

Innovatieve waterkeringen



Eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van de studie die wij afgelopen studiejaar hebben verricht naar de mogelijkheden om op een andere manier met waterkeringversterkingen om te gaan. Deze studie is uitgevoerd als afstudeerproject voor de studie Civiele Techniek van de Technische Universiteit in Delft. Wij hopen dat het rapport kan dienen als discussiestuk voor ontwerpers, beheerders en beleidsmakers voor toekomstige waterkeringversterkingen. Het is niet onze bedoeling geweest kant-en-klare oplossingen te bieden voor problemen bij dijkversterkingen. De studie heeft als doel de vele mogelijke multifunctionele waterkeringen een concrete vorm te geven.

Naast alle medewerkers van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, willen wij een aantal mensen specifiek bedanken. De heren Vrijling, Bezuyen en Oostveen en mevrouw Nurmohamed, voor hun nuttige commentaar als afstudeercommissie. Nisa willen we ook bedanken voor de dagelijkse begeleiding. Verder alle deelnemers aan de brainstormsessie, Ruud Termaat, Jan-Dirk van Duijvenbode, Marcel van der Doef, Ge Beaufort en Gerrit Loogman voor hun bijdrage. Onze kamergenoot Ed Berendsen voor zijn verdraagzaamheid. Benno Koehorst en Roy Stroeve voor de toelichting op de resultaten van de studie *Dijken duurzaam veilig*. Onze speciale dank gaat uit naar Cindy Perrenet en Jan de Wit voor het bestuderen van onze verslagen en de taalkundige correcties die zij daarin hebben aangebracht. Onze dank gaat ook uit naar de overige, niet met name genoemde, mensen die ons het afgelopen jaar hebben gesteund.

Delft, 21 augustus 2000

Floris Nonhebel
Mathijs de Wit

Samenvatting

In Nederland worden waterkeringen in principe gemaakt van grondlichamen in de vorm van dijken. Alleen in uitzonderlijke gevallen wordt er gebruik gemaakt van een kunstwerk. Te denken valt aan een sluis of coupure. In Zuid-Holland zijn bij de dijkverbeteringen van de laatste jaren enkele problemen naar voren gekomen, die te maken hebben met het gebruik van de dijk en de directe omgeving. In de afgelopen eeuwen zijn de dijken steeds meer onderdeel uit gaan maken van de leefomgeving. Dijken worden op veel plaatsen geheel opgenomen in de bebouwde omgeving. In stedelijke gebieden of bij lintbebouwing geeft een dijkverbetering veel problemen, omdat dit meestal gepaard gaat met een groter ruimtebeslag van de waterkering. De verbetering van de waterkering gaat dan gepaard met de sloop van bebouwing. In het verleden is dit opgelost door de dijk buitendijks van de oude dijk te leggen. Door deze dijkverlegging kan de bebouwde omgeving behouden blijven. In het kader van de beleidslijn *Ruimte voor de rivier* is zo'n buitendijkse dijkverlegging niet meer mogelijk, tenzij dat compenserende maatregelen worden genomen.

Een ander probleem dat de laatste jaren is geconstateerd, is het probleem van de slappe ondergrond. Op een aantal plaatsen, bijvoorbeeld in de Krimpenerwaard, zijn dijkverhogingen uitgevoerd door het steeds steiler opzetten van de taluds. De dijken in dit gebied hebben nu te kampen met instabiliteit. In het afstudeerproject *Innovatieve waterkeringen* is gezocht naar andere vormen van waterkeringverbeteringen, dan de traditionele ophogingen met zand en klei.

Het eerste onderdeel van het project is een literatuurstudie die uitgevoerd is om te achterhalen wat de stand van zaken is met betrekking tot dijkverbeteringen. Uit de literatuurstudie is duidelijk geworden dat in de komende honderd jaar een aanzienlijke verhoging van het MHW op de Nederlandse benedenrivieren te verwachten is. Deze verhoging wordt gedeeltelijk veroorzaakt door de zeespiegelrijzing en gedeeltelijk door veranderende afvoercharacteristieken van de rivieren. De veranderingen in de afvoeren worden veroorzaakt door veranderingen in de neerslagbeelden. De neerslaghoeveelheden zullen toenemen door een stijgende temperatuur, maar ook de neerslagintensiteiten zullen toenemen. De verwachte toename van het MHW varieert tussen de 60 en 100 cm, afhankelijk van het gebruikte klimaatveranderingmodel en de rivier. Naast de verhoging van de waterstanden, zal de bodemdaling, in voornamelijk de veengebieden, ook door gaan. Deze daling is ook van de orde grootte van één meter in honderd jaar.

Na de hoogwaters van 1993 en 1995 is de Commissie Boertien I ingesteld. De commissie heeft de verschillende aspecten van dijkverbeteringen onderzocht. Een belangrijke conclusie van de commissie is dat er aan de belastingkant weinig winst meer te boeken is, ook niet met het uitgekiend ontwerpen. Bij de sterkteberekeningen is nog wel winst te boeken, door uit te gaan van het minimaal benodigde profiel. Deze methode biedt echter geen duurzame oplossingen. Een ander probleem dat is geconstateerd, is dat de *Leidraden* die uitgegeven zijn ten behoeve van dijkverbeteringen, in de praktijk als voorwaarde in plaats van als leidraad fungeren. De *Leidraden* zijn dan ook vervangen door *TAW-handreikingen*. De Commissie Boertien I heeft ook expliciet aandacht besteed aan de inventarisatie en behoud van LNC-waarden. Bij toekomstige dijkverbeteringen zal er meer geld en aandacht moeten zijn voor de LNC-aspecten.

In het literatuuronderzoek is ook onderzoek gedaan naar het gebruik van andere soorten waterkeringen dan de grondconstructie. De belangrijkste conclusie is dat er wel onderzoeken zijn gedaan naar bijvoorbeeld nieuwe soorten waterkeringen in Kampen, Dordrecht en Sliedrecht, maar dat er meestal voor een min of meer conventionele oplossing gekozen wordt.

