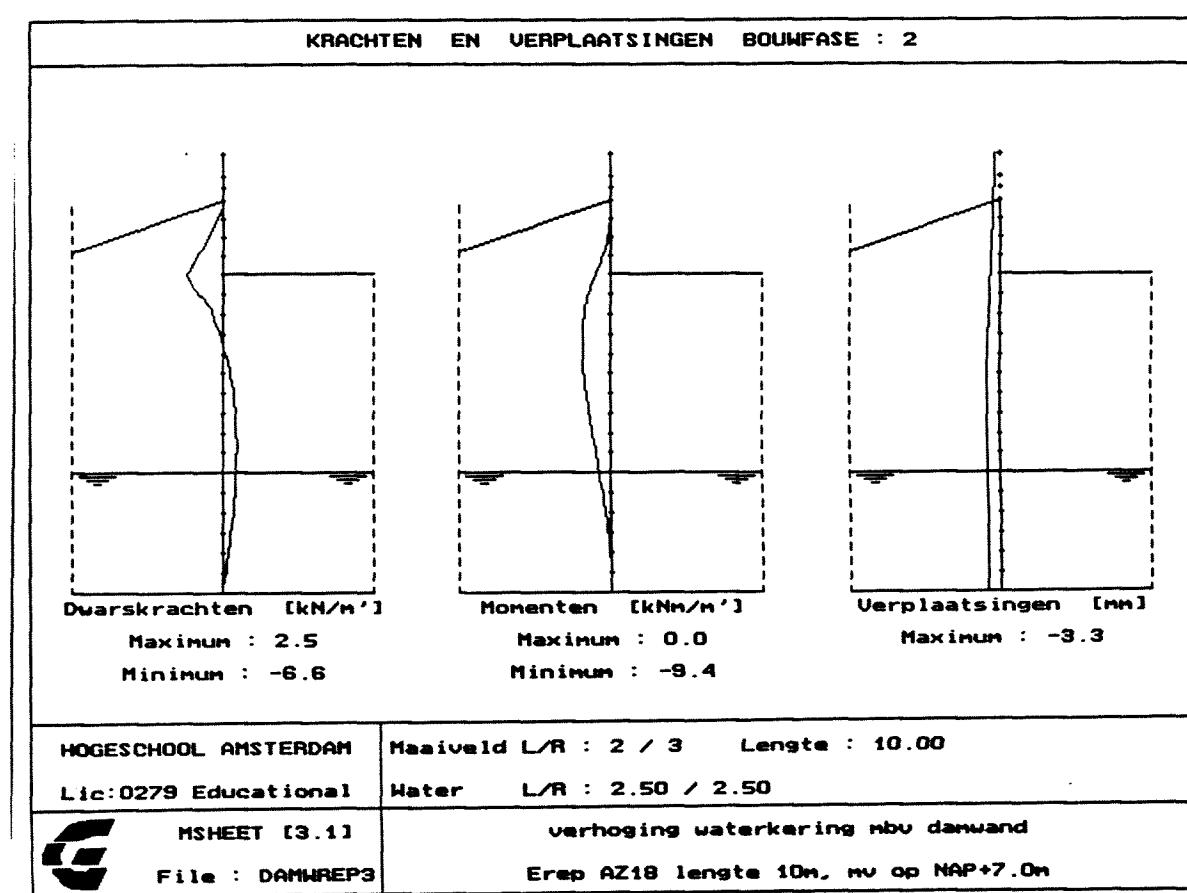
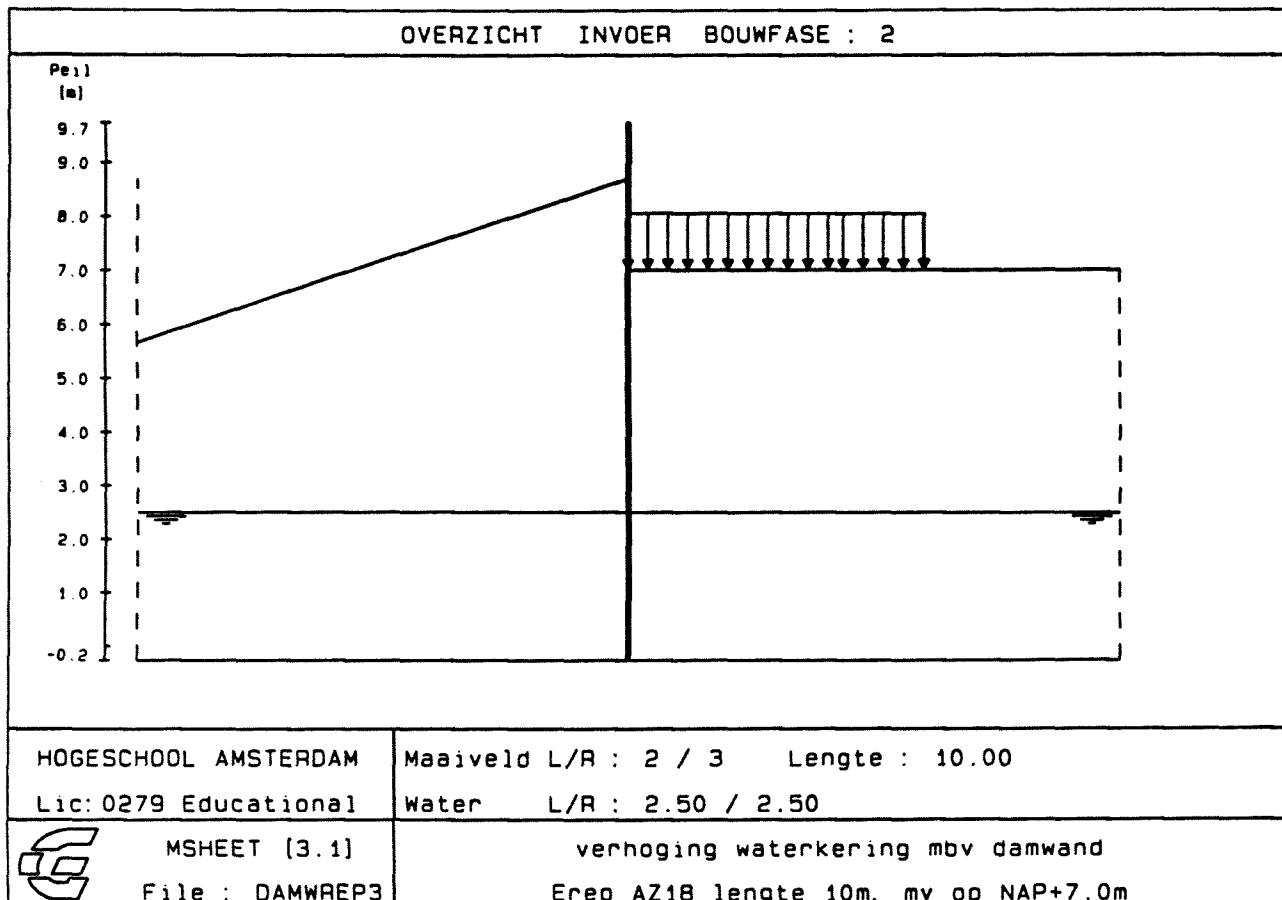
Als passieve zijde wordt beschouwd	:	Rechts
Maximale passieve korrelweerstand	:	1063.63 [kNm/Bm]
Gemobiliseerde passieve korrelweerstand	:	462.83 [kNm/Bm]
Percentagie gemobiliseerde weerstand	:	43.5 [%]

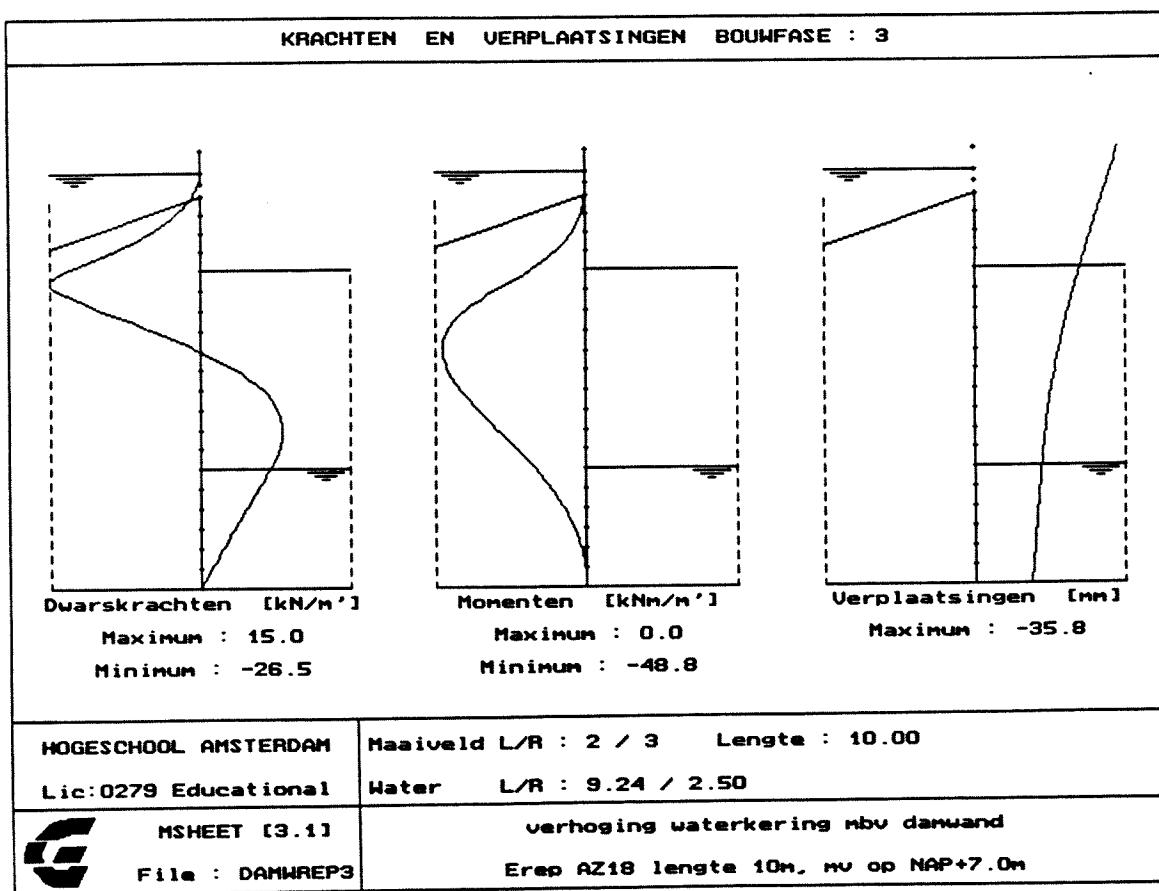
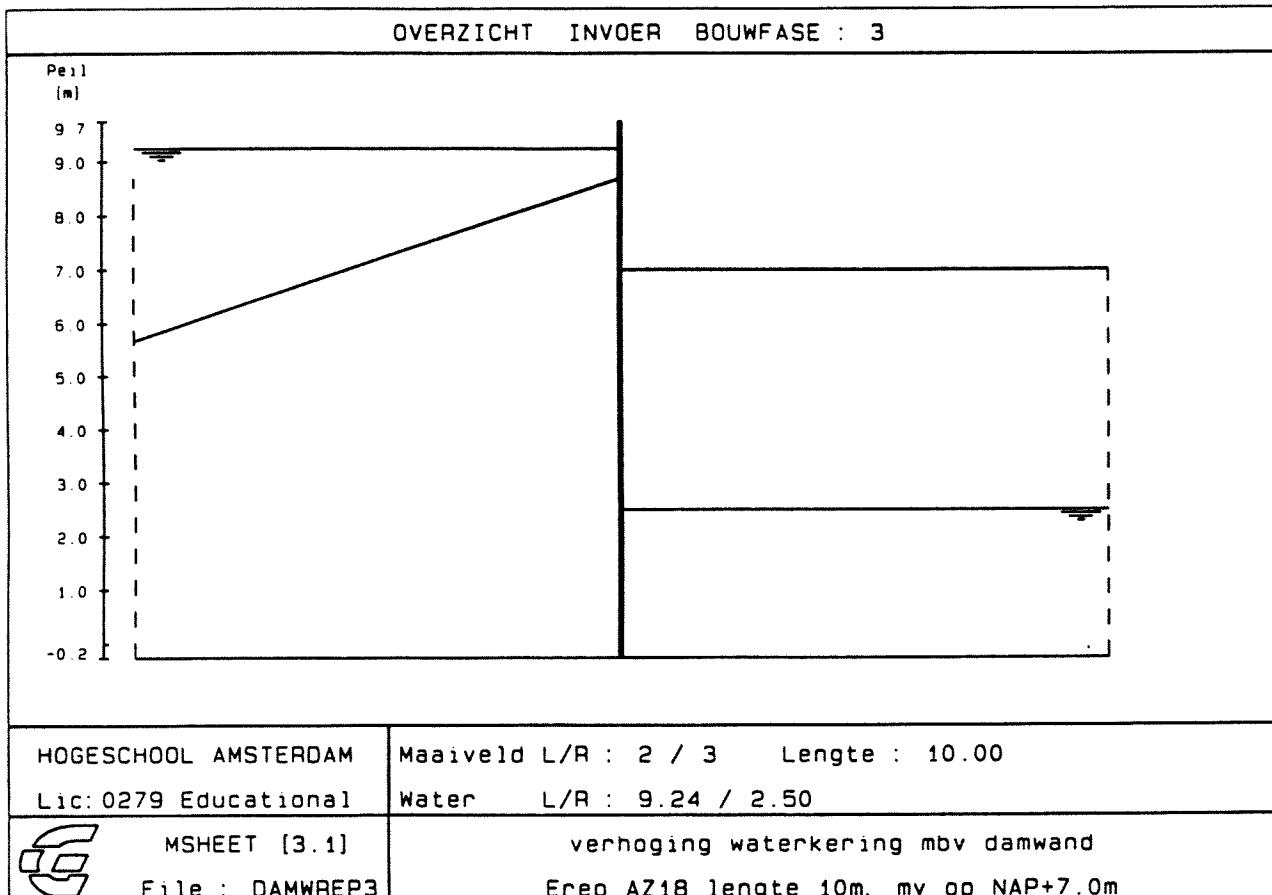
Maxima over de alle bouwfases :

Verplaatsing : 35.8 [mm]
 Moment : -48.8 [kNm/Bm]
 Dwarskracht : -26.5 [kN/Bm]

EINDE MSHEET UITVOERFILE



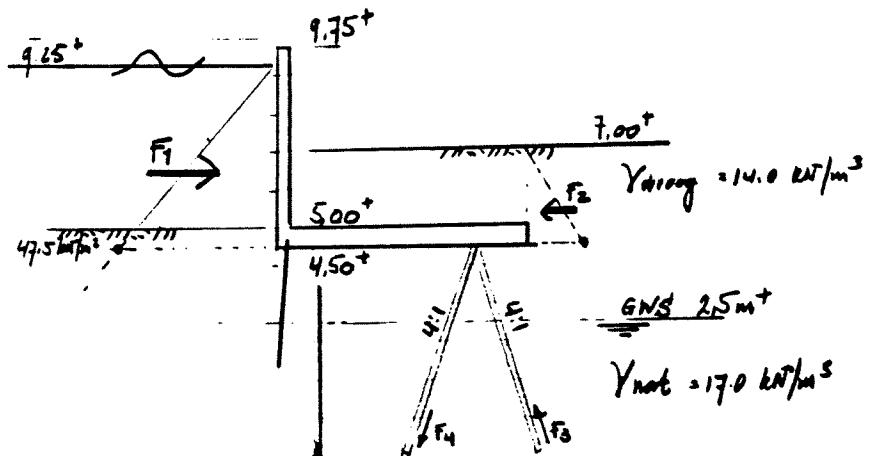




B8 constructieve berekening L-muur

Berekening L-Muur

- Voorland op NAP + 5,0 m'
 - waterstand niveau achter de muur 7,0 m'
 - HHW = NAP + 9,24 m'
 - voorstrijv aanleggen minimaal 60 cm = mv
 - kies het aangeleven op:
- $5,0 \text{ m} + 0,6 \text{ m} \approx 4,50 \text{ m} \text{ NAP}$
- Dikte vloer plaat : 0,5 m' (vrm paal fundering)
 - Dikte Wand : 0,25 m'



Grondwaterstand moet zich in het ondoorlatende parket nog aanpassen op moestgevend hoogwater (HHW)

De horizontale kracht wordt deels opgenomen door de passieve gronddruk van de grond achter de voetplaat. Is de passieve gronddruk volledig gemobiliseerd en wil de constructie gaan verplaatsen onder invloed van de horizontale belasting, dan gaat de boekconstructie van de paal fundering deze verplaatsing tegen.

BelastingenEG vrachtplaat : $1,5 \times 25,0 \text{ kN/m}^3$ = $12,5 \text{ kN/m}^2$ Gronddekking : $2,0 \times 14,0 \text{ kN/m}^3$ = $18,0$ +

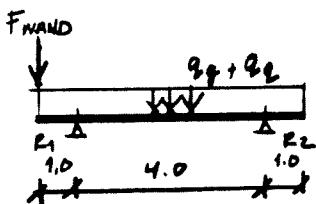
$$q_g = 40,5 \text{ kN/m}^2$$

Verbet : $20,0 \text{ kN/m}^2$

$$q_q = 20,0 \text{ kN/m}^2$$

wand : $(9,75 - 5,0) \times 0,25 + 25,0$

$$= 29,7 \text{ kN/m'}$$

StempelpunctractiesR1 : 1 loodpaal

$$\text{tgv } q_g + q_q = \gamma_L * ((40,5 + 20,0) * 3,0 \text{ m}) * 6,0 \text{ m} = 544,5 \text{ kN}$$

$$\text{tgv } F_{\text{NHAND}} = 29,7 \text{ kN/m} * 3,0 \text{ m} = 89,1 \text{ kN}$$

$$M_{F_{\text{NHAND}}} = \frac{89,1 * 1,0}{4,0} = 22,3 \text{ m} \cdot \text{kN} \quad +$$

$$R_1 = 655,9 \text{ kN}$$

R2 : 2 schoorpalen (4:1)

$$R_2 = 544,5 - 22,3$$

$$R_2 = 522,2 \text{ kN}$$

R2 wordt opgevangen door een uit twee palen bestaande bokconstructie.

per paal is de reactie $R_{21} = R_{22} = 522 / 2 = 261,0 \text{ kN}$

ten gevolge van de verticale belasting.