In het afstudeerproject *Innovatieve waterkeringen* is niet naar een oplossing voor een specifieke locatie gezocht, maar is op een hoger abstractieniveau naar het waterkeren in het benedenrivierengebied gekeken. Na het literatuuronderzoek is een uitgebreid onderzoek gedaan naar de conflictsituaties die op kunnen treden bij een dijkverbetering. Het blijkt mogelijk de vele ruimtelijke conflictsituaties in te delen in twee hoofdgroepen:

- conflicten die voorkomen uit functiebotsingen
- conflicten die het gevolg zijn van randvoorwaarden

De conflicten die voortkomen uit de functiebotsingen zijn in te delen in vier karakteristieke functiecombinaties. De vier functiecombinaties zijn:

1. waterkeren en wonen
2. waterkeren en transport
3. waterkeren en natuur
4. waterkeren en historie

Voor deze vier combinaties zijn karakteristieke profielen samengesteld, die in de rest van het project gebruikt worden bij het genereren van oplossingen. Voor de vierde functiecombinatie, waterkeren en historie, bleek het erg moeilijk om een karakteristiek profiel samen te stellen.

De voorkomende conflictgevallen blijken erg veel van elkaar te verschillen. Uiteindelijk is besloten om twee karakteristieke profielen op te stellen, zodat dit functieconflict meegenomen kan worden in de rest van het project.

De functieconflicten zijn de basis geweest voor de ontwikkeling van de oplossingen. Bij het ontwikkelen van de oplossingen is onder andere gebruik gemaakt van literatuur en brainstormsessies. Hierbij is het functiebehoud het uitgangspunt geweest. Alleen in het geval van historische bebouwing leidde dit tot het behoud van de bebouwing, in de overige gevallen kon vaak met een functiecombinatie gewerkt worden in een nieuwe waterkering.

De ontwikkelde ruimtelijk-functionele conceptoplossingen zijn ingedeeld in vier hoofdcategorieën (alternatieven), met daarin een aantal varianten (principeoplossingen).

De vier hoofdcategorieën zijn:

1. De waterkering wordt verzorgd door een slecht doorlatend grondlichaam.
2. De waterkering wordt verzorgd door een vaste, harde constructie.
3. De waterkering wordt verzorgd door een harde constructie in combinatie met grond.
4. De waterkering wordt verzorgd door een beweegbare constructie.

Een belangrijk punt bij waterkeringen is de technische haalbaarheid. Voor alle principeoplossingen is nagegaan hoe de waterkering technisch ingevuld kon worden en of er nog grote problemen te voorzien zijn. Voor alle principeoplossingen geldt dat ze technisch haalbaar moeten zijn, al zal een aantal oplossingen wel met complicaties te maken krijgen. Vooral de oplossingen uit de vierde hoofdcategorie, de beweegbare waterkeringen, zullen voor technische problemen kunnen zorgen. Eén van de problemen is bijvoorbeeld de garantie van de waterdichtheid en het onderhoud aan de bewegende delen.

De ontwikkelde oplossingen verschillende onderling aanzienlijk. Niet elke oplossing is even goed toepasbaar voor alle functieconflicten, er is verschil in kosten en ook in uitvoerbaarheid.

Een overzicht van de verschillende oplossingen en een onderlinge vergelijking lijkt een handig middel bij het zoeken naar een geschikte waterkering bij een functieconflict. De oplossingen worden beoordeeld op een aantal criteria en onderling vergeleken. De resultaten van deze vergelijking zijn opgenomen in een scoretabel, die bij een

dijkversterkingproject gebruikt kan worden als eerste selectie van kansrijke oplossingen. De scores in deze tabel zijn geen absolute waarden, maar zijn de vergelijkingen onderling. Het invullen van een scoretabel is altijd een subjectieve beoordeling. Voor het

afstudeerproject zijn twee casestudies gedaan, Alblasserdam (Alblasserwaard) en Ammerstol (Krimpenerwaard), waarin de ontwikkelde oplossingen toegepast konden worden op een praktijksituatie. Bij het uitvoeren van de casestudies is duidelijk geworden dat de scoretabel een redelijke richtlijn is voor de selectie van oplossingen. Het is wel aan te raden om de tabel nog een keer in te vullen voor de specifieke situatie, zodat er geen oplossingen voortijdig afgeschreven worden. Uit de casestudies is ook duidelijk geworden dat de innovatie oplossingen alleen bestaansrecht hebben op locaties waar een traditionele dijkverhoging niet mogelijk is of gepaard gaat met grote maatschappelijke problemen. Eén van de belangrijkste consequenties van het toepassen van een innovatieve oplossing zijn de kosten. Deze zijn aanzienlijk hoger dan bij de traditionele oplossing.

De klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat de eeuwenlang gebruikte dijkversterkingmethoden tegenwoordig niet overal meer toegepast kunnen worden. In dit rapport is door middel van een integrale benadering van de waterkerende functie en de nevenfuncties van de dijk gezocht naar nieuwe oplossingen. Deze oplossingen zijn voornamelijk toepasbaar in gebieden waar men de financiële consequenties van de innovatieve oplossingen op vindt wegen tegen het functieverlies dat gepaard zou gaan met een traditionele oplossing. In die gebieden waar er ruimtelijk gezien geen noodzaak is tot het toepassen van een innovatieve oplossing, is een waterkering van grond (dijk) nog steeds de beste oplossing.