Werdt de invloed van de achterliggende grond buiten beschouwing gelaten, dan wordt het volgende gevonden:

F_{TH} Waterdruk

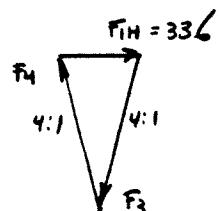
$$F_{TH} = \frac{1}{2} \rho g H^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 75^2 = 112 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

Een constructie staat ook op 3,0 m'

$$F_{TH} = 112 \text{ kN} \cdot 3 = 336 \text{ kN}$$

De reactiekraakt in de schoorpalen wordt gevonden door het opstellen van het krachten evenwichts figuur:

$$F_4 = -F_3 = \sqrt{(\frac{1}{2} \cdot 336)^2 + (4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 336)^2} = 692 \text{ kN}$$



De resulterende paalbelasting wordt dan:

$$\text{tgr } q_g (\frac{1}{2} + (40,5 + 3,0 \text{ m}) + 6,0 \text{ m}) / 2 \text{ palen} = 182,3 \text{ kN}$$

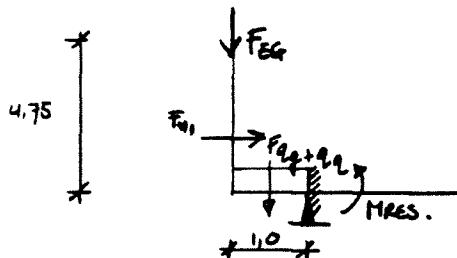
$$\text{tgr } q_g (\frac{1}{2} + (20,0 + 3,0 \text{ m}) + 6,0 \text{ m}) / 2 \text{ palen} = 90,0 \text{ kN}$$

$$\text{tgr Moment uit wand } 95,5 / 2 \text{ of } 88 / 2 = (202) \text{ kN}$$

$$\text{tgr } F_{hor} = (-) 692 \text{ kN}$$

$$\text{Fdruk, max; rep} = 182,3 + 90,0 + 88 / 2 + 692 = 1012 \text{ kN}$$

$$F_{trek; max; rep} = 182,3 + 88 / 2 - 692 = -465 \text{ kN}$$



Resulterend moment t.p.v. R₁ bij MHW:

$$M_{EG} = (29,7 \cdot 3,0') + 1,0 = -89,1 \text{ kNm}$$

$$M_{FH_1} = (112 + 3,0) \cdot \frac{1}{3} + 4,75 = 532,0 \text{ } \rightarrow$$

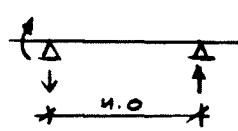
$$M_q = \frac{1}{2} + (40,5 + 3,0) + 1,0^2 = -60,8 \text{ } \rightarrow$$

$$M_q = \frac{1}{2} + (20 + 3,0) + 1,0^2 = -30,0 \text{ } \rightarrow +$$

$$M_{RES; MAX} = 382 \text{ kNm } \rightarrow (\text{EXCL veer. bel.})$$

$$M_{RES; MIN} = -352 \text{ kNm } \rightarrow (\text{incl veer. bel.})$$

DAN INVLOED MOMENT OP REACTIE KRACHTEN R₁ EN R₂



$$M = 382 \text{ kNm}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{382}{4} = \underline{\underline{95,5 \text{ kN}}}$$

AFHANDELICHT VAL BELASTINGSGEVAL IN REKENING TE BRENGEN:

$$M = 352 \text{ kNm}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{352}{4} = \underline{\underline{88 \text{ kN}}}$$

Maximale representatieve drukkracht : $1012 \text{ kN} \downarrow$

Stel paal $1,0 \text{ m}'$ in draagkrachtig zandlaag
Conuswandsstand $\approx 10 \text{ MPa}$

Verodigde paal diameter:

$$\frac{1}{4} \pi c \cdot A_{\text{paal}} = F_{\text{app;max}}$$

$$\frac{1}{4} \pi \cdot 10 \text{ MPa} \cdot A_{\text{paal}} \geq 1012 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$A_{\text{paal}} \geq 404799 \text{ mm}^2 \Rightarrow$$

Betonpaal $\phi 650$ \Rightarrow RE ZWAAR \Rightarrow ALTERNATIEF

Past toe STALEN BUISPAAL $\frac{1}{4} \pi d^2 = 404799 \text{ mm}^2$

$$d \approx \phi 711 \text{ mm}'$$

Mot van inwendigste tot NAP - $5,4 \text{ m}'$ ($1,0 \text{ m}'$ in draagkr.
laag.)

VOETPLAAT

$$h = 250 \text{ mm}'$$

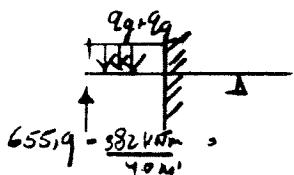
Moment

$$M_{\text{ass; MAX}} = 382 \text{ kNm} \quad (-)$$

$$A_s = \frac{Md}{f_s + 0.9d} = \frac{1.5 + 382 \times 10^6}{435 + 0.9 + 450} = 3252 \text{ mm}^2$$

PAS TOE ~ $\phi 25-150$ ALS ONDERWAPENING
 $(3273 \text{ mm}^2/\text{m}')$

$$M_V \sim -\frac{1}{2} \cdot q \cdot l^2 + R_1 \cdot 4.0 \text{ m}' / 2 = -\frac{1}{2} \cdot 60,5 \cdot 2^2 + 560,4 \cdot 2 = \sim 1000 \text{ kNm}$$



$$A_s = \frac{1.5 + 1000}{435 + 0.9 + 450} = 8514$$

PAS TOE ~ $\phi 32-100$ ($\sim 8040 \text{ mm}^2/\text{m}'$) + plaatselijk $\phi 20$
 by leggen.

Dwarskracht t.p.v. aansluiting wand - voetplaat bij MHW

$$T_{\text{dl}} = \frac{112 \times 10^3}{1000 \times 200} = 0,56 \text{ N/mm}^2 \leq T_1 B_{35} \checkmark$$

B9 Gewichtsberekening

Om inzicht in het verticale evenwicht te krijgen, is met behulp van een spreadsheet een gewichtsberekening gemaakt voor de permanente- en de veranderlijke belasting.

Permanente belasting multifunctionele waterkering (=e.g + afwerking)
beschouwde breedte= 6.0 meter (= stramienmaat)

bovenbouw	aantal stks	lengte m	breedte m	hoogte m	dikte m	oppervlak m	m² beton m	soort gew kNm	gewicht kN
dak	1	9	6		0,25	54,0	13,5	25	337,5
zijwanden 2e verdieping	1	9		2,7	0,2	24,3	4,9	25	121,5
kopwanden 2e verdieping	2	6		2,7	0,1	32,4	3,2	20	64,8
vloer 2e verdieping	1	12	6		0,25	72,0	18,0	25	450,0
zijwanden 1e verdieping	1	12		2,7	0,2	32,4	6,5	25	162,0
kopwanden 1e verdieping	2	6		2,7	0,1	32,4	3,2	20	64,8
vloer 1e verdieping	1	12	6		0,25	72,0	18,0	25	450,0
zijwanden begane grond	1	12		3,0	0,2	36,0	7,2	25	180,0
kopwanden begane grond	2	6		3,0	0,1	36,0	3,6	20	72,0
vloer begane grond	1	12	6		0,3	72,0	21,6	25	540,0
kolommen parkeergarage	2			2,7	0,6	0,6	1,5	25	38,2
kopwanden parkeergarage	2	6		2,7	0,5	32,4	16,2	25	405,0
vloer parkeergarage	1	12	6		0,5	72,0	36,0	25	900,0
TOTAAL						53,7 m²			3785,8 kN
						72 m² vloeroppervlak			568,5 m² betonoppervlak

TOTALE HOEVEELHEID BETON:	53,7 m³
TOTAAL OPPERVLAK (wanden en vloeren):	568,5 m²
TOTAAL VLOEROOPPERVLAK:	72 m²
TOTALE BELASTING NEERWAARTS	3785,8 kN
TOTALE BELASTING PER M² NEERWAARTS	52,6 kNm²

Veranderlijke belasting multifunctionele waterkering:

bovenbouw	aantal stks	lengte m	breedte m	oppervlak m	belasting kNm	gewicht kN	
dak	1	9	6		54	1	54
vloer 2e verdieping	1	12	6		72	1,75 incl $\psi = 1$	126
vloer 1e verdieping	1	12	6		72	0,7 incl $\psi = 0,4$	50,4
vloer begane grond	1	12	6		72	1,6 incl $\psi = 0,4$	115,2
vloer parkeergarage	1	12	6		72	2 incl $\psi = 0,4$	144
							489,6 kN

TOTAAL VLOEROOPPERVLAK FUNDERING:	72 m²
TOTALE BELASTING NEERWAARTS	489,6 kN
TOTALE BELASTING PER M² NEERWAARTS	6,8 kNm²

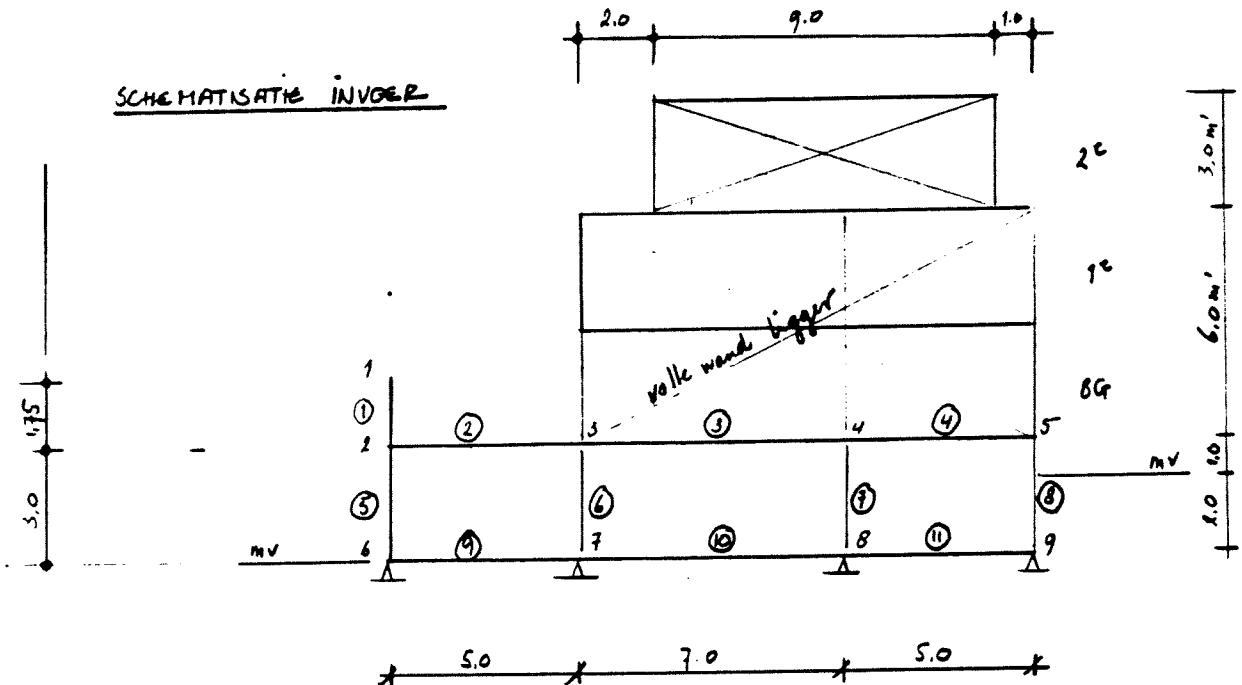
OPWAARTSE WATERDRUK PARKERGARAGEVLOER* 42,5 kNm²

Totale permanente + veranderlijke belasting neerwaarts	59,4 kNm²
totale opwaartse waterdruk	42,5 kNm²
Totale resulterende belasting:	101,9 kNm² neerwaarts

Conclusie: de resulterende belasting is altijd neerwaarts gericht. Trekpalen zijn niet benodigd.

B9.1 DIMENSIONERING WANDCONSTRUCTIE

De wandconstructie is uitgewerkt met prefab betonnen voorgespannen damwanden. De constructie is ingevoerd in het 2D-raamwerk programma FRAME. De schematisatie is als volgt:



<u>ELEMENTEN</u>	<u>STAAT NR</u>	<u>KENMERK</u>
PREFAB VOORGESPANNEN DAMWAND	: ① ⑤ ⑧	VD
VLOER $h = 300 \text{ mm}$: ②	V3
VOLLEWAND LIGGER ($b \times h$) $0,2 \times 6,0$: ③ ④	VL
KOLOM $\phi 600$: ⑥ ⑦	K
VLOER $h = 500$: ⑨ ⑩ ⑪	V5

Belastingen - AlgemeenDak 1^e verdieping

EG : $0,25 + 25,0 \text{ kN/m}^3$
 dakbedekking :

$$\begin{aligned} &= 6,25 \text{ kN/m}^2 \\ &= \frac{1,0}{7,25} \cdot + \end{aligned}$$

Verv. bel. : $1,0 \text{ kN/m}^2$

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

Vloer 2^e verdieping

EG : $0,25 + 25,0 \text{ kN/m}^3$
 afdrukking : $0,04 \times 25,0 \text{ "}$

$$\begin{aligned} &= 6,25 \text{ kN/m}^2 \\ &= \frac{3,0}{7,25} \downarrow + \end{aligned}$$

Verv. bel. : $1,75 \text{ kN/m}^2$

$$1,75 \text{ kN/m}^2$$

Vloer 1^e verdieping

EG : $0,25 + 25,0 \text{ kN/m}^3$
 afdrukking : $0,04 \times 25,0 \text{ "}$

$$\begin{aligned} &= 6,25 \text{ kN/m}^2 \\ &= \frac{1,0}{7,25} \cdot + \end{aligned}$$

Verv. bel. : $1,75 \text{ kN/m}^2$

$$1,75 \text{ kN/m}^2$$

Vloer Winkel

EG : $0,3 + 25,0 \text{ kN/m}^3$
 afdrukking : $0,04 \times 25,0 \text{ "}$

$$\begin{aligned} &= 7,5 \text{ kN/m}^2 \\ &= \frac{1,0}{8,5} \text{ " } + \end{aligned}$$

Verv. bel. : $4,0 \text{ kN/m}^2$

$$4,0 \text{ kN/m}^2$$

Vloer parkeergarage

EG : $0,5 \text{ m}^2 \times 25,0 \text{ kN/m}^2$

Afwerking : vloerplaten

Vev. bel : $2500 - 12000 \text{ kg}$

= $12,5 \text{ kN/m}^2$

= - -

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

Wanden woningen / Winkel

Woning scheidend : $0,2 \times 25,0 \times 2,7 \text{ m}^2$

= $33,8 \text{ kN/m}^2$

Midden werk : $0,1 \times 20,0 \times 2,7 \text{ m}^2$

= $51,4 \text{ kN/m}^2$

Vloer parkeergarage

Betonnen demwand + voorzetwand. $0,19 \times 25,0 + 0,25 \times 25 = 11,0 \text{ kN/m}^2$

Waterdruk

MHW $9,75 \text{ m}^2 \text{ NAP}$

GWS $2,50 \text{ m}^2 \text{ NAP}$

Ingevoerde belastingen in FRAME 2D PAKKWERKPermanente belasting

(hoogte maat bouwmuur : 6,0 m')

Dak	: $9/12 * 6,0 \text{ m}^2 * 7,25 \text{ kN/m}^2$	= 32,6 $\text{kN/m}'$
vloer 2e verd	: $6,0 \text{ m}^2 * 7,25 \text{ } \cdot$	= 43,5 $\text{ } \cdot$
vloer 1e verd	: $6,0 \text{ m}^2 * 7,25 \text{ } \cdot$	= 43,5 $\text{ } \cdot$
vloer winkel	: $6,0 \text{ m}^2 * 8,5 \text{ } \cdot$	= 51,0 $\text{ } \cdot$
vloer parkeergarage	: $6,0 \text{ m}^2 * 12,5 \text{ kN/m}^2$	= 75,0 $\text{kN/m}'$
Bouwmuren 2e	: $9/12 * 33,8 \text{ kN/m}'$	= 25,4
1e + DG	: $2 * 33,8$	= 67,6
kopwanden 2e	: $\frac{6,0 \text{ m}^2 * 5,4 \text{ kN/m}'}{12 \text{ m}^2} * 2$	= 5,4

Gronddruk

Achter de waterkering : $L * f' g H = 6,0 * 14,0 \text{ kN/m}^3 * 2,0 \text{ m}' = 168 \text{ kN/m}^2$

Veranderlijke belasting:

Dak	: $9/12 * 6,0 \text{ m}^2 * 1,0 \text{ kN/m}^2$	= 4,5 $\text{kN/m}'$
vloer 2e	: $4 * 0,4 * 6,0 * 1,75 \text{ } \cdot$	= 4,2 $\text{ } \cdot$
vloer 1e	: $0,4 * 6,0 * 1,75 \text{ } \cdot$	= 4,2 $\text{ } \cdot$
vloer winkel	: $0,4 * 6,0 * 4,0 \text{ } \cdot$	= $\frac{9,6}{22,5} \text{ } \cdot$
vloer parkeergar.	: $6,0 * 5,0 \text{ kN/m}^2$	= 30,0 kN/m^2

invoer vervolg

Veranderlijke belasting

$$\text{promenade} : 6,0 \text{ m}' \times 4,0 \text{ kN/m}^2 = 24,0 \text{ kN/m}^2$$

Waterdruk

$$\text{MHW } 9,25' + (9,25 - 5,0) \times 10 + 1,0 \text{ m} = 255 \text{ kN/m}'$$

combinaties

$$1,2 * \text{ permanente bel.} + 1,5 * \text{ veranderlijke bel}$$

$$1,2 * " " + 1,2 * \text{ MHW}$$

$$1,2 * " " + 1,5 * \text{ veranderlijke bel} + 1,2 \text{ MHW}$$

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 412
Datum : 17/05/1999
Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Krachteenheid : kN Lengte-eenheid : m
Aantal staven : 11 Aantal veren : 0
Aantal knopen : 9 Aantal BG : 3
Aantal randvwn. : 4 Aantal BC : 3
Scheefstand : 0 Analyse type : FL+GL
Eigen gewicht van de constructie : 1922.28

Assenstelsel definitie :

0-----> X+
|
| RZ+ van X+ naar Y+
v Y+

Knooppcoordinaten

Knptr	X	Y	Knptr	X	Y
1	0.000	0.000	2	0.000	1.750
3	5.000	1.750	4	12.000	1.750
5	17.000	1.750	6	0.000	4.750
7	5.000	4.750	8	12.000	4.750
9	17.000	4.750			

Geometrische Profielgegevens

H=Hoogte, D=Diameter, Tb=dikte flens boven, To=dikte flens onder

Bb=Breedte boven, Bo=Breedte onder, Tl=dikte lijf

Prof	Type	H/D	Tb	To	Bb	Bo	Tl
VD	PPL-prof	0.4500	0.1200	0.1200	0.4400	0.4400	0.2100
V3	RH-prof	0.3000			6.0000		
VL	RH-prof	6.0000			0.2000		
K	RH-prof	0.4710			0.4710		
V5	RH-prof	0.5000			6.0000		

Profiel Eigenschappen

Code	A	I	Neta	E S.G.	R	Prof	pos	Mat	On.	stijf
VD	1.497E-001	3.164E-003	0.000E+000	2.000E+007	25.0	Z	VD	Beton	0	
V3	1.800E+000	1.350E-002	0.000E+000	2.000E+007	25.0	Y	V3	Beton	0	
VL	1.200E+000	3.600E+000	0.000E+000	2.000E+007	25.0	Y	VL	Beton	0	
K	2.218E-001	4.101E-003	0.000E+000	2.000E+007	25.0	Y	K	Beton	0	
V5	3.000E+000	6.250E-002	0.000E+000	2.000E+007	25.0	Y	V5	Beton	0	

Staaftopologie

Stf	Code	I	J	NVM	Lengte	dx/dy	excIx	excIy	excJx	excJy
		<I>	-<J>-							
1	VD	1	2	111 111	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	V3	2	3	111 111	5.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00
3	VL	3	4	111 111	7.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 2 113
Datum : 17/05/1999
Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Staaftopologie

Stf	Code	I	J	NVM	Lengte	dx/dy	excIx	excIy	excJx	excJy
-----<I>-<J>-----										
4	VL	4	5	111 111	5.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00
5	VD	2	6	111 111	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	K	3	7	111 111	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	K	4	8	111 111	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	VD	5	9	111 111	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	V5	6	7	111 111	5.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00
10	V5	7	8	111 111	7.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00
11	V5	8	9	111 111	5.00	999.99	0.00	0.00	0.00	0.00

Randcondities

Knp	Cond	CX	CY	CM	Hoek (Rad)
6	110				
7	010				
8	010				
9	010				

Staaflasten

BG : 1 perm bel.

Stfnr/ Knpnr	Type	Richting	Q(i)	Q(j)	A(i)	A(j)
0/ 3-5	Q	GY	32.60	32.60	0.000	0.000
0/ 3-5	Q	GY	43.50	43.50	0.000	0.000
0/ 3-5	Q	GY	43.50	43.50	0.000	0.000
0/ 2-5	Q	GY	51.00	51.00	0.000	0.000
0/ 6-5	Q	GY	75.00	75.00	0.000	0.000
0/ 3-5	Q	GY	25.40	25.40	0.000	0.000
0/ 3-5	Q	GY	67.60	67.60	0.000	0.000
0/ 3-5	Q	GY	5.40	5.40	0.000	0.000
0/ 9-5	Q	GX	-84.00	0.00	0.000	1.000

Knooplasteren

Type : 1=Krachten, 2=Knoopverplaatsingen)

BG : 1 perm bel.

Knpnr	Type	Richting	Waarde
6	1	GY	313.50
9	1	GY	198.00
3	1	GY	64.80
4	1	GY	64.80
5	1	GY	64.80

Staaflasten

BG : 2 ver bel

Stfnr/ Knpnr	Type	Richting	Q(i)	Q(j)	A(i)	A(j)
0/ 3-5	Q	GY	22.50	22.50	0.000	0.000

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 3 / 114
 Datum : 17/05/1999
 Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Staaflasten

BG : 2 ver bel

Stfnr/ Knpnr	Type	Richting	Q(i)	Q(j)	A(i)	A(j)
0/ 6-9	Q	GY	30.00	30.00	0.000	0.000
0/ 2-3	Q	GY	24.00	24.00	0.000	0.000

Staaflasten

BG : 3 MHW

Stfnr/ Knpnr	Type	Richting	Q(i)	Q(j)	A(i)	A(j)
0/ 6-2	Q	GX	255.00	75.00	0.000	0.000
0/ 2-1	Q	GX	75.00	0.00	0.000	0.500

Combinaties

BC Omschrijving	BG Factor Omschrijving
1 f-perm. + ver. bel.	1 1.200 perm bel. 2 1.500 ver bel 3 0.000 MHW
2 f-perm. + MHW.	1 1.200 perm bel. 2 0.000 ver bel 3 1.200 MHW
3 f-perm. + ver. bel. + MHW	1 1.200 perm bel. 2 1.500 ver bel 3 1.200 MHW

Staafkrachten voor BG

In lokaal assenstelsel

BG Stf Knp	N	V	M	Knp	N	V	M
------------	---	---	---	-----	---	---	---

Omschrijving :perm bel.							
1 1 1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	0.000	0.000
1 2 2	22.714	-109.946	-41.860	3	-22.714	-145.054	129.628
1 3 3	29.539	-999.619	-140.472	4	-29.539	-883.381	-266.359
1 4 4	23.711	-612.668	274.301	5	-23.711	-732.332	24.861
1 5 2	109.946	22.714	41.860	6	-109.946	-22.714	26.281
1 6 3	1209.472	6.825	10.844	7	-1209.472	-6.825	9.631
1 7 4	1560.849	-5.828	-7.942	8	-1560.849	5.828	-9.542
1 8 5	797.132	-23.711	-24.861	9	-797.132	-60.289	9.729
1 9 6	61.286	-138.772	-26.281	7	-61.286	-236.228	269.922
1 10 7	54.461	-260.994	-279.553	8	-54.461	-264.006	290.092
1 11 8	60.289	-245.556	-280.549	9	-60.289	-129.444	-9.729

Omschrijving :ver bel

2 1 1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	0.000	0.000
2 2 2	7.697	-49.730	-14.528	3	-7.697	-70.270	65.876
2 3 3	7.208	-85.432	-64.350	4	-7.208	-72.068	17.579
2 4 4	3.643	-57.861	-12.761	5	-3.643	-54.639	4.706
2 5 2	49.730	7.697	14.528	6	-49.730	-7.697	8.564
2 6 3	155.701	-0.490	-1.526	7	-155.701	0.490	0.057

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 4 / 115
 Datum : 17/05/1999
 Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Staafkrachten voor BG

In lokaal assenstelsel

BG	Stf	Knp	N	V	M	Knp	N	V	M
2	7	4	129.929	-3.565	-4.818	8	-129.929	3.565	-5.877
2	8	5	54.639	-3.643	-4.706	9	-54.639	3.643	-6.222
2	9	6	-7.697	-54.537	-8.564	7	7.697	-95.463	110.878
2	10	7	-7.208	-104.413	-110.934	8	7.208	-105.587	115.047
2	11	8	-3.643	-95.590	-109.170	9	3.643	-54.410	6.222

Omschrijving : MHW

3	1	1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	46.875	-19.531
3	2	2	190.343	-2.691	-10.052	3	-190.343	2.691	-3.403
3	3	3	118.478	25.929	110.842	4	-118.478	-25.929	70.659
3	4	4	51.001	21.837	31.517	5	-51.101	-21.837	77.669
3	5	5	2.691	143.468	29.583	6	-2.691	351.532	-206.680
3	6	6	-18.620	-71.865	-107.439	7	28.620	71.865	-108.156
3	7	4	4.101	-67.377	-102.176	8	-4.091	67.377	-99.955
3	8	5	31.837	-51.101	-77.669	9	-21.837	51.101	-75.634
3	9	6	-190.343	60.878	206.680	7	190.343	-60.878	97.709
3	10	7	-118.478	5.626	10.447	8	118.478	-5.626	28.938
3	11	8	-51.101	29.330	71.017	9	51.101	-29.330	75.634

Staafkrachten voor BG

In lokaal assenstelsel

BG	Stf	Knp	N	V	M	Knp	N	V	M
Omschrijving : f-perm. + ver. bel.									
1	1	1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	0.000	0.000
1	2	2	38.602	-205.531	-72.024	3	-38.602	-279.469	254.367
1	3	3	46.258	-1327.690	-265.092	4	-46.258	-1168.160	-293.262
1	4	4	33.917	-821.993	310.019	5	-33.917	-960.757	36.892
1	5	2	206.531	38.802	72.024	6	-206.531	-38.802	44.382
1	6	3	1684.918	7.456	10.725	7	-1684.918	-7.456	11.643
1	7	4	2067.913	-12.341	-16.757	8	-2067.913	12.341	-20.266
1	8	5	1038.517	-33.917	-36.892	9	-1038.517	-66.883	2.342
1	9	6	61.998	-248.332	-44.382	7	-61.998	-426.668	490.222
1	10	7	54.542	-469.812	-501.865	8	-54.542	-475.188	520.680
1	11	8	66.883	-438.051	-500.414	9	-66.883	-236.949	-2.342

Omschrijving : f-perm. + MHW.

2	1	1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	56.250	-23.438
2	2	2	255.668	-135.165	-62.295	3	-255.668	-170.835	151.469
2	3	3	177.620	-1168.428	-35.556	4	-177.620	-1091.172	-234.840
2	4	4	89.774	-708.997	366.982	5	-89.774	-905.003	123.035
2	5	2	135.165	199.418	85.732	6	-135.165	394.582	-216.479
2	6	3	1417.023	-78.048	-115.914	7	-1417.023	78.048	-118.230
2	7	4	1477.329	-87.846	-132.142	8	-1877.929	87.846	-131.397
2	8	5	92.763	-89.774	-123.035	9	-982.763	-11.026	-79.086
2	9	6	-154.368	-93.473	216.479	7	154.368	-356.527	441.157
2	10	7	-76.820	-306.442	-322.927	8	76.820	-323.558	382.836
2	11	8	11.026	-259.470	-251.438	9	-11.026	-190.530	79.086

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 5 *116*
 Datum : 17/05/1999
 Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Staafkrachten voor BC

In lokaal assenstelsel

BC	Stf	Knp	N	V	M Knp	N	V	M
----	-----	-----	---	---	-------	---	---	---

Cmschrijving : f-perm. + ver. bel. + MHW

3	1	1	0.000	0.000	0.000	2	0.000	56.250	-23.438
3	2	2	267.214	-209.761	-84.087	3	-267.214	-276.239	250.283
3	3	3	188.431	-1296.575	-132.081	4	-188.431	-1199.275	-208.472
3	4	4	95.238	-795.788	347.840	5	-95.238	-986.962	130.094
3	5	2	209.761	210.964	107.524	6	-209.761	383.036	-203.633
3	6	3	1650.575	-78.782	-118.202	7	-1650.575	78.782	-118.145
3	7	4	2072.823	-93.194	-139.369	8	-2072.823	93.194	-140.212
3	8	5	1064.722	-95.238	-130.094	9	-1064.722	-5.562	-88.419
3	9	6	-156.414	-175.279	203.633	7	166.414	-499.721	607.473
3	10	7	-87.631	-463.060	-489.328	8	87.631	-481.940	555.406
3	11	8	5.562	-402.855	-415.193	9	-5.562	-272.145	88.419

Knooppplaatsingen voor BG

BG	Knphr	X-Verpl.	Y-Verpl.	Rotatie
1	1	0.000956	0.000110	0.000467
1	2	0.000039	0.000110	0.000467
1	3	0.000036	0.000818	0.000087
1	4	0.000027	0.001055	-0.000026
1	5	0.000022	0.000799	-0.000073
1	6	0.000000	0.000000	0.000098
1	7	-0.000005	0.000000	0.000065
1	8	-0.000011	0.000000	-0.000055
1	9	-0.000016	0.000000	-0.000138
2	1	0.000374	0.000050	0.000181
2	2	0.000057	0.000050	0.000181
2	3	0.000056	0.000105	0.000000
2	4	0.000054	0.000088	-0.000005
2	5	0.000053	0.000055	-0.000008
2	6	0.000000	0.000000	0.000040
2	7	0.000001	0.000000	0.000029
2	8	0.000001	0.000000	-0.000025
2	9	0.000002	0.000000	-0.000044
3	1	0.002058	0.000003	0.000041
3	2	0.002011	0.000003	-0.000056
3	3	0.001984	-0.000019	0.000006
3	4	0.001950	0.000003	0.000004
3	5	0.001939	0.000022	0.000005
3	6	0.000000	0.000000	0.000210
3	7	0.000016	0.000000	-0.000008
3	8	0.000030	0.000000	0.000044
3	9	0.000034	0.000000	0.000054

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 6 / 117
Datum : 17/05/1999
Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Knoopverplaatsingen voor BC

BC	Knptr	X-Verpl.	Y-Verpl.	Rotatie
1	1	0.001588	0.000207	0.000832
1	2	0.000133	0.000207	0.000832
1	3	0.000127	0.001139	0.000104
1	4	0.000114	0.001398	-0.000039
1	5	0.000107	0.001041	-0.000100
1	6	0.000000	0.000000	0.000177
1	7	-0.000005	0.000000	0.000121
1	8	-0.000012	0.000000	-0.000103
1	9	-0.000017	0.000000	-0.000232
2	1	0.003496	0.000135	0.000609
2	2	0.002460	0.000135	0.000493
2	3	0.002424	0.000958	0.000111
2	4	0.002372	0.001270	-0.000027
2	5	0.002354	0.000985	-0.000082
2	6	0.000000	0.000000	0.000370
2	7	0.000013	0.000000	0.000069
2	8	0.000022	0.000000	-0.000013
2	9	0.000021	0.000000	-0.000102
3	1	0.004057	0.000210	0.000880
3	2	0.002546	0.000210	0.000765
3	3	0.002509	0.001116	0.000111
3	4	0.002454	0.001402	-0.000035
3	5	0.002434	0.001067	-0.000094
3	6	0.000000	0.000000	0.000429
3	7	0.000014	0.000000	0.000112
3	8	0.000024	0.000000	-0.000050
3	9	0.000024	0.000000	-0.000168

Reactiekrachten voor BG

BG	Knptr	FX	FY	MZ
1	6	84.000	-562.218	0.000
1	7	0.000	-1706.695	0.000
1	8	0.000	-2070.410	0.000
1	9	0.000	-1124.577	0.000
2	6	0.000	-104.268	0.000
2	7	0.000	-355.576	0.000
2	8	0.000	-331.106	0.000
2	9	0.000	-109.049	0.000
3	6	-541.875	58.187	0.000
3	7	0.000	-26.632	0.000
3	8	0.000	19.612	0.000
3	9	0.000	-51.167	0.000

SCIA W+B Software
Partner In Constructieve Automatisering

Programma: FRAME 6.20.001

Pagina : 7 / 118
Datum : 17/05/1999
Tijd : 12:22:00

Projectomschrijving: Multifunctionele waterkering met prefab damwanden

Reactiekrachten voor BC

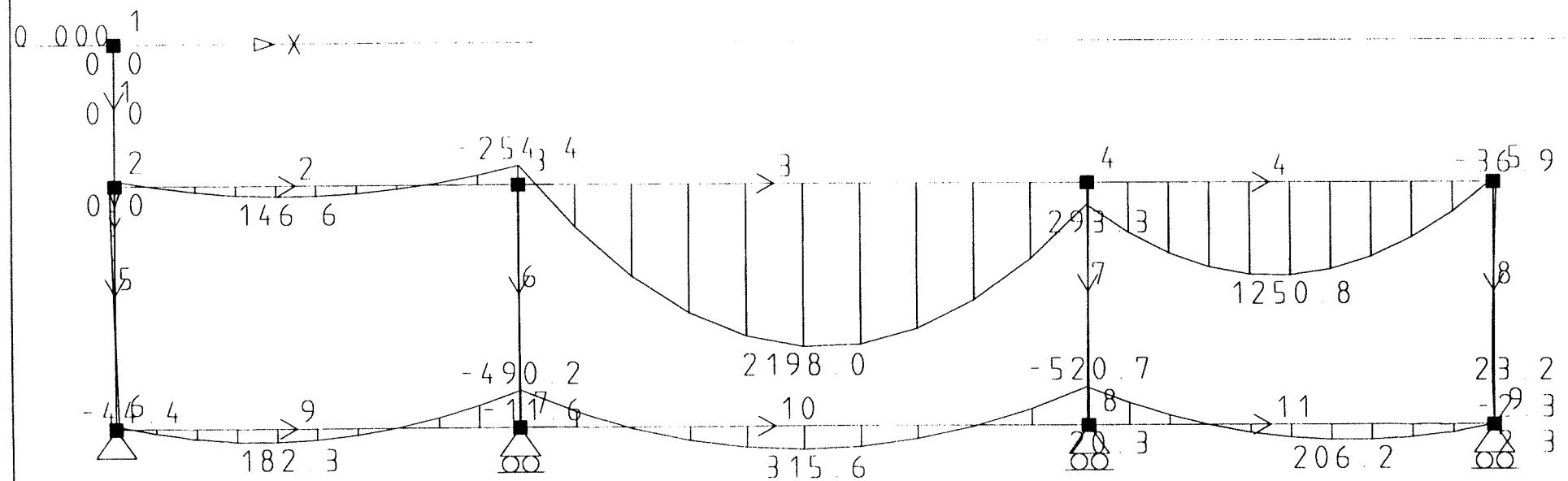
BC	Knptr	FX	FY	MZ
1	6	100.800	-831.064	0.000
1	7	0.000	-2581.399	0.000
1	8	0.000	-2981.152	0.000
1	9	0.000	-1513.066	0.000
2	6	-549.450	-604.838	0.000
2	7	0.000	-2079.992	0.000
2	8	0.000	-2460.958	0.000
2	9	0.000	-1410.893	0.000
3	6	-549.450	-761.240	0.000
3	7	0.000	-2613.356	0.000
3	8	0.000	-2957.617	0.000
3	9	0.000	-1574.467	0.000