Inhoudsopgave

Samenvatting	i
Inhoudsopgave.....	1
Lijst met figuren en tabellen.....	3
Hoofdstuk 1. Inleiding innovatieve waterkeringen.....	4
1.1 Situatiebeschrijving	5
1.2 Opbouw rapport	7
Hoofdstuk 2. Probleemverkenning waterkeringversterkingen.....	8
2.1 Opdrachtformulering	8
2.2 Probleemstelling	8
2.3 Doelstelling	9
2.4 Verwacht eindresultaat.....	9
2.5 Ontwerpmethodiek Innovatieve Waterkeringen.....	10
Hoofdstuk 3. Randvoorwaarden en uitgangspunten	12
3.1 Randvoorwaarden.....	12
3.1.1 Ruimtelijke randvoorwaarden	12
3.1.2 Natuurlijke randvoorwaarden	12
3.1.3 Technische randvoorwaarden.....	12
3.1.4 Functionele randvoorwaarden.....	12
3.1.5 Economische randvoorwaarde.....	12
3.2 Uitgangspunten.....	13
3.2.1 Ruimtelijke uitgangspunten.....	13
3.2.2 Natuurlijke uitgangspunten	13
3.2.3 Functioneel uitgangspunt.....	13
Hoofdstuk 4. Literatuurstudie.....	14
4.1 Samenvattingen belangrijkste literatuur	14
4.1.1 Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'	14
4.1.2 De toestand van het klimaat in Nederland 1996	15
4.1.3 Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen. (Boertien I)..	16
4.1.4 Handreiking Constructief Ontwerpen	17
4.2 Interviews en veldonderzoek	18
4.2.1 Verslag gesprek met dhr. ir. J.B.A. Weijers	18
4.2.2 Verslag gesprek met dhr. ing. R.J. Termaat	20
4.2.3 Veldonderzoek.....	21
4.3 Conclusies uit de literatuurstudie	23
Hoofdstuk 5. Probleem- en functieanalyse waterkeringversterking.....	25
5.1 Probleemanalyse dijkversterking.....	25
5.1.1 Inleiding	25
5.1.2 Te beschrijven gebieden.....	25
5.1.3 Alblasserwaard	26
5.1.4 Krimpenerwaard	27
5.2 Waterkeringanalyse	29
5.3 Ruimtelijke conflictsituaties	31
5.3.1 Inleiding	31
5.4 Karakteristieke functiecombinaties.....	31
5.4.1 Functiecombinatie I: Waterkeren en wonen.....	31
5.4.2 Functiecombinatie II: Waterkeren en transport	32
5.4.3 Functiecombinatie III: Waterkeren en natuur	32
5.4.4 Functiecombinatie IV: Waterkeren en historie	33

5.4.5	Overige functies.....	34
Hoofdstuk 6.	Principeoplossingen innovatieve waterkering.....	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Principeoplossingen.....	36
6.2.1	Principeoplossing I-a: Dijk met aangepaste ophoging	37
6.2.2	Principeoplossing I-b: Dijk met verbeterde ondergrond.....	38
6.2.3	Principeoplossing II-a: L-muur	39
6.2.4	Principeoplossing II-b: Doos	40
6.2.5	Principeoplossing II-c: Folieconstructie.....	41
6.2.6	Principeoplossing II-d: Wand	42
6.2.7	Principeoplossing III-a: Diepwand.....	43
6.2.8	Principeoplossing III-b: Kistdam.....	44
6.2.9	Principeoplossing IV-a: Klepkering	45
6.2.10	Principeoplossing IV-b: Hefconstructie	46
6.2.11	Principeoplossing IV-c: Balgkering	47
6.3	Scoretabel.....	48
6.3.1	Inleiding	48
6.3.2	Criteria Scoretabel.....	48
6.3.3	Scoretabel principeoplossingen	51
6.3.4	Toelichting bij invulling scoretabel.....	52
6.3.5	Interpretatie resultaten van de scoretabel.....	54
6.3.6	Gebruik van de scoretabel voor de casestudies	54
6.4	Conclusies van de beoordeling van de principeoplossingen.....	55
Hoofdstuk 7.	Casestudies.....	56
7.1	Samenvatting Casestudy Alblasserdam.....	56
7.2	Samenvatting casestudy Ammerstol	58
Hoofdstuk 8.	Conclusies en Aanbevelingen.....	61
8.1	Conclusies	61
8.2	Aanbevelingen	62
Literatuurlijst	63
Begrippenlijst	I
Bijlagen (losse rapporten)		
	Bijlage A: Literatuurstudie	
	Bijlage B: Probleem- en functieanalyse waterkeringversterking	
	Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen	
	Bijlage D: Analyses principeoplossingen	
	Bijlage E: Casestudy Alblasserdam	
	Bijlage F: Casestudy Ammerstol	

Lijst van figuren en tabellen

figuur 1.1: Ligging studiegebied	5
figuur 1.2: Krimpenerwaard	6
figuur 1.3: Alblasserwaard	6
figuur 2.1: Stroomschema ontwerp innovatieve waterkering	10
figuur 4.1: Afvoer van de Rijn te Lobith(1901-1998) en van de Maas te Borgharen (1911-1998). Voor elk jaar zijn de gemiddelde en de maximale afvoer gepresenteerd.	16
figuur 5.1: Het dijkkringgebied Alblasserwaard (schaal 1:250.000)	26
figuur 5.2: Het dijkkringgebied Krimpenerwaard (schaal 1:250.000)	28
figuur 5.3: Enige aandachtspunten in de waterkering	29
figuur 5.4: Waterkering en wonen	32
figuur 5.5: Waterkeren en transport	32
figuur 5.6: Dijk begroeid met bomen	33
figuur 5.7: Wiel achter waterkering	33
figuur 5.8: Coupure	34
figuur 5.9: Historische bebouwing	34
figuur 6.1: Dijk met aangepaste ophoging	37
figuur 6.2: Dijk met verbeterde ondergrond	38
figuur 6.3: L-muur met functieruimte	39
figuur 6.4: Doos met functieruimten.	40
figuur 6.5: Geïntegreerde constructie met waterdicht folie.	41
figuur 6.6: Waterkerende doorzichtige wand	42
figuur 6.7: Diepwand	43
figuur 6.8: Kistdam.	44
figuur 6.9: Klepkering.	45
figuur 6.10: Hefconstructie.	46
figuur 6.11: Balgkering.	47
figuur 7.2: Innovatieve oplossing waterkering Alblasserdam.	57
figuur 7.3: Plattegrond van de gewenste eindsituatie in Ammerstol (schaal 1:4000)	59
figuur 7.4: Eindsituatie in Ammerstol met afmetingen en hoogtematen (schaal 1:500)	59
tabel 6-1: Combinatie functionele en constructieve oplossingen	36
tabel 6-2: Aandachtspunten principeoplossingen	36
tabel 6-3: Scoretabel principeoplossingen	51
tabel 7-1: Afmetingen doosconstructie	57
tabel 7-2: Afmetingen L-muur	60
foto 1: Kruin van de dijk in Alblasserdam	22
foto 2: Bebouwde dijk in Kinderdijk	22
foto 3: Kerk in Tienhoven	22
foto 4: Dijk in Ammerstol	22
foto 5: Dijk in Alblasserdam	22
foto 6: Dijk met bebouwing in Alblasserdam	22

Hoofdstuk 1. Inleiding innovatieve waterkeringen

De Nederlandse geschiedenis wordt gekenmerkt door de strijd tegen het water. Onze voorvaders zochten al naar manieren om zich te beschermen tegen zowel de zee, als de rivieren. Inmiddels lijkt het gevaar van stormvloed effectief te zijn verminderd, door middel van de Deltawerken en andere vormen van kustverdediging. Net op het moment dat alom werd gedacht dat het water onder controle was, werd Nederland in 1995 opgeschrikt door een bijna watersnood veroorzaakt door extreem hoge rivierafvoeren. Dit leidde onmiddellijk tot heftige reacties, waardoor enkele plannen versneld doorgevoerd konden worden, zoals het *Deltaplan Grote Rivieren*¹ en de beleidslijn *Ruimte voor de Rivier*².

Deze activiteiten hebben geleid tot een dijkversterkingronde, waardoor Nederland zich de komende jaren veilig mag voelen voor rivieroverstromingen. Tijdens de dijkversterkingen deed zich echter een aantal knelpunten, waarvoor nog geen oplossing is gevonden. Onder knelpunt wordt hier verstaan: het optreden van conflicten in het ruimtegebruik van een dijkversterking en een andere functie.

Eén van de knelpunten is dijkversterking in stedelijk gebied. Op enkele locaties is er geen ruimte om een dijkversterking uit te voeren op de traditionele wijze, zonder de huidige functies te schaden. Bovendien wordt aan een waterkering in stedelijk gebied een groot aantal bijkomende functionele eisen gesteld.

Een ander knelpunt bij dijkversterking is de slappe grond. Op een aantal plaatsen is de grond niet draagkrachtig genoeg voor een dijkverzwaring. Met name in Zuid-Holland, waar de bodem vrijwel geheel bestaat uit slappe grond, bestaat het gevaar voor afschuiven van dijklichamen. Bij het aanbrengen van een extra grondlichaam (dijk) kan het grondwater, door de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen, niet goed wegstromen. Dit heeft het optreden van overspannen water tot gevolg en een daarmee samenhangende macro-instabiliteit in de vorm van glijvlakken.

Als laatste knelpunt bij dijkversterkingen, kan de kwel in de binnendijkse gebieden worden genoemd. Deze kwel zorgt voor veel overlast en is derhalve ongewenst, nog los van de gevolgen voor de waterkering, in de vorm van piping.

De prognoses voor de lange termijn (100 jaar) stellen dat de maatgevende rivierafvoeren drastisch zullen toenemen ten gevolge van klimaatveranderingen en menselijk ingrijpen. De toename kan liggen in de orde van grootte van enige tientallen procenten (zie *Bruisend Water*³). Op de kortere termijn is vooral door de vergroting van het verharde oppervlak een kortere, maar hogere hoogwaterpiek te verwachten. Op de langere termijn heeft de mondiale opwarming een hogere gemiddelde waterafvoer tot gevolg in de winterperiode. Dit leidt, in combinatie met de verwachte zeespiegelrijzing, tot een geschatte verhoging van het maatgevend hoogwater met enige decimeters. Het huidige beleid voorziet in de veiligheid voor de korte termijn en is voornamelijk gericht op het verlagen van de maatgevende hoogwaterstanden. Dit zal in de toekomst niet voldoende zijn om voorgeschreven veiligheidsnormen te kunnen waarborgen. Voor de lange termijn zullen dijkversterkingen dus niet te voorkomen zijn.

In deze studie zal getracht worden een oplossing te vinden voor de hier gestelde problemen. Het streven is het vinden van een oplossing die voor de lange termijn voldoende veiligheid biedt tegen overstromingen in gebieden waar, bij dijkversterking in het verleden, conflicten in ruimtegebruik optraden. De waterkeringverbetering moet gescheiden met behoud van de

¹ Deltaplan Grote Rivieren

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Den Haag, februari 1995

² Beleidslijn "Ruimte voor de Rivier"

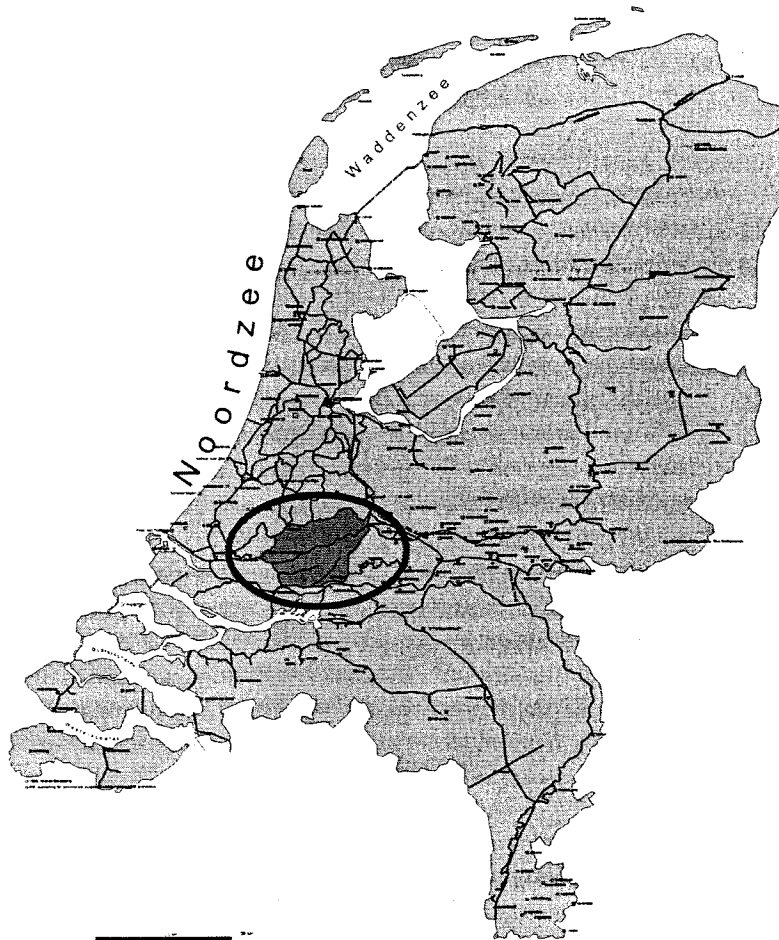
Ministerie van VROM en Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, april 1997

³ Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'

Provincie Zuid-Holland, Project Bruisend Water, Den Haag, september 1997

daar aanwezige functies en in die gebieden waar toekomstige dijkversterkingen problemen kunnen opleveren met andere functies.

1.1 Situatiebeschrijving



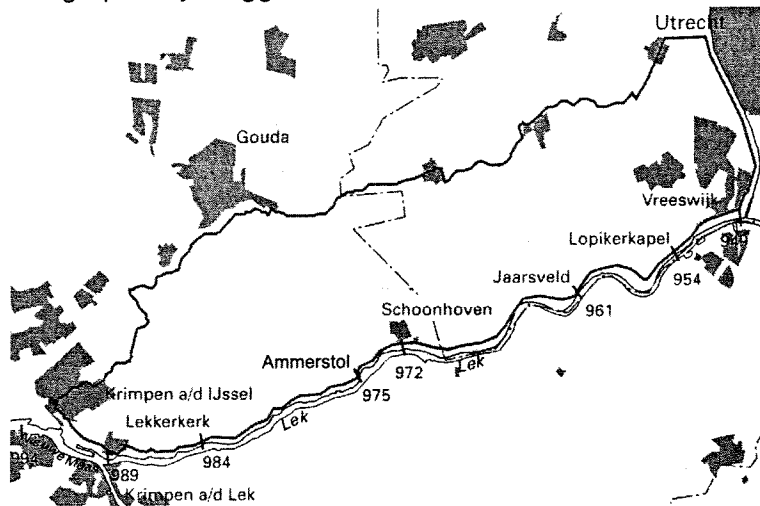
figuur 1.1: Ligging studiegebied

Deze studie zal zich beperken tot het benedenrivierengebied van Zuid-Holland. Er zal met name worden gekeken naar de situatie zoals die nu aanwezig is in de dijkkringgebieden Alblasserwaard en Krimpenerwaard en de mogelijke aanpassing in de toekomst (zie figuur 1.1).

In beide gebieden liggen bebouwingsconcentraties langs de dijk en is de bebouwingsvorm is te karakteriseren als lintbebouwing. De Alblasserwaard heeft primaire waterkeringen in het noorden, langs de Lek en in het zuiden langs de Merwede. Verder ligt in het westen de rivier de Noord en wordt het oosten begrensd door de Diefdijk (scheiding met Vijfheerenlanden). De Krimpenerwaard heeft alleen in het zuiden, langs de Lek en de Nieuwe Maas, primaire waterkeringen.

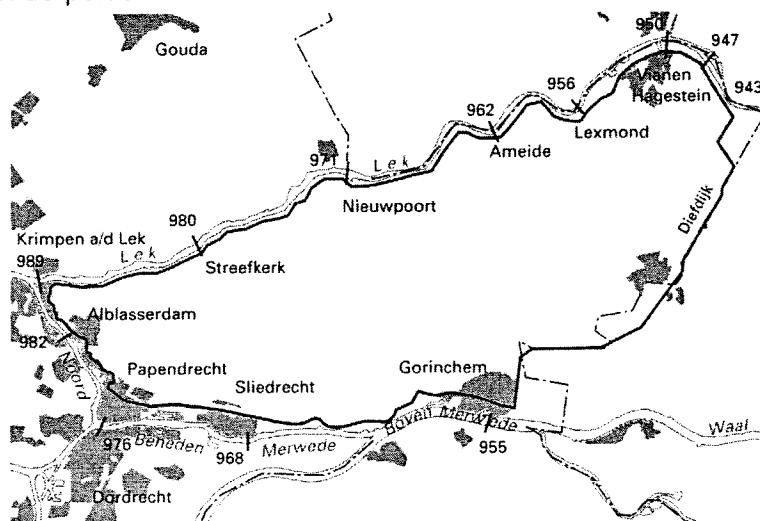
De kans op overstromen van beide dijkkringgebieden is in de Wet op de Waterkering vastgesteld op 1/2000 per jaar.

De Krimpenerwaard vormt samen met de Lopikerwaard een dijkkringgebied. De Krimpenerwaard grenst in het zuiden aan de Lek en de Nieuwe Maas en in het westen aan de Hollandsche IJssel (zie figuur 5.2). In de Krimpenerwaard zijn drie grotere bebouwingsconcentraties aanwezig: Schoonhoven, Krimpen aan de Lek en Krimpen aan den IJssel. De overige plaatsjes liggen her en der verspreid langs de dijk en in de polder.



figuur 1.2: Krimpenerwaard

De Alblasserwaard is een polder, die ligt tussen de Beneden en Boven Merwede in het zuiden, de Noord in het westen, de Lek in het noorden en de Diefdijk in het oosten (zie figuur 1.3). De Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden vormen samen één gebied, maar dit gebied is opgedeeld in twee dijkkringgebieden. In de Alblasserwaard zijn meerdere grotere bebouwingsconcentraties te vinden, met name langs de rivieren, zoals Alblasserdam, Vianen, Papendrecht en Gorinchem. De overige plaatsjes liggen her en der verspreid langs de dijk en in de polder.



figuur 1.3: Alblasserwaard

Kenmerkend voor de polders is dat vooral langs de dijken lintbebouwing is gelegen. De dijk, de rivier, de bebouwing en het laaggelegen achterland vormen samen het zo voor Nederland kenmerkende rivierenlandschap. Dit gebied is in technisch opzicht zeer karakteristiek door dikke, slecht doorlatende, slappe-lagen-pakketten. Voor de dijken resulteert dit in lage stabiliteitfactoren.