Totale evenwicht van de constructie per belastingsgeval

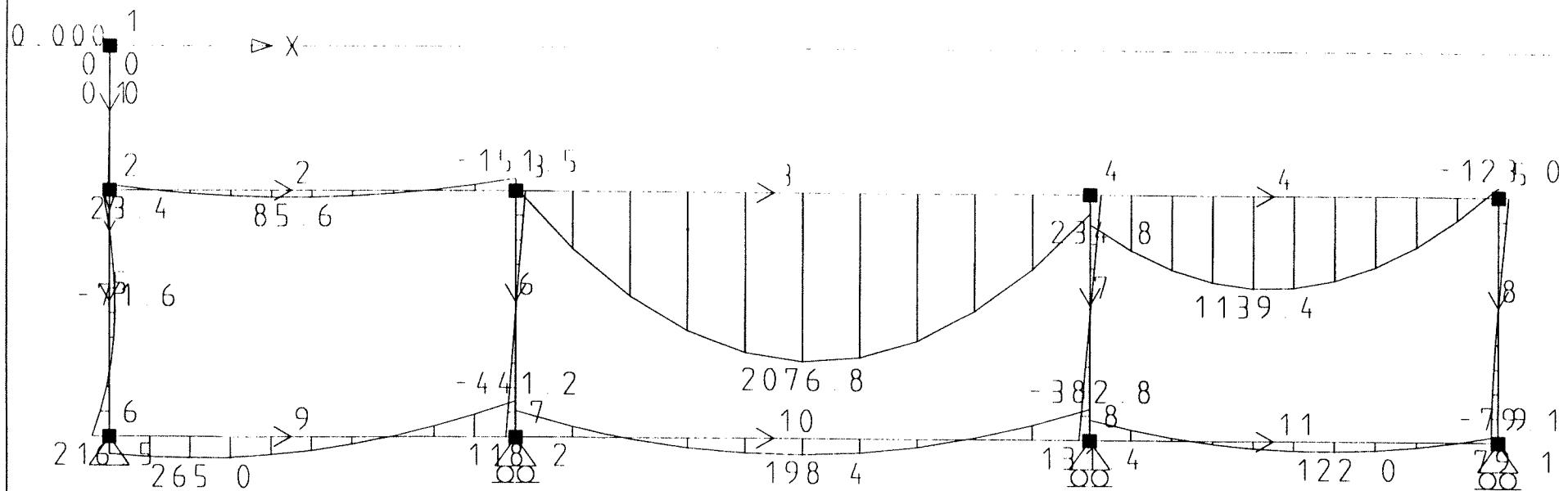
BG	Actie FX	React FX	Actie FY	React FY	Actie MZ	React MZ
1	-84.000	84.000	5463.900	-5463.900	52895.199	-52895.203
2	0.000	0.000	900.000	-900.000	7605.000	-7605.000
3	541.875	-541.875	0.000	0.000	-1806.250	1806.250

Totale evenwicht van de constructie per combinatie

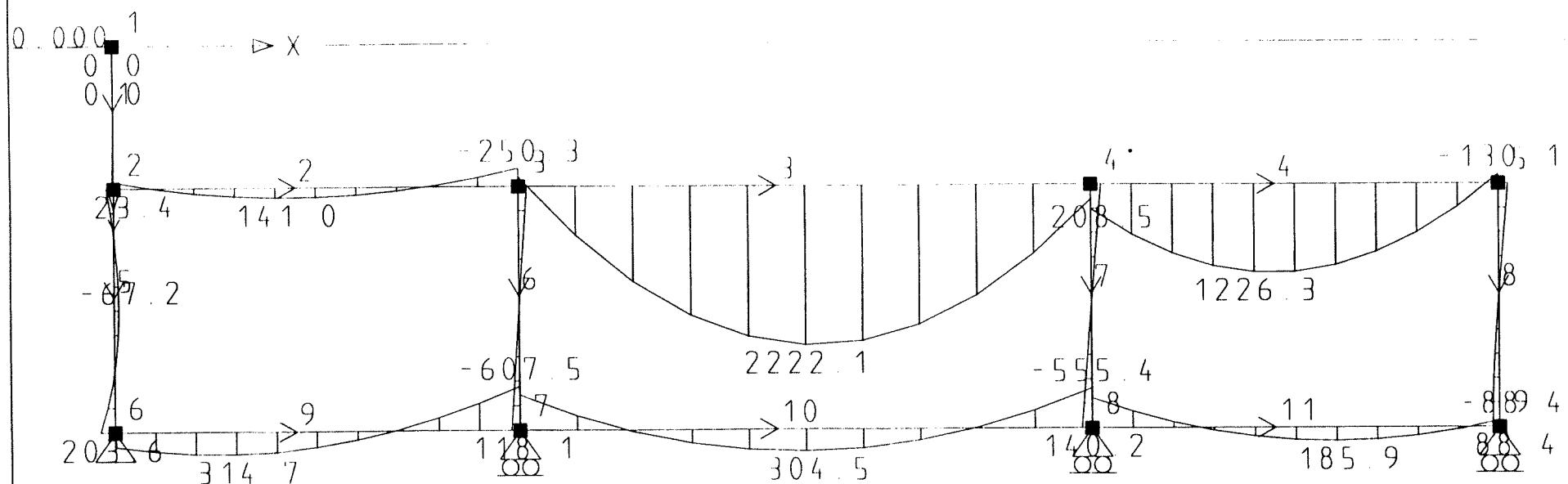
BC	Actie FX	React FX	Actie FY	React FY	Actie MZ	React MZ
1	-100.800	100.800	7906.681	-7906.680	74881.742	-74881.750
2	549.450	-549.450	6556.681	-6556.680	61306.742	-61306.746
3	549.450	-549.450	7906.681	-7906.680	72714.242	-72714.250



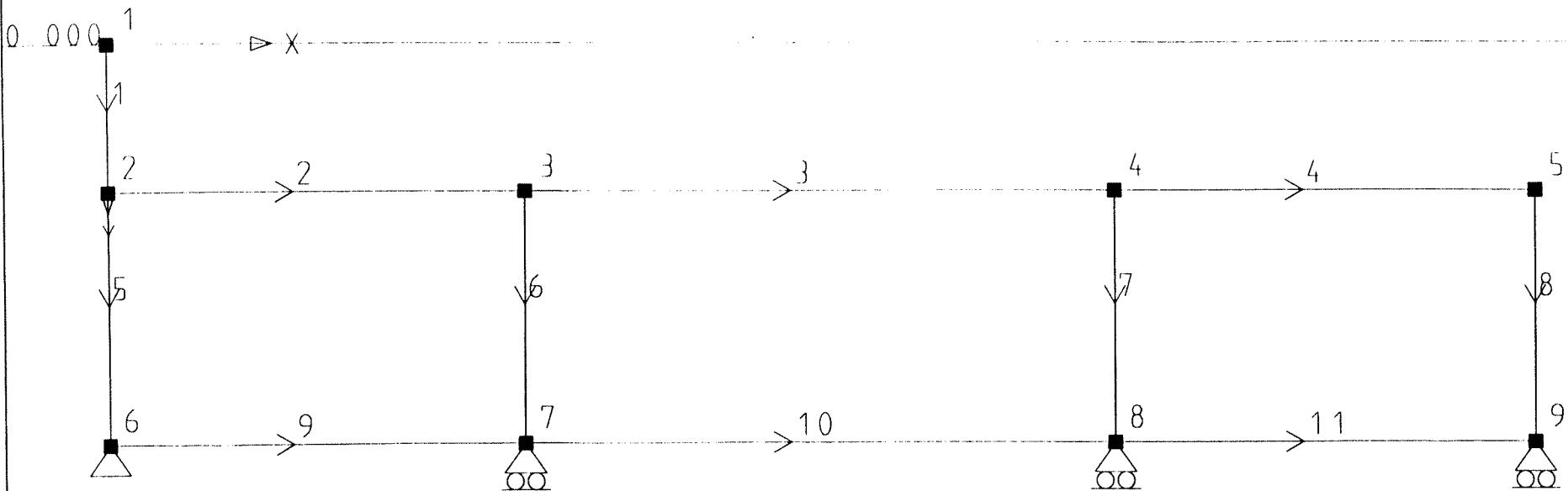
Project	MFW1
Projectomschrijving	Multifunctionele waterkering met prefab damwanden
Plotomschrijving	Momentenlijn van f-perm + ver. bel.
Schaal	1 : 1000
Datum	17-05-1999 (12:22:35)



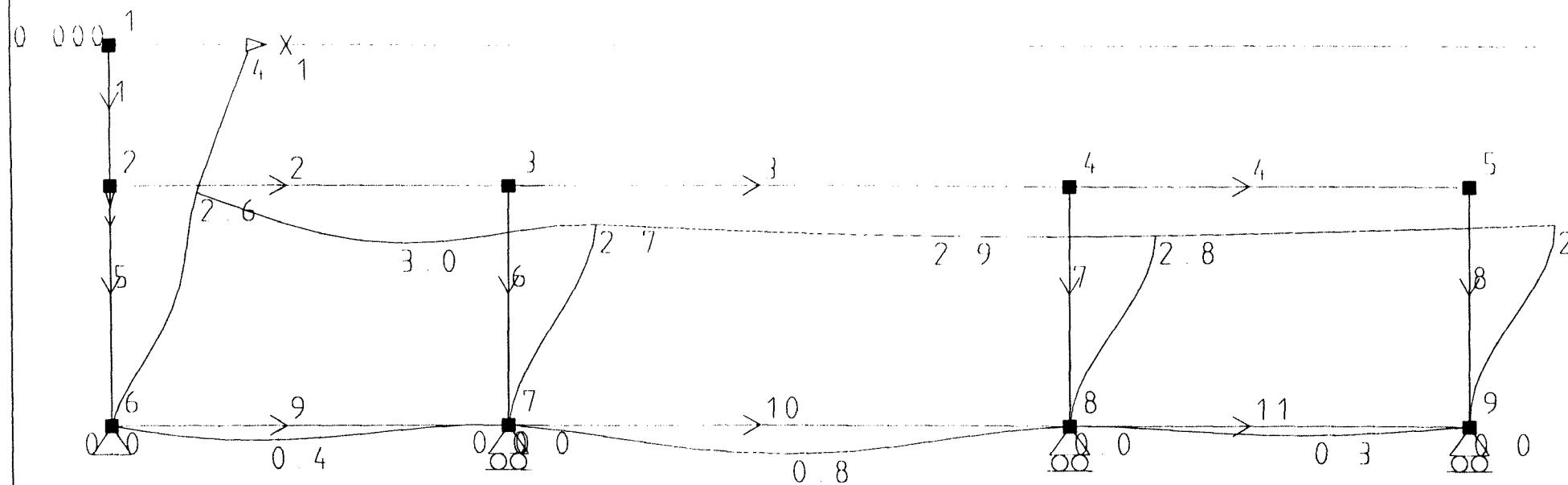
Project : MFW1
Projectomschrijving : Multifunctionele waterkering met prefab damwanden
Plotomschrijving : Momententijn van f-perm + MHW.
Schaal :
Datum : 17-05-1999 (12:22:50)



Project	MFW1
Projectomschrijving	Multifunctionele waterkering met prefab damwanden
Plotomschrijving	Momententijd van f-perm + ver. bel. + MHW
Schaal	1:1000
Datum	17-05-1999 (12:22:57)



Project	MFW1
Projectomschrijving	Multifunctionele waterkering met prefab damwanden
Plotomschrijving	Momentenlijn van f-perm + ver bel + MHW
Schaal	1 : 1000
Datum	17-05-1999 (13:24:20)



Project	MFW1
Projectomschrijving	Multifunctionele waterkering met prefab damwanden
Plotomschrijving	Verplaatsingslijn van f-perm + ver bel + MHW (* 0 001)
Schaal	
Datum	17-05-1999 (13 24 56)

Borchening Palen MFN

Conform 40-80-methode

In heidepte 6,0 m : NRP

Paal $\phi 450$

$$4D = 1,8 \text{ m}^2$$

$$8D = 3,6 \text{ m}^2$$

$$\bar{\tau}_p = \frac{\frac{0,5 + 10}{2} + 7,0}{2} = 8,125 \text{ N/mm}^2 \text{ met } f' = 0,75$$

$$F_{p,d} = f \bar{\tau}_p A_p \text{ N} \rightsquigarrow 987 \text{ kN}$$

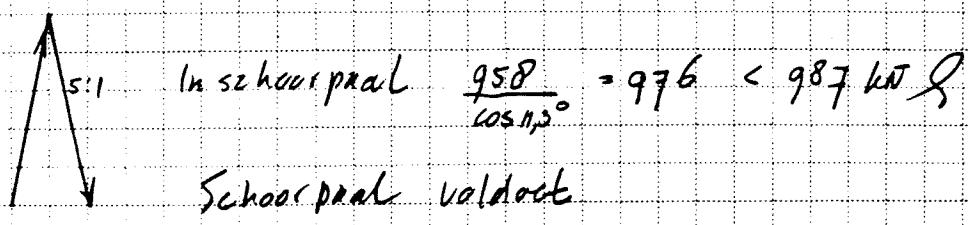
Schachtwrijving buiten beschouwing gelaten

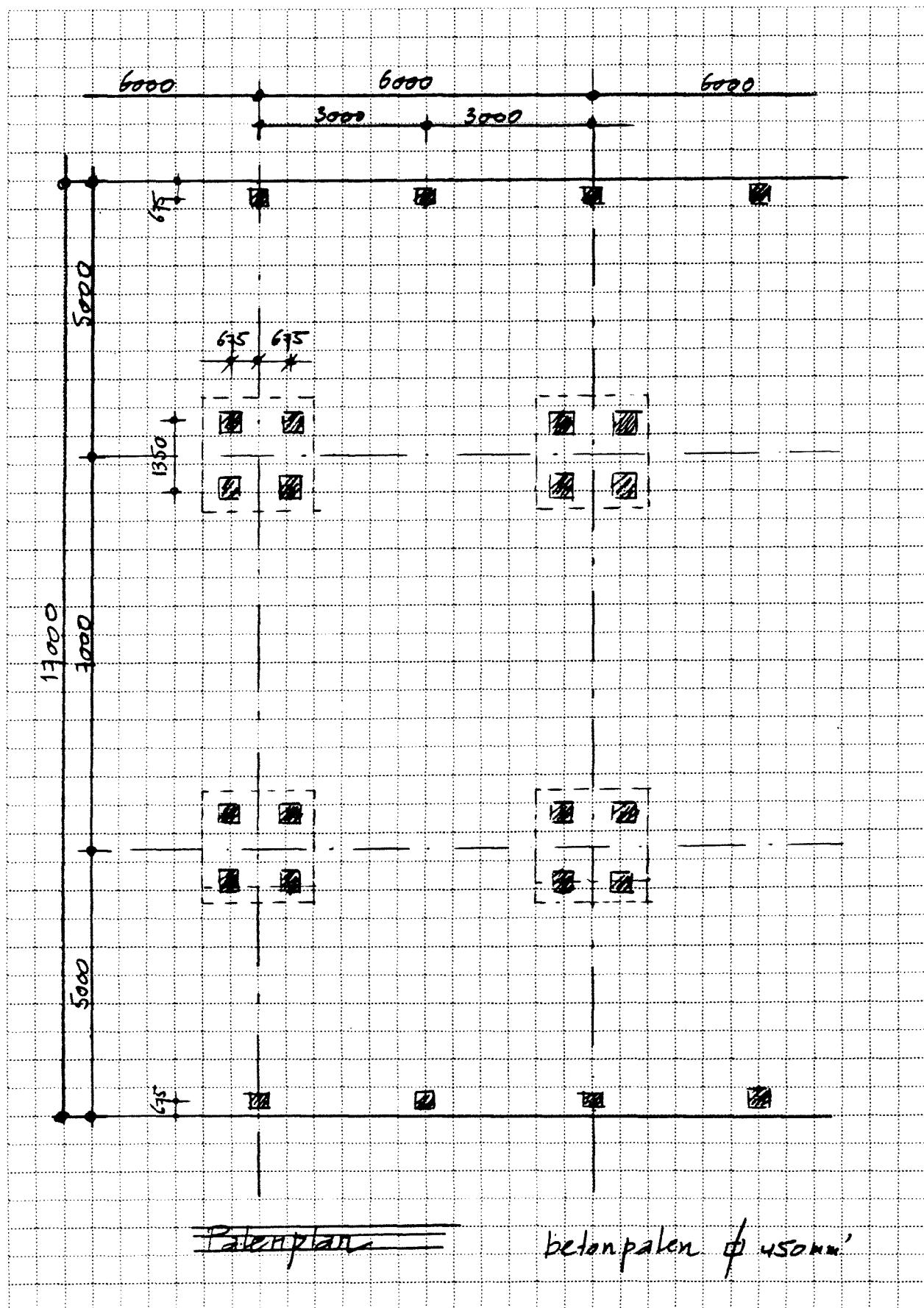
Maatgevende paalbelastingen ZIC bijlage blz 110

$$1) F_{ant,d} = \frac{2460}{4} \pm F_{hor,d} = \frac{549,5 \pm 5}{2} = 950 \text{ kN}$$

$$271 \text{ kN}$$

$$2) F_{ant,d} = \frac{2981}{4} = 745 \text{ kN}$$





B9.2 Moment en dwarskracht

Moment in vloer parkeergarage

overspanning: Lx 6,0 m1 Ly 7,0 m1
 vloerdikte: 0,5 m materiaal: beton s.g: 25 kN/m³
 dan op parkeergaragevloer:
 permanente belasting: 12,5 kN/m² = 0,5 x 25 kN/m³
 veranderlijke bel.: 5,0 kN/m²
 opwaartse waterdruk: 42,5 kN/m²

totale belasting: 0,9*perm.bel+0,9*ver.bel*1,2*Qopwaarts= 35,25 kN/m²

Met behulp van NEN6720 tabel 19 vindt men voor het moment van de puntvormig ondersteunde plaatvloer:

MOMENT

$$\text{Moment} = 0,161 \cdot qd \cdot Lx^2 = 204,3 \text{ kNm}$$

Benodigde wapening volgt uit:

$$\frac{Mu}{b \cdot d^2} = 1010,0 \text{ kN/m}^2$$

Uitgaande van betonsterkteklasse B35 is het wapeningspercentage 0,24%

$$As = \frac{0,24 \cdot b \cdot d}{100} = 1080 \text{ mm}^2$$

Pas toe : wapening rond 16 - 175 mm (=1149 mm²)

DWARSKRACHT

Ponscontrole t.p.v. Een kolom

$$\text{Fopwaarts} = \text{Oppervlak} * Q_{\text{total}} = 6 \cdot 6 \cdot 35,25 = 1270 \text{ kN}$$

$$\text{Optredende ponssp.} = \tau_d = \frac{1270 \cdot 10^3}{\pi d(d+a)} = 0,85 < \tau_1 = 1,12 \text{ N/mm}^2$$

met d = 450mm

a = rond 600mm

Pas toe: kolomkoppen (1000*1000mm) met een dikte van 750mm ter inleiding van de kolomkrachten

B10 verhanglijnen

B10.1 Theorie verhanglijnen

Er zijn verschillende typen verhanglijnen welke afhankelijk zijn van:

- de waterdiepte (d), de grensdiepte (d_e) en de evenwichtsdiepte (d_g)
- de bodemverhang (i_b)
- wrijvingscoëfficiënt (λ)

De typen verhanglijnen worden aangegeven met

een letteraanduiding die afhankelijk is van het bodemverhang:

A (adverse slope), H (horizontal slope), M (mild slope), C (critical slope) en S (steep slope).

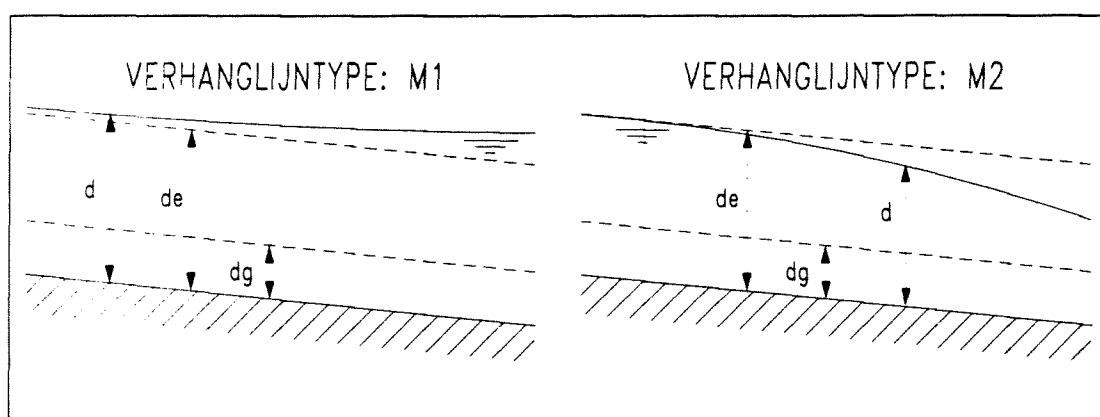
En een cijferaanduiding waarbij:

1 staat voor een waterdiepte (d) die groter is dan d_e en d_g (=subkritische stroming),

2 staat voor een waterdiepte (d) die tussen d_e en d_g ligt, en

3 staat voor een waterdiepte (d) die kleiner is dan d_e en d_g (=superkritische stroming)

Bij laaglandrivieren zoals de rivier de Waal treedt doorgaans één van de volgende twee typen op: Type M₁- of type M₂-verhanglijn.



Figuur 1, verhanglijntypen M1 en M2

De stroming is dan subkritisch. Bij subkritische stroming kunnen verstoringen zich alleen stroomopwaarts voortplanten. De benedenstroomse randvoorwaarden zijn dan maatgevend.

• Verhanglijnvergelijking

Met behulp van de verhanglijnvergelijking kan de waterstand worden bepaald ten gevolge van ingrepen op de rivier. De vergelijking luidt:

$$\frac{dd}{ds} = \frac{i_b d^3 - \frac{\lambda q^2}{g}}{d^3 - \frac{\alpha q^2}{g}} \quad \text{met } i_b > 0 \text{ wordt na enig omwerken gevonden: } \frac{dd}{ds} = i_b \frac{d^3 - d_e^3}{d^3 - d_g^3}$$

De laatste vergelijking is bekend als de vergelijking van Bélanger.

Het Froudegetal (Fr) is een kental voor stroming met een vrije waterspiegel. Voor $Fr = 1$ is de stroming kritisch. De diepte waarbij het Froudegetal (Fr) deze waarde aanneemt voor gegeven afvoer, wordt de grensdiepte (d_g) genoemd.

Voor de grensdiepte (d_g) geldt:

$$d_g^3 = \alpha \frac{q^2}{g} \quad \text{met } Fr = 1 \quad \text{dit is afgeleid uit: } Fr^2 = \alpha \frac{U^2}{gd} = \alpha \frac{q^2}{gd^3}$$

De evenwichtsdiepte wordt gedefinieerd als de diepte waarbij het bodemverhang (i_b) gelijk is aan het weerstandsverhang (i_w). In de verhangvergelijking wordt de teller nul. Als de waterdiepte (d) gelijk is aan de evenwichtsdiepte is de versnelling nul en is de stroming eenparig.

Voor de evenwichtsdiepte (d_e) geldt de volgende formule:

$$d_e^3 = \frac{\lambda}{i_b} \frac{q^2}{g} \quad (\text{als } i_b > 0) \quad \text{met } C = \sqrt{\frac{g}{\lambda}} : d_e^3 = \frac{q^2}{C^2 i_b}$$

• Stuwkromme

Rivierkundige maatregelen hebben veranderingen van de waterstand tot gevolg. Voor de semi-stationaire berekening zijn de benedenstrooomse randvoorwaarden maatgevend. Ter plaatse van de benedenrand is de waterstand een vast gegeven en is dus constant verondersteld. Ten gevolge van de genomen maatregelen in de rivier zal de waterstand zich over een zekere lengte aanpassen tot aan de benedenrand. Deze aanpassingslengte wordt de stuwkromme genoemd.

De stuwkromme is te benaderen met de volgende machtsfunctie:

$$\Lambda_{1/2} = 0,23 * \eta_0^{4/3} \quad \text{met } \eta_0 = \frac{h_0}{h_e}$$

h_0 = waterdiepte ter plaatse van de benedenstrooomse randvoorwaarde

h_e = evenwichtsdiepte

Daarbij geldt voor de halveringslengte $L_{1/2}$:

$$L_{1/2} = \Lambda_{1/2} * \frac{h_e}{i_b}$$

De waterdiepte in een punt 'p' bovenstroms op de rivier kan worden bepaald met:

$$(\eta_p - 1) = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{\Lambda_p}{\Lambda_{1/2}}} (\eta_0 - 1) \quad \text{met } \Lambda_p = L_{pm} \frac{i_b}{h_e}$$

L_{pm} = afstand van benedenstrooomse randvoorwaarde tot punt 'p'

Theorie verhanglynen

Numerische gegevens:

$$B_{gem} = 950 \text{ m}^2$$

$$I_b = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$Q_{MND} = 9569 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 45 \text{ m}^{1/2}/\text{sec}$$

$$h_m = 7.44 \text{ m} \quad [diepte bij de monding = benedenstroomrand voorwaarde]$$

Voor de berekening van de waterstand wordt in het verslag

gebruik gemaakt van een 'spreadsheet balk'

De volgende waarden worden daarin vermeldt.

Q_H = Debit bij maatwind hoogwater

h_m = Waterstand op de monding

h_{mp} = weinigste diepte traject monding - punt 'p'

η_m = verhoudingsgetal tussen verschillende diepten ($\frac{h_m}{h_p}$)

η_z = dimensieloos verhoudingsgetal voor de halvingslengte

η_p = dimensieloos verhoudingsgetal voor punt 'p'

η_p = verhoudingsgetal tussen verschillende diepten

n_p = waterstand in punt 'p'

De volgende formules zijn gebruikt:

$$Q_{\text{min}} = \text{gegeven} = 9569 \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{volgens IWR-rapport}]$$

h_m = berekend =

$$h_{\text{imp}} = \left[\frac{Q^2}{C^2 i_b (\Delta A)^2} \right]^{1/3} \quad \text{met } \Delta A = 8 \Delta h$$

$$l_m = \frac{h_m}{h_{\text{imp}}} = \frac{\text{waterdiepte monding}}{\text{beschreven diepte erbij tot monding - punt 'p'}}$$

$$l_p = \text{kant rechts van } l_m = \frac{l_m}{h_{\text{imp}}} \Rightarrow l_p = l_p + h_{\text{imp}}$$

$$l_p + (l_p - t) = \left(\frac{1}{2}\right)^{1/2} (l_m - t) \Rightarrow Q_m \text{ dit. op te}$$

lossen is l_p en $1/2$ benodigd

$$1/2 = 0,24 l_m^{1/3}$$

$$l_p = l_m \frac{i_b}{h_{\text{imp}}} \quad \text{met } l_m = \text{lengte traject monding - punt 'p'} \quad [\text{m}]$$

l_p is nu op te lossen

De waterdiepte t.p.v. punt 'p' volgt dan uit $h_p = l_p + h_{\text{imp}}$

$$L^{1/2} \text{ bij } Q = 15000 \text{ m}^3/\text{s} \quad ?$$

Volgens figuur rivierwaterbouwkunde (blz 10-59) waterstands-

$$\text{verschil } \Delta = 16000 \text{ m}^{1/3} \text{ en } Q = 15000 \text{ m}^3/\text{s} \approx 10-30 \text{ cm}$$

Aanname dat Bgma over dit verschil ongewijzigd blijft is acceptabel.

Parameters IKR

$$C = 4,5 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$i_b = 1,1 \times 10^{-4}$$

$Q = 9569 \text{ m}^3/\text{s}$ bij een afvoer van $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith

$$q = Q/B \text{ gem} = 10,07 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{q^2}{i_b \cdot C}} = 7,69 \text{ m}$$

$$L^{1/2} = 1^{1/2} \frac{h_e}{i_b} = 0,23 * \frac{7,69}{1,1 \times 10^{-4}} = 16087 \text{ m}^1$$

Den waterdiepte L.p.v. monding terugbrengen:

$$\text{met } 1^{1/2} \approx 0,23 \quad \text{en } 1^{1/2} = 0,24 \sqrt[3]{L_0} = 0,24 \frac{h_0^{4/3}}{h_e^{4/3}}$$

$$h_0^{4/3} = \frac{0,23}{0,24} h_e^{4/3} \Rightarrow h_0 = \sqrt[4/3]{\frac{0,23}{0,24} h_e}$$

$$= 0,968 * 7,69 = 7,44 \text{ m}^1$$

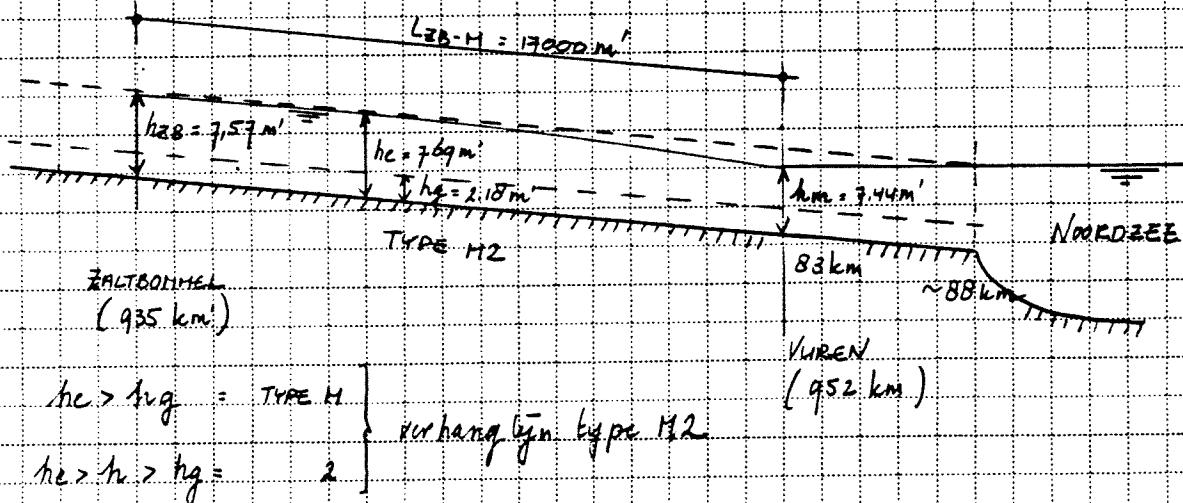
Diepte monding $h_m = 7,44 \text{ m}^1$

Situatie Zaltbommel

Niet gange punten benedenrand op 83 km vanaf Lobith

$$Q_{MHW} = 15000 \text{ m}^3/\text{s} \text{ bij Lobith}$$

$$Q_{Waal; MHW} = 9569 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$h_c = \sqrt[3]{\frac{g^2}{c^2 \cdot b}} = \sqrt[3]{\frac{10,09^2}{45^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-4}}} = 7,69 \text{ m}^3$$

$$h_g = \sqrt[3]{\frac{g^2}{g}} = 2,18 \text{ m}^3$$

$$h_m = \dots = 7,44 \text{ m}^3$$

Q_{MHW}	h_m	h_{m28}	h_m	A_{1L}	A_{2D}	η_{20}	h_{28}
9569	7,44	7,69	0,967	0,237	0,234	0,989	7,57

berekening parameterwaarden 2.2.

$$Q_{\text{HHW}} = 9569 \text{ m}^3/\text{s} (\text{graven})$$

$$h_m = 7,44 \text{ m} (\text{berekend na blz 1.})$$

$$h_{m-20} = 7,69 \text{ m} (\text{na vorige blz.})$$

$$\beta_m = \frac{h_m}{h_{m-20}} = \frac{7,44}{7,69} = 0,967$$

$$A_{1/2} = 0,24 \beta_m^{1/3} = 0,24 \cdot 0,967^{1/3} = 0,237$$

$$I_{23} = \frac{L_{20-4+16}}{h_{m-20}} = \frac{17000 + 11 \cdot 10^{-4}}{7,69} = 0,234$$

$$n_{23} = \left(\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{A_{23}}{1/2}} (I_m - 1) \right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{2}^{\frac{10,234}{0,237}} (0,967 - 1) \right) + 1 = 0,984$$

dans n_{23} :

$$h_{23} = n_{23} \cdot h_{m-23} = 0,984 \cdot 7,69 = 7,57 \text{ m}$$

"dus" hoge op de Waal lpr Zaltbommel:

$$h_{23} = 7,57 \text{ m}$$

Maatgevend hoogwater bij Zaltbommel bij een debiet van $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ komt overeen met een waterstand van NAP + 9,24 m' (conform geregistreerd polderdistrict)

Berekend: $h_{\text{res}} = 7,57 \text{ m}'$
= gemiddelde waterdiepte bij MHW

$$\text{Gemiddelde bodemdiepte} = \text{NAP} + 9,24 \text{ m}' - 7,57 \text{ m}' = \text{NAP} + 1,67 \text{ m}'$$

$$\text{Drijfzalig schip } \approx 3,0 \text{ m}' \quad h_{\text{gem}} = 1,67 \text{ m} + \text{NAP}$$

$$\text{Benodigde bodemdiepte: } 1,35 + 3,0 = 4,35 \text{ m}'$$

$$\text{By normaal peil minimal benodigde bodemdiepte: } 2,5 - 4,0 = 1,5 \text{ m} + \text{NAP}$$

$$b_{\text{gem}} = 950 \text{ m}'$$

$$b_1 = 325 \text{ m}'$$

$$b_2 = 300 \text{ m}'$$

$$\text{Dan } 2h_1 + 325 \text{ m}' + h_2 + 300 \text{ m}' = h_{\text{gem}} + 950 \text{ m}'$$

$$650h_1 + 300h_2 = 7,57 + 950$$

$$h_2 = \frac{7,57 + 950}{300} + \frac{650h_1}{300}$$

$$h_2 = 23,971 - 2,167h_1$$

$$\text{Stel } h_2 = (9,24 \text{ m}' + 1,5 \text{ m}') = 10,74 \text{ m}'$$

$$\text{dan } h_1 = \frac{(23,971 - 10,74)}{2,167} = 6,10 \text{ m}'$$

$$\text{Gemiddelde hoogte Waterwaard} = 9,24 - 6,10 = 3,13 \text{ m} + \text{NAP}$$