De keuze is op deze gebieden gevallen, omdat deze beschouwd mogen worden als representatief voor benedenrivierengebieden. Er is nog geen studie gedaan naar specifieke locaties, zoals dat wel is gebeurd voor bijvoorbeeld Dordrecht en Kampen.

1.2 Opbouw rapport

De opbouw van het rapport is als volgt:

Hoofdstuk 2. Probleemverkenning waterkeringversterkingen bevat de opdrachtformulering voor deze studie. Hierin is het probleem geformuleerd en het doel. Verder wordt er een methodiek gepresenteerd waarop dit doel gehaald kan worden. Dit hoofdstuk is bedoeld voor die lezers die geïnteresseerd zijn in de achtergrond van de studie

Hoofdstuk 3. Randvoorwaarden en uitgangspunten bevat alle grenzen die er aan de toekomstige waterkeringen zijn gesteld. Dit zijn deels harde eisen die geformuleerd zijn onder de randvoorwaarden en deels zelf gekozen beperkingen die onder de uitgangspunten zijn te vinden.

Hoofdstuk 4. Literatuurstudie bevat een samenvatting van de meest relevante literatuur. Van alle literatuur die is bestudeerd is een samenvatting te vinden in Bijlage A: Literatuurstudie. Verder bevat dit hoofdstuk enkele interviews die met deskundigen op dit gebied zijn gehouden en een kort verslag van het veldonderzoek. Ook de conclusies uit het literatuuronderzoek zijn opgenomen in dit hoofdstuk.

Hoofdstuk 5. Probleem- en functieanalyse waterkeringversterking bevat de probleemanalyse waarin geïnterpreteerd is waar de grootste knelpunten te vinden zijn en welke dit zijn. Verder is er een analyse te vinden van de werking van een waterkering en de eisen die daaraan gesteld worden. Ook is een samenvatting weergegeven van de functieanalyse, die integraal terug te vinden is in Bijlage B: probleem- en functieanalyse waterkeringversterkingen. Deze gepresenteerd door middel van karakteristieke functiecombinaties.

Hoofdstuk 6. Principeoplossingen innovatieve waterkering worden alle elf de principeoplossingen gepresenteerd die gevonden zijn naar aanleiding van de analyses in hoofdstuk 5. Deze worden schematisch weergegeven en toegelicht met een schets. Ook is in dit hoofdstuk de scoretabel terug te vinden waarmee de principeoplossingen onderling kunnen worden vergeleken. Dit hoofdstuk is belangrijk voor waterkeringbeheerders omdat hier per karakteristieke situatie snel een mogelijke oplossing is te vinden. De uitgebreide oplossingen zijn terug te vinden in Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen en Bijlage D: Analyses principeoplossingen

Hoofdstuk 7. Casestudies bevat een samenvatting en de conclusies van de casestudies die in Ammerstol en Alblasterdam uitgevoerd zijn. Deze casestudies dienen ter illustratie van de uitvoerbaarheid van de principeoplossingen. De complete casestudies zijn te vinden in Bijlage E: Casestudy Alblasterdam en Bijlage F: Casestudy Ammerstol.

Hoofdstuk 8. Conclusies en Aanbevelingen bevat de belangrijkste conclusies en aanbevelingen die er uit deze studie volgen. Hierbij wordt een korte evaluatie gegeven van de studie en wordt geschetst waarvoor deze resultaten gebruikt kunnen worden en welke ontwikkelingen er verder mogelijk zijn vanuit deze studie.

In de Literatuurlijst is alle gebruikte literatuur opgesomd, met volledige titel, auteur(s), verantwoordelijke instantie en verschijningsdatum

In de Begrippenlijst worden alle gebruikte technische begrippen kort toegelicht. Hiernaar vinden geen verwijzingen plaats, maar indien er onduidelijkheid bestaat over een begrip is dit begrip waarschijnlijk wel terug te vinden in de begrippenlijst.

Hoofdstuk 2. Probleemverkenning waterkeringversterkingen

In dit hoofdstuk zal de aanleiding van deze studie worden geformuleerd, de probleemstelling, de doelstelling en verwachtingen van het eindresultaat. Ook zal de te volgen ontwerpmethodiek worden behandeld.

2.1 Opdrachtformulering

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat (DWW) heeft bij de sectie waterbouwkunde van de subfaculteit der Civiele Techniek van de TU Delft een afstudeeropdracht ingediend met de titel *Waterkeren in de stad*. De opdrachtomschrijving vermeldde dat er binnen nu en 100 à 200 jaar grote problemen te verwachten zijn met het veilig keren van het rivierwater in Nederland. Deze problemen zullen zich het eerste voordoen in de stedelijke gebieden, omdat de waterkering of de directe omgeving daarvan vaak bebouwd is. Naar aanleiding van de opdracht met omschrijving zijn er enkele gesprekken gevoerd met dhr. ir. R.E. Jorissen (opdrachtgever van deze opdracht namens de DWW), dhr. ir. J. Visser en mw. ir. S. Nurmohamed (beiden van DWW). Ook zijn er gesprekken gevoerd met dhr. ir. K.G. Bezuyen en dhr. prof. drs. ir. J.K. Vrijling (beiden van Civiele Techniek van de TU-Delft). Uit de gesprekken kwam naar voren dat de opdracht breder was dan in de oorspronkelijke omschrijving stond.

De opdracht voor dit afstudeerproject is uiteindelijk als volgt geformuleerd:

Het ontwikkelen van een multifunctionele waterkering in het Zuid-Hollandse rivierengebied, rekening houdend met een slappe ondergrond en een aanzienlijke waterstandsverhoging.

In overleg met de verantwoordelijken binnen DWW en de TU-Delft is besloten dat het, gezien de omvang van de opdracht, wenselijk was deze door twee afstudeerders uit te laten voeren.

2.2 Probleemstelling

Ten gevolge van klimatologische veranderingen en menselijk handelen zal er in de toekomst sprake zijn van extremere rivierafvoeren (zie *Bruisend Water*). Eén van de effecten hiervan zal een stijging van het maatgevend hoogwaterpeil (MHW) zijn op de rivieren Maas en Rijn. De huidige aanpak van deze hoogwatergolf, vastgelegd in het *Deltaplan grote rivieren* en de beleidslijn *Ruimte voor de rivier*, voorziet in enerzijds een afvlakking van deze hoogwatergolf en anderzijds een verhoging van de waterkeringen langs deze rivieren. Deze maatregelen zullen echter niet voldoende zijn om ook op de langere termijn de effecten van toenemende hoogwaterafvoeren te compenseren.

Dijkversterkingen in het verleden hebben een aantal knelpunten in de huidige functies aan het licht gebracht. Eén soort knelpunt is de waterkering in bebouwd gebied. Met name in steden is er vaak geen ruimte voor een dijkversterking zonder verlies van de huidige functies, mede door het intensieve grondgebruik. Daarnaast wordt er traditioneel een aantal gebruikseisen aan een waterkering gesteld, op het gebied van wonen, werken en verkeer. Een ander soort knelpunt is het bouwen op slappe grond. Dijkverzwaringen op dergelijke locaties kunnen tot instabiliteit leiden. Op een aantal plaatsen waar dijkversterkingen zijn uitgevoerd, is sprake van wateroverspanningen, die leiden tot lage korreldrukken en een lage stabiliteit bij een dijkversterking. Ook is er op veel locaties sprake van kwelwater in de binnendijkse gebieden, hetgeen tot directe wateroverlast leidt binnen de polder, maar ook tot het gevaar voor piping en derhalve stabiliteitverlies voor de waterkering.

Vooraf binnen de provincie Zuid-Holland, waar beide genoemde rivieren in zee uitmonden, treden veel van dergelijke knelpunten in functies en ruimte bij een noodzakelijke dijkversterking op. Dit gebied kent van oudsher reeds een intensieve bewoning en een hoge

economische activiteit. Daarnaast is het een typische rivierdelta, wat onder andere betekent dat de bodem is opgebouwd uit klei- en veenlagen en dat de draagkrachtige zandlaag zich vaak meerdere meters onder het maaiveld bevindt.

2.3 Doelstelling

Het ontwerpen van een multifunctionele waterkering voor de Zuid-Hollandse riviergebieden voor de lange termijn.

2.4 Verwacht eindresultaat

De studie behelst een verkenning naar oplossingen voor de lange termijn voor de knelpunten bij dijkversterkingen. Het verwachte eindresultaat van het project is een aantal conceptoplossingen voor deze knelpunten. Deze conceptoplossingen zullen gepresenteerd worden met aanduiding van de voor- en nadelen en mogelijke effecten, zodat op basis hiervan door beheerders van waterkeringen een keuze gemaakt kan worden.

Dijkversterkingen zijn nodig voor het keren van de verwachte hogere waterstanden, die volgen uit klimaatprognoses voor de komende 100 tot 200 jaar. Er wordt een studie op haalbaarheidsniveau gedaan naar de mogelijkheden van innovatieve waterkeringen. Het innovatieve karakter komt naar voren in de nieuwe benadering van de functies van de waterkering, de invloed hiervan op de waterkering en de oplossingen voor de knelpunten. De oplossingen worden gecreëerd op basis van een aantal functieanalyses van deze locaties vanuit verschillende aspecten.

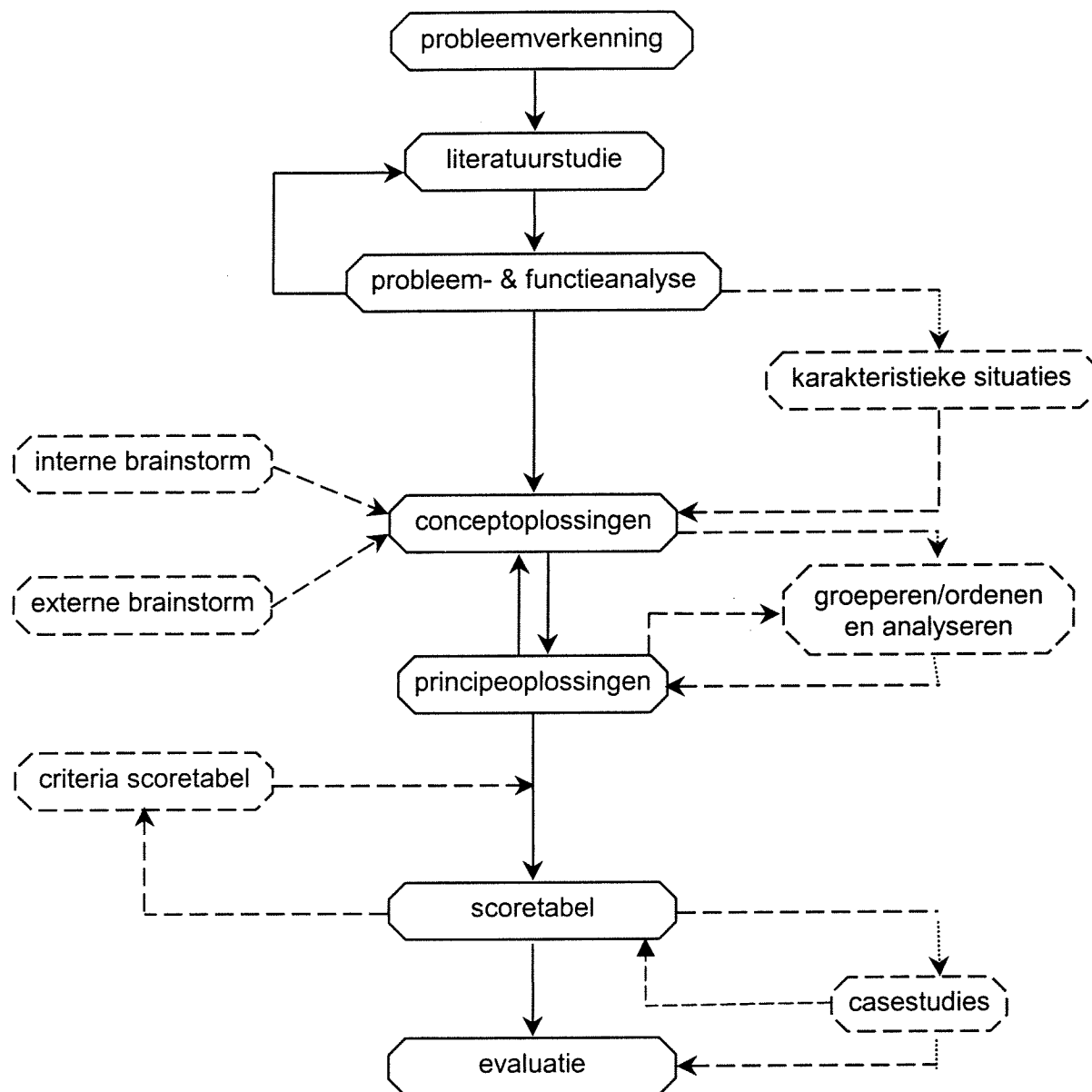
Bij de ontwikkeling van oplossingen voor deze knelpunten zal niet alleen naar de functie waterkeren gekeken worden, maar zullen de overige functies die de waterkering moet vervullen, gelijktijdig meegenomen worden in het ontwerpproces. Dit kan gerealiseerd worden door vanuit verschillende aspecten naar de waterkering te kijken en een functieanalyse per aspect te maken. Vanuit deze aspecten kan een soort bouwstenenmodel worden gemaakt van noodzakelijke en wenselijke elementen van de waterkering.