Invloed van de MFW op de waterstand t.o.v. bovenstroomse gelegen punt 'p' (niet meegenomen)
Waarden / A2 niet meegenomen) Invloed vermindering t.o.v. Waarde wel meegenomen

Waterdiepte h_m t.p.v. de monding (= Vuren kmnr. 951.780) is benedenstroomse randvoorwaarde
 h_{zb} is waterdiepte ter plaatse van het bovenstroomse gelegen Zaltbommel (kmnr. 934.780)

1	Q_{MHW}	h_m	$h_{e(m-MFW)}$	η_m	$\Delta_{1/2}$	Δ_{MFW}	η_{MFW}	h_{MFW}
	m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
	9569	7,440	7,694	0,967	0,237	2,43E-01	0,984	7,569

Ruwheid $C = 45 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ Stroomv.br Bs = 950 m
Verhang $ib = 1,1E-04$ Lengte b-m Lbm = 17000 m
Doorstr.opp $dA/dh = 950 \text{ m}$

Invloed bebouwing op bovenstroomse waterstand.
Verloop waterstand over Multi Functionele Waterkering. Lengte MFW: 750 m

2	Q_H	$h_{MFW\text{west}}$	$h_{eMFW(w-o)}$	$\eta_{MFW\text{ west}}$	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{MFW\text{ oost}}$	$\eta_{MFW\text{ oost}}$	$h_{MFW\text{ oost}}$
	m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
	9569	7,569	8,097	0,935	0,235	1,02E-02	0,937	7,585

Ruwheid $C = 45 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ Stroomv.br Bs = 880 m
Verhang $ib = 1,1E-04$ Lengte b-m Lbm = 750 m
Doorstr.opp $dA/dh = 880 (= 950\text{m}-70\text{m})$

Verloop waterstand MFW tot bovenstroomse gelegen punt 'p' op 15,0 km afstand

4	Q_H	h_{zb}	$h_{e(zb-MFW)}$	η_{zb}	$\Delta_{1/2}$	Δ_{MFW}	η_{MFW}	h_{MFW}
	m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
	9569	7,585	7,694	0,986	0,239	2,14E-01	0,992	7,635

Ruwheid $C = 45 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ Stroomv.br Bs = 950 m
Verhang $ib = 1,1E-04$ Lengte b-m Lbm = 15000 m
Doorstr.opp $dA/dh = 950 \text{ m}$

Waterstandsverloop van monding tot bovenstroomse gelegen punt 'p' in de initiale situatie. MFW is niet aanwezig

5	Q_H	h_{monding}	$h_{e(m-\text{punt}'p')}$	η_m	$\Delta_{1/2}$	$\Delta_{\text{punt}'p'}$	$\eta_{\text{punt}'p'}$	$h_{\text{punt}'p'}$
	m3/s	m	m	[-]	[-]	[-]	[-]	m
	9569	7,440	7,694	0,967	0,237	4,68E-01	0,992	7,629

Ruwheid $C = 45$ Stroomv.br Bs = 950
Verhang $ib = 1,1E-04$ Lengte b-m Lbm = 32750
Doorstr.opp $dA/dh = 950$

Lengte monding tot punt 'p' bovenstroomse op de rivier 32750 m

Waterstand met MFW ter plaatse van punt 'p':	7,635 m
Waterstand zonder MFW ter plaatse van punt 'p':	7,629 m
Verschil:	0,006 m

B11 Lange golfvergelijkingen

Voor de berekening van het waterstandsverloop bij de hoogwatergolf is gebruik gemaakt van een stelsel differentiaalvergelijkingen. De algemene vorm van het gebruikte stelsel differentiaalvergelijkingen wordt in de volgende paragrafen genoemd. Opzet is om de verschillende termen van de differentiaalvergelijkingen nader te bespreken. Door een studie te verrichten naar de invloed van de verschillende termen op de berekening, kan worden bepaald in hoeverre verschillende termen of parameters daarvan, kunnen worden verwaarloosd. Vervolgens kan worden beschouwd of de invloed van een plaatselijke versmalling, hetgeen eveneens tot uitdrukking komt in de termen van de differentiaalvergelijkingen, verwaarloosbaar is, of niet.

- **Aannames/uitgangspunten berekening**

De lange golftorie richt zich met name op niet stationaire stromingsproblemen in open- en gesloten leidingen die bij de analytische oplossing als één-dimensionaal (=1-D) probleem zijn te behandelen.

De 1-D vergelijking wordt verkregen door de 3-D vergelijkingen te integreren over de diepte en de breedte. De lengte afmeting is vele malen groter dan de dwarsafmeting van de rivier, daarom is een 1-D benadering verantwoord.

Er is sprake van een lange golf als de golflengte (λ) veel groter is dan de waterdiepte (a).

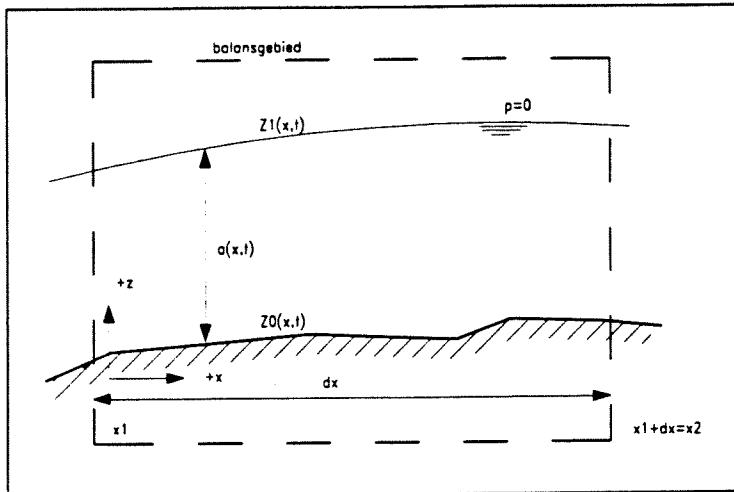
Enkele essentiële benaderingen bij de analytische oplossing van een 1-D lange golfberekening zijn de volgende:

- Over de verticaal is er sprake van een hydrostatische drukverdeling. Dit houdt in rechte stroomlijnen; verticaal geen versnellingen.
- Versnellingen loodrecht op de stroomlijnen zijn verwaarloosbaar.
- De lengte-afmetingen van de open leiding zijn veel groter dan de breedte-afmetingen
- Door deze geringe breedte ten opzichte van de lengte, wordt de waterspiegel over de breedte horizontaal verondersteld.
- De bodem is van vast materiaal
- Het water heeft een constante dichtheid (ρ).
- De invloed van bochten is voor lange golven verwaarloosbaar klein

Het lange golfverschijnsel kan bij rivieren (= open leiding) teruggebracht worden tot een één-dimensionaal model, met een ruimte dimensie (x) en de tijd als variabelen.

balansgebied

Bij de lange golfberekeningen wordt gebruik gemaakt van een balansgebied. Dit balansgebied bestaat uit begrenzingen aan boven- en onderzijde en twee vlakken loodrecht op de x -as. Zo ontstaat een vak met een eindige lengte in de x -richting.



Figuur 1, balansgebied

Voor dit gebied kan een balansvergelijking worden opgesteld voor een grootheid G. De vergelijking luidt:

$$\boxed{\text{Toename voorraad } (G) = \text{Netto instroom} + \text{Productie.}}$$

Er wordt gebruik gemaakt van het volgende stelsel differentiaalvergelijkingen:

1. **de bewegingsvergelijking,**

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A_s} \right) + g A_s \frac{\partial Z_1}{\partial x} + \frac{g}{C^2} \frac{Q|Q|}{A_s R} = 0$$

2. **de continuïteitsvergelijking.**

$$B \frac{\partial Z_1}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

De continuïteitsvergelijking komt voort uit de massabalans en de bewegingsvergelijking is afgeleid uit de impulsbalans.

Uitgaande van dit stelsel van differentiaalvergelijkingen kan de invloed van de individuele termen op de waterstand nader worden beschouwd.

- **Bewegingsvergelijking**

De algemene vorm van de bewegingsvergelijking luidt:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A_s} \right) + g A_s \frac{\partial Z_1}{\partial x} + \frac{g}{C^2} \frac{Q|Q|}{A_s R} = 0$$

Zoals reeds is aangegeven is deze vergelijking afgeleid uit de impulsbalans.

De impulsbalans luidt:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Q) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho Q u) = \sum f_x \quad \text{ofwel} \quad \frac{\partial}{\partial t} (\rho \bar{u} A) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \bar{u}^2 A) = \sum f_x$$

In de balansvergelijking maakt de aanwezige voorraad impuls per eenheid van tijd (de eerste term in het linkerlid) samen met de overdracht van impuls per eenheid van lengte tijd (de tweede term in het linkerlid) evenwicht met de productie van impuls (aangegeven in het rechterlid). De eenheid van de balansvergelijking is [N/m].

De eerste twee termen van de bewegingsvergelijking zijn nog goed te herkennen in de impulsbalans. De laatste twee termen in het linker lid van de bewegingsvergelijking, zijn een omschrijving van de rechter term uit de impulsbalans.

De productie van impuls wordt veroorzaakt door de werking van uitwendige krachten op het balansgebiedje. De uitwendige krachten komen voort uit drukverschillen tussen twee doorsneden in de x-richting van het balansgebied en uit krachten ten gevolge van wrijving langs de bodem en wanden.

De kracht ten gevolge van de drukgradiënt wordt aangegeven met (f_d)

De resulterende drukkracht geïntegreerd over de watervoerende dwarsdoorsnede (A) wordt dan:

$$f_d = - \iint \frac{\partial p}{\partial x} dA$$

Zoals bij de uitgangspunten staat vermeld wordt uitgegaan van een constante massadichtheid voor water en heerst er in de 'open leiding' hydrostatische drukverdeling: $p(z) = \rho g(Z_1 - z)$ (zie figuur 1, balansgebied), zodat de resulterende drukkracht per eenheid van lengte gelijk is aan:

$$f_d = -\rho g \frac{\partial Z_1}{\partial x} A$$

De wrijvingskracht per lengte eenheid wordt veroorzaakt door de stroming van het water. Door de relatief langzame verandering in de tijd bij een hoogwatergolf wordt als stromingstype uitgegaan van een stationair uniforme turbulente stroming.

Bijbehorende schuifspanning (τ) luidt dan:

$$\tau = \rho \lambda \bar{u}^2 \quad \text{met } \bar{u}^2 = \bar{u} |\bar{u}| \quad \text{en } \lambda = \frac{g}{C^2}$$

Waarbij: \bar{u} = gemiddelde snelheid, λ = weerstandsfactor en C = coëfficiënt van Chézy
De wrijvingskracht (f_w) is gedefinieerd als:

$$f_w = - \int \tau dP = -\tau P \quad \text{met } P = \frac{A}{R}$$

Invulling van de schuifspanning levert:

$$f_w = -\rho \lambda \bar{u} |\bar{u}| \frac{A}{R}$$

• Continuiteitsvergelijking

De algemene vorm van de continuïteitsvergelijking luidt:

$$B \frac{\partial Z_1}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Deze vergelijking is afgeleid uit de massabalans.

De totale hoeveelheid massa in een ruimtelijk vast volume blijft behouden. Er geldt:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho A) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho Q) = 0$$

Een toename van de eerste term stelt massabering voor, de tweede term de netto massa uitstroom (of overdracht per tijdseenheid.) Omdat de massa behouden blijft maken deze twee termen evenwicht met elkaar. De productie in deze vergelijking is

dan ook nul. De massadichtheid van de vloeistof water wordt in de berekeningen constant verondersteld. De massabalans gaat bij deze aanname over in de continuiteitsvergelijking.

- **Voortplantingssnelheid van een hoogwatergolf**

Uitgaande van een constante Chézy-waarde (C) vindt men door substitutie van :

$$Q = A_s * u = (B_s a) * (C \sqrt{ai_b}) = (B_s C i^{\frac{1}{2}}) a^{\frac{3}{2}}$$

ingevuld in:

$$c = \frac{1}{B} \frac{dQ}{da}$$

vindt men:

$$\text{met } \frac{dQ}{da} = \frac{3}{2} a^{\frac{1}{2}} (B_s C i^{\frac{1}{2}}) = 1,5(C \sqrt{ai}) B_s \Rightarrow c = 1,5u \frac{B_s}{B}$$

Met u = stroomsnelheid ca. 1,0 m/s

B_s = stroomvoerende breedte

B = bergende breedte

met $B \approx B_s$, dan vindt men voor de voortplantingssnelheid $c = \text{ca. } 1,5 \text{ m/s}$

- **Golflengte**

Ruwe schatting van de golflengte kan worden gemaakt met $L = c * T$

Voor de voortplantingssnelheid (c) is berekend op $c = 1,5 \text{ m/s}$.

Voor een hoogwatergolf op een Rijntak geldt een gemiddelde golfperiode van $T = 4000 \text{ minuten}$. Dan vindt men voor de golflengte

$$L = 1,5 * 4000 * 60 \text{ sec.} = 360000 \text{ m} = 360 \text{ km.}$$

B11.1 Modellen voor hoogwatergolfberekening

Op basis van bovengenoemd stelsel differentiaalvergelijkingen zijn drie verschillende benaderingen voor de berekening van een hoogwatergolf in gebruik:

- het dynamic wave model
- het diffusie model
- het kinematische golf model

- **Het dynamic wave model**

Dit model gaat uit van het bovengenoemde stelsel differentiaalvergelijkingen. De weerstandsterm overheerst daarbij ten opzichte van de traagheidsterm. De traagheidsterm (dQ/dt) wordt in dit model niet verwaarloosd om sneller verlopende verstoringen ten opzichte van de langzaam verlopende hoogwatergolf in rekening te brengen. Dit model wordt onder andere gebruikt om de respons van een dijkdoorbraak op de waterstand te berekenen.

- **Het diffusie model**

In het diffusie model wordt de traagheid geheel verwaarloosd ($dQ/dt=0$). De bewegingsvergelijking reduceert tot een evenwichtsvergelijking waarin de weerstand evenwicht maakt met de verhangkracht. De verhangterm luidt:

$$\frac{\partial Z_1}{\partial x} = \frac{\partial a}{\partial x} - i_b$$

De bewegingsvergelijking gaat dan over in verhangterm + weerstandsterm =0:

$$\frac{\partial a}{\partial x} - i_b + \frac{Q^2}{C^2 A_s^2 R} = 0 \quad \text{dit kan geschreven worden als } Q = B_s C a^{\frac{3}{2}} \sqrt{i_b - \frac{\partial a}{\partial x}}$$

De continuïteitsvergelijking blijft onveranderd:

$$B \frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Na enig omwerken en substitutie van de continuïteitsvergelijking in de bewegingsvergelijking vindt men:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + c \frac{\partial a}{\partial x} - K \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} = 0 \quad \text{waarin} \quad c = \frac{3}{2} u \frac{B_s}{B} \quad \text{en} \quad K = \frac{C^2 B_s^2 a^3}{2 B Q}$$

Deze vergelijking staat bekend als *de difussievergelijking* waarin de factoren c en K als constantes worden aangenomen.

In dit model wordt topvervlakking in rekening gebracht

De top van een hoogwatergolf zal afvlakken in de tijd. Dit gebeurt onder invloed van demping, evenredig met

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi K t}}$$

De golfhoogte van de hoogwatergolf en daarmee de waterstand, is daardoor stroomopwaarts hoger.

- **Het kinematische golf model**

Het kinematische model is de meest eenvoudige benadering van een hoogwatergolfmodel en kan worden aangemerkt als een vereenvoudigde vorm van het

difussiemodel. Hierin wordt de bewegingsvergelijking als algebraïsche vergelijking geschreven. Daarbij wordt de aannname gedaan dat $(\delta a/\delta x) \ll i_b$. Met andere woorden: de invloed van het verhang ten gevolge van de hoogwatergolf ($\delta a/\delta x$) is verwaarloosbaar ten opzichte van de bodemhelling (i_b).

Als $i_b \gg (\delta a/\delta x)$, zal er geen hysterisisverschijnsel optreden. Het hysterisisverschijnsel houdt in dat tijdens passage van de hoogwatergolf eerst de afvoer (Q) maximaal wordt en daarna de waterdiepte (a). De term $(\delta^2 a/\delta x^2)$ verdwijnt uit de difussievergelijking van het voorgaande model. De difusievergelijking wordt gereduceerd tot:

$$\frac{\partial a}{\partial t} + c \frac{\partial a}{\partial x} = 0 \quad \text{waarin} \quad c = \frac{3}{2} u \frac{B_s}{B}$$

Met $u = 1 \text{ m/s}$ en $i_b = 1 * 10^{-4}$ als karakteristieke waarde voor de Nederlandse Rijntakken en de aanname dat $B_s \approx B$ wordt $c \approx 1.5 \text{ m/s}$.

De gereduceerde difussievergelijking ingevuld in de bewegingsvergelijking levert:

$$Q = B_s C a^{3/2} \sqrt{i_b - \frac{\delta a}{\delta x}} \Rightarrow Q = B_s C a^{3/2} \sqrt{i_b + c^{-1} \frac{\delta a}{\delta t}} \Rightarrow Q = B_s C a^{3/2} \sqrt{1 + \frac{1}{c i_b} \frac{\delta a}{\delta t}}$$

Evan uitgaande dat verandering van de waterdiepte (a) gelijk is aan de verandering van de waterstand (h), kan men een schatting doen naar het optreden van het hysterisis verschijnsel op de Rijntakken in Nederland.

Met de aangenomen schatting van $\delta h/\delta t \approx 1.5 \text{ m/d}$ voor de Nederlandse Rijntakken, wordt de laatste term onder het wortteken:

$$\frac{\delta h}{\delta t} = \frac{0.5}{i_b c} * \frac{1}{24 * 3600 * 1 * 10^{-4} * 1.5} \approx 0.04$$

Deze waarde van 0.04 is klein ten opzichte van de waarde 1 onder het wortteken. Hieruit blijkt dat het hysterisisverschijnsel op de Rijntakken in Nederland gering is. Dit komt omdat deze in de benedenloop van het stroomgebied van de Rijn zijn gelegen. Toename van de afvoer (Q) verloopt dus lineair met de waterdiepte (a). Op basis van bovenstaande kan de bewegingsvergelijking worden vereenvoudigd tot:

$$Q = B_s C a^{3/2} i_b^{1/2}$$

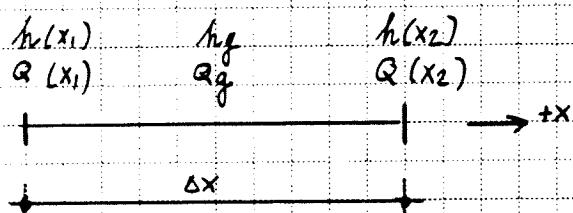
Met deze formule kan een inschatting van het debiet op de rivier de Waal worden gemaakt. Voor de berekeningen wordt van dit laatste model gebruik gemaakt. Alternatief is het gebruik van meetgegevens.

Lange golftheorie

Wat is de invloed van het verdwijnen van het
kombeginingsoppervlak t.p.v. het bedrijfsterrein 'de Waal'
tijdens maatgevend hoogwater?

Kombeginingsoppervlakte: $\Delta F = \int_{x_1}^{x_1 + \Delta x} B dx \quad [m^2]$

De Waal wordt t.p.v. Zaltbommel geschematiseerd
als een gedeelte van een open leiding:



$$Q(x_2) - Q(x_1) = -\Delta F \frac{dhg}{dt}$$

$$h(x_2) - h(x_1) = -\frac{1}{g \cdot A_s} \left[\Delta x \frac{dQg}{dt} + Q_u|_{x_2} - Q_u|_{x_1} \right] - \frac{\Delta x}{(C^2 A_s^2 R)g} Q_g |Q_g|$$

Met peilbuismeting is gevonden: in 5 dagen toename waterpeil: 4,0 m'

dan $\frac{dhg}{dt} = \frac{4 \text{ m}'}{5 \cdot 24 \cdot 3600} = 9.2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

kombeginingsoppervlakte bedrijfsterrein de Waal $\Delta F = Bg \cdot \Delta x = 163.425 \text{ m}^2$

dan $Q(x_2) - Q(x_1) = -163.425 \cdot 9.2 \cdot 10^{-6} = -1,51 \text{ m/s}$

$$\text{en } h(x_2) - h(x_1) = -\frac{1}{g \cdot B g_m \cdot h g} \left[\Delta x \frac{dQg}{dt} + (Q(x_2) - Q(x_1)) u_{qm} \right] - \frac{\Delta x}{(C^2 A_s^2 R)g} Q_g |Q_g|$$

$$\begin{aligned}
 \text{met } \Delta x &= 2500 \text{ m} \\
 B_{\text{gem}} &= 950 \text{ m} \\
 h_g &= 7,54 \text{ m} \\
 u_{\text{gem}} &= 1,5 \text{ m/s} \\
 C &= 45 \text{ m}^2/\text{s} \\
 R &= A/0 = 7,54 \text{ m} \\
 Q_g &= 9569 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

wordt voor $h(x_2) - h(x_1)$ gevonden:

$$\begin{aligned}
 h(x_2) - h(x_1) &= \frac{-1}{10 \cdot 950 + 7,54} \cdot [2500 \cdot 4 + 950 \cdot 1,5 \text{ m/s} + 1,5 \cdot 1,5 \text{ m/s}] \\
 &\quad - \frac{2500 \cdot 9569}{45^2 \cdot (950 + 7,54)} \cdot \frac{9569}{9569} \\
 &= -4,9 \cdot 10^{-4} - 0,2922 \\
 &= -0,29269 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Het waterstandsverschil over 2500 m² bedraagt $\sim 0,3 \text{ m}$

De term $\frac{-\Delta x}{C^2 A s^2 R} Q_g |Q_g|$ is meentgevend ten opzichte van de andere termen!

Invalide verhitting is $\frac{(Q(x_2) - Q(x_1)) + u_{\text{gem}}}{q \cdot B_{\text{gem}} \cdot h_g} = -1,51 + 1,5$
 $= -3,16 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,0316 \text{ mm} \rightarrow$ onverhooftbaar!

B12 Gronddrukfactoren

invoerparameters:

α :	0
β :	0
ϕ :	22,5
δ :	7,5

ACTIEVE GRONDDRUK (met δ = positief)

- = hoek van de wand t.o.v. de loodrechte
- = hoek van het maaiveld t.o.v. de horizontaal
- = de hoek van inwendige wrijving
- = de wandwrijvingshoek

formule: $\cos^2(b4+b2)/(\cos^2(b2)*(1+((\sin(b4+b5)*\sin(b4-b3))/(\cos(b2-b5)*\cos(b2+b3)))^{0.5})^2)$ λ_{ah} -waarde bij bovenstaande ingevoerde waarden :

λ_{ah} :	0,412024
------------------	----------

 λ_{ah} -waarden in tabelvorm :

ϕ/α	0	$1/3\phi$	$1/2\phi$	$2/3\phi$	ϕ
15	0,589	0,554	0,539	0,525	0,5
16	0,568	0,532	0,517	0,503	0,478
17	0,548	0,512	0,497	0,483	0,458
18	0,528	0,492	0,477	0,463	0,438
19	0,509	0,473	0,458	0,444	0,419
20	0,49	0,455	0,44	0,426	0,401
21	0,472	0,437	0,422	0,409	0,384
22	0,455	0,42	0,406	0,392	0,367
23	0,438	0,404	0,389	0,376	0,352
24	0,422	0,388	0,374	0,361	0,336
25	0,406	0,373	0,359	0,346	0,322
26	0,39	0,358	0,344	0,331	0,308
27	0,376	0,344	0,33	0,318	0,294
28	0,361	0,33	0,317	0,304	0,282
29	0,347	0,317	0,304	0,292	0,269
30	0,333	0,304	0,291	0,279	0,257
31	0,32	0,291	0,279	0,268	0,246
32	0,307	0,279	0,267	0,256	0,235
33	0,295	0,268	0,256	0,245	0,224
34	0,283	0,257	0,245	0,235	0,214
35	0,271	0,246	0,235	0,224	0,205

Formule:

$$\lambda_{ah} = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \delta)}{\cos(\alpha - \delta) * \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

invoerparameters:

α :	0
β :	0
ϕ :	22,5
δ :	-7,5

PASSIEVE GRONDDRUK (met $\delta = \text{negatief}$)

- = hoek van de wand t.o.v. de loodrechte
- = hoek van het maaiveld t.o.v. de horizontaal
- = de hoek van inwendige wrijving
- = de wandwrijvingshoek

formule: $\cos^2(b4-b2)/(\cos^2(b2)*(1-(\sin(b4-b5)*\sin(b4+b3))/(\cos(b2-b5)*\cos(b2+b3)))^{0.5})^2$

λ_{ph} -waarde bij bovenstaande ingevoerde waarden :

λ_{ph} :	2,71509
------------------	---------

λ_{ph} -waarden in tabelvorm :

$\phi\delta$	0	-1/3 ϕ	-1/2 ϕ	-2/3 ϕ	- ϕ
15	1,698	1,894	1,995	2,099	2,321
16	1,761	1,983	2,099	2,22	2,482
17	1,826	2,077	2,21	2,35	2,658
18	1,894	2,178	2,33	2,491	2,854
19	1,965	2,284	2,458	2,644	3,071
20	2,04	2,398	2,595	2,811	3,312
21	2,117	2,518	2,744	2,992	3,583
22	2,198	2,647	2,904	3,19	3,888
23	2,283	2,785	3,077	3,407	4,233
24	2,371	2,933	3,265	3,645	4,625
25	2,464	3,091	3,468	3,908	5,074
26	2,561	3,26	3,69	4,199	5,593
27	2,663	3,443	3,932	4,522	6,196
28	2,77	3,639	4,197	4,881	6,903
29	2,882	3,851	4,487	5,284	7,74
30	3	4,08	4,807	5,737	8,743
31	3,124	4,329	5,16	6,249	9,958
32	3,255	4,599	5,551	6,831	11,454
33	3,392	4,892	5,986	7,496	13,324
34	3,537	5,212	6,472	8,261	15,707
35	3,69	5,563	7,016	9,147	18,817

Formule:

$$\lambda_{ph} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) * \sin(\phi + \delta)}{\cos(\alpha - \delta) \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

B13 Kostencalculatie bouw MFW

Uitgangspunten:

- Het gekozen ontwerp van de MFW wordt begraaf.
- lengte MFW: 750 m¹
- MFW wordt alleen tpr het bedrijfsterrein gebouwd
- Gecontroleerde bodenvervuiling tpr het bedrijfsterrein wordt geraanmeld.
- Prijs MFW is per stroomafstand (hect 6,0 m¹) uitgerekend

Grondwerk M.F.W. ontgraven tot 4,7 m NAP.

Lengte 400 m over een breedte van 15 m

ontgraven $(7,2 - 4,7) \times 15,0 \text{ m} \times 6,0 \text{ m}$ = 225,0 m^3

aanvulling $(5,0 - 4,7) \times 15,0 \times 6,0 \text{ m}$ = 27,0 m^3

Grondwerk Ondergrond

Baggeren werkhaven: $(100 + 150)/2 \times 150 \times 1,0 \text{ m}^3$ = 18750 m^3

aanvulling werkhaven: $(1,5 + 5,0) \times (100 + 150)/2 \times 15,0 \times 1 \text{ m}^3$

verdelen grond 50% = 93750 m^3

schonmaak 15% = 28125 m^3

Vervulde grond

Afnemingen zijn opgemaakt uit haalbaarheidsstudie Waalfront-West - (zie bijlage.) Verantwoordingssituatie bidrijven kunnen.

B13.1 Calculatie wandvarianten

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project: Stad aan de rivier - Zaltbommel
afstudeerde: Ing. M.J. van Alphen
studienummer: 12254

BETONWAND MET STALEN DAMWAND ALS KWELSCHERM

kostprijs per stramienmaat van 6,0m³:

326.016 gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
1,00 FUNDERING										
1,10 prefab betonpalen 450*450mm	m ¹	10,5	0,45	0,45		12	126	70	8.820	tot 5,5m-NAP
1,11 wapening betonpalen	ton	10,5	0,45	0,45		12	2,6	1800	4.593	100kg/m ³
1,12 heien betonpalen	st					12	1,5	4000	6.000	stuks per dag
1,20 poeren	m ³	2	2	0,25		2	2	500	1.000	
1,30 koop stalen damwand AZ18	ton	5	6			1	3,5	1500	5.310	118kg/m ²
1,31 heien damwand	ton					1	3,5	170	602	
1,40 aan- afvoer heistelling betonpalen	st					1		5500	5.500	een dag werk
1,41 aan- afvoer heistelling damwand	st					1		5500	5.500	een dag werk
2,00 BETONWERK										
2,10 dak	m ³	9	6		0,25	1	13,5	840	11.340	
2,11 afwerking	m ²	9	6			1	54,0	25	1.350	dakbedekking
2,20 zijkwanden 2e verdieping	m ³	9		2,7	0,20	1	4,9	1590	7.727	
2,21 kopwanden 2e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,22 vloer 2e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,23 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
2,30 zijkwanden 1e verdieping	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
2,31 kopwanden 1e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,32 vloer 1e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,33 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
0,40 zijkwanden begane grond	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
0,41 kopwanden begane grond	m ²	6		0,6	0,10	4	14	132	1.901	metselwerk
0,42 vloer begane grond	m ³	17	6		0,30	1	30,6	775	23.715	
0,43 afwerking	m ²	17	6		0,05	1	102,0	15	1.530	
2,50 kolommen parkeergarage h.o.h. 6,0m	m ³			2,7	0,60	2	1,53	1330	2.031	rond 600 mm
2,51 kopwand parkeergarage rivierzijde	m ³	6		4,25	0,50	1	12,8	950	12.113	
2,52 kopwand parkeergarage stadszijde	m ³	6		3	0,50	1	9,0	950	8.550	
2,53 vloer parkeergarage	m ³	17	6		0,50	1	51,0	470	23.970	
3,00 INSTALLATIES										
3,10 electra nolering e.d. woningen/winkel	m ²	38	6			1	228,0	25	5.700	
3,20 electra nolering e.d. parkeergarage	m ²	17	6			1	102,0	35	3.570	
4,00 AFBOUW										
4,10 kozijnen verdiepingen	m ²	6		1,35		4	32,4	500	16.200	
4,20 punten winkel	m ²	6		2,1		2	25,2	1000	25.200	

SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)	39.108.603
Toeslag onvolledig plan	15 %	4.366.291
Bouwplaatskosten	15 %	4.366.291
Algemene kosten	5 %	1.455.430
Winst en Risico	5 %	1.455.430
TOTAAL excl b.t.w.		40.752.061

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project Stad aan de rivier - Zaltbommel

afstudeerder: ing. M.J. van Alphen

studienummer: 12254

BETONNEN DAMWAND

kostprijs per stramienmaat van 6,0m³:

122.353 gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl	opmerkingen
transport blad 1									22.307.013,-	
1,00 SLOOPWERK										
1,10 betonplaat 1 slopen en afvoeren (hal)	m ³	190	25	0,3		1	1425	250	356.250	
1,11 betonplaat 2 slopen en afvoeren	m ³	70	25	0,3		1	525	250	131.250	
1,12 betonplaat 3 slopen en afvoeren	m ³	85	15	0,3		1	382,5	250	95.625	
1,13 betonplaat 4 slopen en afvoeren	m ³	70	45	0,3		1	945	250	236.250	
1,14 betonplaat 5 slopen en afvoeren	m ³	35	20	0,3	2,5	525	250	131.250		
1,20 asfalt opnemen en afvoeren	m ²	220	200			1	44000	5	220.000	
1,21 straatwerk opnemen en afvoeren	m ²	400	80			1	24000	4,5	108.000	
1,22 straatwerk opnemen en afvoeren	m ²	100	100			1	10000	4,5	45.000	
2,00 GRONDWERK t.p.v. MPW										
2,10 ontgraven en afvoeren	m ³	15	6	2,5		108	24300	26	631.800	650m lengte
2,11 aanvulling met schoon zand	m ³	15	6	0,3		125	3375	20	67.500	750m lengte
2,20 Grondwerk overige bedrijfsterrein										
2,21 baggerwerk verontreinigd slib	m ³	150	125		1,0	1	18750	35	656.250	
2,22 aanvulling werkhaven schoon zand	m ³	150	125	1,5		1	28125	20	562.500	
2,23 aanvulling werkhaven grond	m ³	150	125	5		1	93750	20	1.875.000	
2,30 vervuilde grond type B										
2,31 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	214	28	2		1	11984	50	599.200	
2,32 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	50	2		1	5000	50	250.000	
2,33 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	42	15	2		1	1260	50	63.000	
2,34 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	70	10	2		1	1400	50	70.000	
2,35 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	28	2		1	2800	50	140.000	
2,36 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	154	14	2		1	4312	50	215.600	
2,37 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	21	2		4	8400	50	420.000	
2,38 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	57	28	2		1	3192	50	159.600	
2,40 vervuilde grond type D										
2,41 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	17	2,5		2	4250	100	425.000	
2,42 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	100	100	2,5	0,5	12500	100	1.250.000	driehoekige vorm	
2,43 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	57	28	2,5		1	3990	100	399.000	
2,44 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	45	25	2,5		1	2813	100	281.250	
2,45 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	28	28	2,5		1	1960	100	196.000	
2,50 aanvulling met schoon zand	m ³					1	63881	20	1.277.210	
3,00 KABELS EN LEIDINGEN										
3,10 opnemen en verleggen	m ¹	150				1	150	112	16.800	
3,11 aanleg notering e.d.	m ¹	300				1	300	150	45.000	

SUBTOTAAL		40.231.348
Toeslag onvolledig plan	15 %	6.034.702
Bouwplaatskosten	15 %	6.034.702
Algemene kosten	5 %	2.011.567
Winst en Risico	5 %	2.011.567
TOTAAL excl b.t.w.		46.323.557

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project: Stad aan de rivier - Zaltbommel

afstudeerder: Ing. M.J. van Alphen

studienummer: 12254

DIEPWAND / PALENWAND

kostprijs per stramienmaat van 6,0m²:

380.945 gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
1,00 FUNDERING										
1,10 prefab betonpalen 450*450mm	m ¹	10,5	0,45	0,45		10	105	70	7.350	tot 5,5m-NAP
1,11 wapening betonpalen	ton	10,5	0,45	0,45		10	2,1	1800	3.827	100kg/m3
1,12 heien betonpalen	st					10	1,25	4000	5.000	stuks per dag
1,20 poeren	m ³	2	2	0,25		2	2	500	1.000	
1,30 diepwand d=0,75m	m ³	11,4	6		0,75	1	51,3	650	33.345	tot 6,4m-NAP
1,31 wapening diepwand	ton	11,4	6		0,75	1	6,2	1800	11.081	120kg/m3
1,40 san- afvoer heistelling betonpalen	st					1		5500	5.500	een dag werk
1,41 graven diepwand	m ¹					1	1,0	4000	4.000	6m1 per dag
2,00 BETONWERK										
2,10 dak	m ³	9	6		0,25	1	13,5	840	11.340	
2,11 afwerking	m ²	9	6			1	54,0	25	1.350	dakbedekking
2,20 zijkanten 2e verdieping	m ³	9		2,7	0,20	1	4,9	1590	7.727	
2,21 kopwanden 2e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,22 vloer 2e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,23 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
2,30 zijkanten 1e verdieping	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
2,31 kopwanden 1e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,32 vloer 1e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,33 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
0,40 zijkanten begane grond	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
0,41 kopwanden begane grond	m ²	6		0,6	0,10	4	14	132	1.901	metselwerk
0,42 vloer begane grond	m ³	17	6		0,30	1	30,6	775	23.715	
0,43 afwerking	m ²	17	6		0,05	1	102,0	15	1.530	
2,50 kolommen parkeergarage h.o.h. 6,0m	m ³			2,7	0,60	2	1,53	1330	2.031	rond 600 mm
2,51 kopwand parkeergarage rivierzijde	m ³	6		4,25	0,50	1	12,8	950	12.113	
2,52 kopwand parkeergarage stadszijde	m ³	6		3	0,50	1	9,0	950	8.550	
2,53 vloer parkeergarage	m ³	17	6		0,50	1	51,0	470	23.970	
3,00 INSTALLATIES										
3,10 electra riolering e.d. woningen/winkel	m ²	38	6			1	228,0	25	5.700	
3,20 electra riolering e.d. parkeergarage	m ²	17	6			1	102,0	35	3.570	
4,00 AFBOWW										
4,10 kozijnen verdiepingen	m ²	6		1,35		4	32,4	500	16.200	
4,20 puien winkel	m ²	6		2,1		2	25,2	1000	25.200	

SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)	34.012.927
Toeslag onvolledig plan	15 %	5.101.939
Bouwplaatskosten	15 %	5.101.939
Algemene kosten	5 %	1.700.646
Winst en Risico	5 %	1.700.646
TOTAAL excl b.t.w.		47.618.097

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project: Stad aan de rivier - Zaltbommel

Afstudeerder: ing. M.J. van Alphen

studienummer: 12254

COMBIWAND

kostprijs per stramienmaat van 6,0m²:

406.235 gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
1,00 FUNDERING										
1,10 prefab betonpalen 450*450mm	m ¹	10,5	0,45	0,45		10	105	70	7.350	tot 5,5m-NAP
1,11 wapening betonpalen	ton	10,5	0,45	0,45		10	2,1	1800	3.827	100kg/m3
1,12 heien betonpalen	st					10	1,25	4000	5.000	stuks per dag
1,20 poeren	m ³	2	2	0,25		2	2	500	1.000	
1,30 koop buispalen rond 711 hoh 1,8m	ton	16,2			0,025	3,3	22,8	2000	45.678	tot 6,4m-NAP
1,31 heien buispalen	ton					1	22,8	400	9.136	
1,40 koop damwand AZ18	ton	16,2	3,63			1,0	6,9	1500	10.409	
1,41 heien damwand	ton					1	6,9	170	1.180	
1,50 aan- afvoer heistelling betonpalen	st					1		5500	5.500	één dag werk
1,51 aan- afvoer heistelling buispalen	st					1		5500	5.500	één dag werk
1,60 aan- afvoer heistelling damwand	st					1		5500	5.500	één dag werk
2,00 BETONWERK										
2,10 dak	m ²	9	6		0,25	1	13,5	840	11.340	
2,11 afwerking	m ²	9	6			1	54,0	25	1.350	dakbedekking
2,20 zijwanden 2e verdieping	m ³	9		2,7	0,20	1	4,9	1590	7.727	
2,21 kopwanden 2e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,22 vloer 2e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,23 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
2,30 zijwanden 1e verdieping	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
2,31 kopwanden 1e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2,32 vloer 1e verdieping	m ³	12	6		0,25	1	18,0	840	15.120	
2,33 afwerking	m ²	12	6		0,05	1	72,0	15	1.080	
2,40 zijwanden begane grond	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
2,41 kopwanden begane grond	m ²	6		0,6	0,10	4	14	132	1.901	metselwerk
2,42 vloer begane grond	m ³	17	6		0,30	1	30,6	775	23.715	
2,43 afwerking	m ²	17	6		0,05	1	102,0	15	1.530	
2,50 kolommen parkeergarage h.o.h. 6,0m	m ³			2,7	0,60	2	1,53	1330	2.031	rond 600 mm
2,51 voorzietwand kopwand garage rivierzijde	m ³	6		4,25	0,50	1	12,8	950	12.113	
2,52 kopwand parkeergarage stadszijde	m ³	6		3	0,50	1	9,0	950	8.550	
2,53 vloer parkeergarage	m ³	17	6		0,50	1	51,0	470	23.970	
3,00 INSTALLATIES										
3,10 electra holering e.d. woningen/winkel	m ²	38	6			1	228,0	25	5.700	
3,20 electra holering e.d. parkeergarage	m ²	17	6			1	102,0	35	3.570	
4,00 AFBOUW										
4,10 kozijnen verdiepingen	m ²	6		1,35		4	32,4	500	16.200	
4,20 puien winkel	m ²	6		2,1		2	25,2	1000	25.200	

SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)	36.270.946
Toeslag onvolledig plan	15 %	5.440.642
Bouwplaatskosten	15 %	5.440.642
Algemene kosten	5 %	1.813.547
Winst en Risico	5 %	1.813.547
TOTAAL excl b.t.w.		50.729.324

B13.2 Vergelijking dijkverbetering – M.F.W.

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project Stad aan de rivier - Zaltbommel
 afdrukkerder: ing. M.J. van Alphen
 studienummer: 12254

BETONWAND MET STALEN DAMWAND ALS KWELSCHERM

kostprijs per stramienmaat van 6,0m³:

445.384,- gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
-------------	---------	--------------------------	---------------------------	--------------------------	-------------------------	--------	-----------------	----------------------	------------------	-------------

KOSTEN

1.00	FUNDERING									
1.10	prefab betonpalen 450*450mm	m ¹	10,5	0,45	0,45	12	126	70	8.820	tot 5,5m-NAP
1.11	wapening betonpalen	ton	10,5	0,45	0,45	12	2,6	1800	4.593	100kg/m ³
1.12	heien betonpalen	st				12	1,5	4000	6.000	8 stuks per dag
1.20	poeren	m ³	2	2	0,25	2	2	500	1.000	
1.30	koop stalen damwand AZ18	ton	5	6		1	3,5	1500	5.310	118kg/m ²
1.31	heien damwand	ton				1	3,5	170	602	
1.40	aan- afvoer heistelling betonpalen	st				1		5500	5.500	een dag werk
1.41	aan- afvoer heistelling damwand	st				1		5500	5.500	een dag werk
2.00	BETONWERK									
2.10	dak	m ²	9	6	0,25	1	13,5	840	11.340	
2.11	afwerking	m ²	9	6		1	54,0	25	1.350	dakbedekking
2.20	aanleg t.p.v. dijk	m ³	9		2,7	0,20	1	4,9	1590	7.727
2.21	kopwanden 2e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277
2.22	vloer 2e verdieping	m ³	12	6	0,25	1	18,0	840	15.120	
2.23	afwerking	m ²	12	6	0,05	1	72,0	15	1.080	
2.30	zijwanden 1e verdieping	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303
2.31	kopwanden 1e verdieping	m ²	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277
2.32	vloer 1e verdieping	m ³	12	6	0,25	1	18,0	840	15.120	
2.33	afwerking	m ²	12	6	0,05	1	72,0	15	1.080	
0.40	zijwanden begane grond	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303
0.41	kopwanden begane grond	m ²	6		0,6	0,10	4	14	132	1.901
0.42	vloer begane grond	m ³	17	6	0,30	1	30,6	775	23.715	
0.43	afwerking	m ²	17	6	0,05	1	102,0	15	1.530	
2.50	kolommen parkeergarage h.o.h. 6,0m	m ³			2,7	0,60	2	1,53	1330	2.031
2.51	kopwand parkeergarage rivierzijde	m ³	6		4,25	0,50	1	12,8	950	12.113
2.52	kopwand parkeergarage stadszijde	m ³	6		3	0,50	1	9,0	950	8.550
2.53	vloer parkeergarage	m ³	17	6	0,50	1	51,0	470	23.970	
3.00	INSTALLATIES									
3.10	electra opleiding e.d. woningen/winkel	m ²	38	6		1	228,0	25	5.700	
3.20	electra opleiding e.d. parkeergarage	m ²	17	6		1	102,0	35	3.570	
4.00	AFCBOUW									
4.10	kozijnen verdiepingen	m ²	6		1,35	4	32,4	500	16.200	
4.20	puien winkel	m ²	6		2,1	2	25,2	1000	25.200	

BATEN

5.00	EXPLOITATIE									
5.10	verkoop woningen	st				1	1	-250000	250.000-	let op min teken
5.11	verkoop winkelruimtes	st				1	1	-250000	250.000-	
5.12	verkoop / exploitatie parkeergarage	st				1	0,008	-6375000	51.000-	fl. 500,-/m ²

SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)	39.766.392,-
Toeslag onvolledig plan	15 %	5.964.959,-
Bouwplaatskosten	15 %	5.964.959,-
Algemene kosten	5 %	1.988.320,-
Winst en Risico	5 %	1.988.320,-
TOTAAL excl b.t.w.		55.672.949,-

BEGROTING MULTIFUNCTIONELE WATERKERING

Project: Stad aan de rivier - Zaltbommel

afstudeerder: ing. M.J. van Alphen

studienummer: 12254

DIJVERZWARING

kostenprijs per stramienmaat van 6,0m³:

41.395 gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
KOSTEN										
1,00 GRONDWERK t.b.v. Cunet										
1.10 ontgraven en afvoeren	m ³	6	10	4		2	240	26	6.240	dielhoekige vorm
1.11 ontgraven en afvoeren	m ³	6	4	4		1	96	26	2.496	650m lengte
1.20 aanvulling niet vette klei t.b.v. kern dijk	m ³					1	336	20	6.720	750m lengte
1,30 Grondwerk t.b.v. Dijkphoging										
1.40 aanvulling t.b.v. dijkkern vette klei	m ³	6	10	4		2	240	20	4.800	
1.41 aanvulling t.b.v. dijkkern vette klei	m ³	6	4	4		1	96	20	1.920	
1,50 aanvulling over dijkkern toplaag	m ³	6	10	4		2	240	20	4.800	
1.51 aanvulling over dijkkern toplaag	m ³	6	4	4		1	96	20	1.920	
2,00 KABELS EN LEIDINGEN										
2.10 aanleg t.p.v. dijk	m ¹	6				1	6	112	672	
<hr/>										
SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)							3.696.000		
Toeslag onvolledig plan		15 %						554.400		
Bouwplaatskosten		15 %						554.400		
Algemene kosten		5 %						184.800		
Winst en Risico		5 %						184.800		
<hr/>										
TOTAAL excl b.t.w.								5.174.400		
<hr/>										

B13.3 Begroting totale project 'Zaltbommel Waterstad'

BEGROTING MULTIFUNCTIELE WATERKERING

Project: Stad aan de rivier - Zaltbommel
 afstudeerder: ing. M.J. van Alphen
 studienummer: 12254

BETONWAND MET STALEN DAMWAND ALS KWELSCHERM

Kostprijs per stramienmaat van 6,0m²:

***** gld.

	werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
1.00	FUNDERING										
1.10	prefab betonpalen 450*450mm	m ¹	10,5	0,45	0,45		12	126	70	8.820	tot 5,5m-NAP
1.11	wapening betonpalen	ton	10,5	0,45	0,45		12	2,6	1800	4.563	100kg/m ³
1.12	heien betonpalen	st					12	1,5	4000	6.000	3 stuks per dag
1.20	poeren	m ³	2	2	0,25		2	2	500	1.000	
1.30	koop staal damwand AZ18	ton	5	6			1	3,5	1500	5.310	118kg/m ²
1.31	heien damwand	ton					1	3,5	170	602	
1.40	aan-afvoer herstelling betonpalen	st					1		5500	5.500	een dag werk
1.41	aan-afvoer herstelling damwand	st					1		5500	5.500	een dag werk
2.00	BETONWERK										
2.10	dak	m ²	9	6	0,25		1	13,5	840	11.340	
2.11	afwerking	m ²	9	6			1	54,0	25	1.350	dakbedekking
2.20	zijwanden 2e verdieping	m ³	9		2,7	0,20	1	4,9	1590	7.727	
2.21	kopwanden 2e verdieping	m ³	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2.22	vloer 2e verdieping	m ³	12	6	0,25		1	18,0	840	15.120	
2.23	afwerking	m ²	12	6	0,05		1	72,0	15	1.080	
2.30	zijwanden 1e verdieping	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
2.31	kopwanden 1e verdieping	m ³	6		1,35	0,10	4	32	132	4.277	metselwerk
2.32	vloer 1e verdieping	m ³	12	6	0,25		1	18,0	840	15.120	
2.33	afwerking	m ²	12	6	0,05		1	72,0	15	1.080	
0.40	zijwanden begane grond	m ³	12		2,7	0,20	1	6,5	1590	10.303	
0.41	kopwanden begane grond	m ²	6		0,6	0,10	4	14	132	1.901	metselwerk
0.42	vloer begane grond	m ³	17	6	0,30		1	30,6	775	23.715	
0.43	afwerking	m ²	17	6	0,05		1	102,0	15	1.530	
2.50	kolommen parkeergarage h.o.h. 6,0m	m ³			2,7	0,60	2	1,53	1330	2.031	rond 600 mm
2.51	kopwand parkeergarage nverzijde	m ³	6		4,25	0,50	1	12,8	950	12.113	
2.52	kopwand parkeergarage stadszijde	m ³	6		3	0,50	1	9,0	950	8.550	
2.53	vloer parkeergarage	m ³	17	6	0,50		1	51,0	470	23.970	
3.00	INSTALLATIES										
3.10	electra nolenning e.d. woningen/winkel	m ²	38	6			1	228,0	25	5.700	
3.20	electra nolenning e.d. parkeergarage	m ²	17	6			1	102,0	35	3.570	
4.00	AFBOUW										
4.10	kazijnen verdiepingen	m ²	6		1,35		4	32,4	500	16.200	
4.20	puien winkel	m ²	6		2,1		2	25,2	1000	25.200	

SUBTOTAAL	vermenigvuldigingsfactor : 125 (=750m / stramien van 6,0m)	25.105.500
Toeslag onvolledig plan	15 %	4.386.291
Bouwplaatskosten	15 %	4.386.291
Algemene kosten	5 %	1.455.430
Winst en Risico	5 %	1.455.430
TOTAAL excl b.t.w.		34.303.552

BEGROTING MULTIFUNCTIELE WATERKERING

Project Stad aan de rivier - Zaltbommel
 afstudeerder: ing. M.J. van Alphen
 studienummer: 12254

BETONWAND MET STALEN DAMWAND ALS KWELSCHERM

kostprijs per stramienmaat van 6,0m³:

***** gld.

werksoorten	Eenheid	lengte m ¹	breedte m ¹	hoogte m ¹	dikte m ¹	aantal	hoeveel heid	prijs per eenheid	bedrag in fl.	opmerkingen
transport blad 1										
1,00 SLOOPWERK									293.083.000	
1,10 betonplaat 1 slopen en afvoeren (hal)	m ³	190	25	0,3		1	1425	250	356.250	
1,11 betonplaat 2 slopen en afvoeren	m ³	70	25	0,3		1	525	250	131.250	
1,12 betonplaat 3 slopen en afvoeren	m ³	85	15	0,3		1	382,5	250	95.625	
1,13 betonplaat 4 slopen en afvoeren	m ³	70	45	0,3		1	945	250	236.250	
1,14 betonplaat 5 slopen en afvoeren	m ³	35	20	0,3		2,5	525	250	131.250	
1,20 asfalt opnemen en afvoeren	m ²	220	200			1	44000	5	220.000	
1,21 straatwerk opnemen en afvoeren	m ²	400	80			1	24000	4,5	108.000	
1,22 straatwerk opnemen en afvoeren	m ²	100	100			1	10000	4,5	45.000	
2,00 GRONDWERK t.p.v. MFW									631.800	650m lengte
2,10 ontgraven en afvoeren	m ³	15	6	2,5		106	24300	28	631.800	
2,11 aanvulling met schoon zand	m ³	15	6	0,3		125	3375	20	67.500	750m lengte
2,20 Grondwerk overige bedrijfsterrein										
2,21 baggerwerk verontreinigd slib	m ³	150	125		1,0	1	18750	35	656.250	
2,22 aanvulling werkhaven schoon zand	m ³	150	125	1,5		1	28125	20	562.500	
2,23 aanvulling werkhaven grond	m ³	150	125	5		1	93750	20	1.875.000	
2,30 vervuilde grond type B										
2,31 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	214	28	2		1	11984	50	599.200	
2,32 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	50	2		1	5000	50	250.000	
2,33 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	42	15	2		1	1280	50	63.000	
2,34 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	70	10	2		1	1400	50	70.000	
2,35 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	28	2		1	2800	50	140.000	
2,36 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	154	14	2		1	4312	50	215.600	
2,37 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	21	2		4	8400	50	420.000	
2,38 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	57	28	2		1	3192	50	159.600	
2,40 vervuilde grond type D										
2,41 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	50	17	2,5		2	4250	100	425.000	
2,42 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	100	100	2,5	0,5	12500	100	1.250.000	driehoekige vor	
2,43 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	57	28	2,5		1	3990	100	399.000	
2,44 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	45	25	2,5		1	2813	100	281.250	
2,45 ontgraven en afvoeren vervuilde grond	m ³	28	28	2,5		1	1980	100	198.000	
2,50 aanvulling met schoon zand	m ³					1	63861	20	1.277.210	
3,00 KABELS EN LEIDINGEN										
3,10 opnemen en verleggen	m ¹	150				1	150	112	16.800	
3,11 aanleg nolering e.d.	m ¹	300				1	300	150	45.000	
SUBTOTAAL										
Toeslag omvolledig plan		15 %							6.004.941	
Bouwplaatskosten		15 %							6.004.941	
Algemene kosten		5 %							2.001.647	
Winst en Risico		5 %							2.001.647	
TOTAAL excl b.t.w.										
40.632.943										