Het tweede deel van de studie heeft betrekking op de technische realiseerbaarheid van de ontwikkelde functionele alternatieven. Bij de technische invulling komen de mogelijkheden die er zijn voor oplossingen op slappe grond aan bod, omdat hier een technische innovatie nodig is. Hierbij zal ook zijdelings worden gekeken naar het kostenaspect, hoewel dit slechts een globale analyse betreft en bedoeld is om alternatieven te kunnen vergelijken.

Het laatste deel van de studie bestaat uit twee casestudies, waarin op specifieke locaties twee van de ontwikkelde conceptoplossingen aan de praktijk getoetst zullen worden. Er zullen binnen het opdrachtgebied, de provincie Zuid-Holland, twee locaties worden gezocht waar een duidelijk knelpunt ligt bij dijkversterking. Op deze locaties zal een waterkering worden ontworpen tot op haalbaarheidsniveau. Dit laatste deel moet een idee geven van de algemene toepasbaarheid van de eerder ontwikkelde oplossingen.

2.5 Ontwerpmethodiek Innovatieve Waterkeringen

Voor het gestructureerd uitwerken van een ontwerp is het noodzakelijk een ontwerpschema op te stellen. Aan de hand van dit ontwerpschema kan er gecontroleerd naar oplossingen toegewerkt worden. In figuur 2.1 is aangegeven welke stappen er uitgevoerd moeten worden (middelste kolom), welke input er is (linker kolom) en wat er aan bepalende tussentijdse output is (rechter kolom).



figuur 2.1: Stroomschema ontwerp innovatieve waterkering

De probleemverkenning

De probleemverkenning is de fase waarin het werkplan is geschreven met daarin een globale omschrijving van het probleem, een plan van aanpak en een verwacht eindresultaat. De probleemverkenning is noodzakelijk om na te gaan of er sprake is van een ongewenste situatie en of deze eventueel opgelost kan worden. Wordt er niet aan één van deze twee voorwaarden voldaan, dan is er geen sprake van een probleem en hoeft er verder geen onderzoek gepleegd te worden.

Literatuurstudie

In deze fase wordt de relevante literatuur bestudeerd om inzicht te krijgen in het probleem en wordt nagegaan wat er al aan oplossingen ontwikkeld is. In de literatuurstudie wordt ook nagegaan wat de huidige aanpak van problemen bij een dijkversterking is en wat daar de voor- en nadelen van zijn. Tijdens de literatuurstudie wordt ook de nodige kennis vergaard omtrent klimaatveranderingen en de daarmee samenhangende veranderingen in het Maatgevend Hoogwater (MHW) van de Nederlandse benedenrivieren.

Probleem- en functieanalyse

Voor een goed inzicht in de problemen die er optreden bij een waterkeringverbetering, is het noodzakelijk een uitgebreide analyse te maken. Deze analyse dient zicht toe te spitsen op het soort problemen dat zich voordoet en op de analyse van de oorzaak van de conflicten. Deze stap zal uiteindelijk uitmonden in een aantal karakteristieke conflictsituaties, waarmee verder gewerkt kan worden bij het genereren van oplossingen.

Conceptoplossingen

Via verschillende brainstormsessies zal er een groot aantal conceptoplossingen gegenereerd worden. Deze oplossingen, hebben betrekking op één karakteristieke situatie. Naar verwachting zullen niet alle oplossingen door de twee samenstellers van dit rapport gegenereerd kunnen worden (interne brainstorm), maar zal er ook de hulp ingeroepen worden van een aantal andere deskundigen. Dit zal ook gebeuren door middel van een brainstorm (externe brainstorm). De grote hoeveelheid oplossingen zal gegroepeerd en geordend moeten worden, omdat een aantal oplossingen op hetzelfde principe zal berusten. De randvoorwaarden bij de brainstormsessies zijn:

- vier karakteristieke conflictsituaties
- een aanzienlijke verhoging van het MHW
- een slappe ondergrond onder de waterkering.

Principeoplossingen

De geordende en gegroepeerde conceptoplossingen zullen worden vertaald naar principeoplossingen. In deze principeoplossingen wordt de wijze van waterkeren de bindende factor. Indien alle oplossingen onder een bepaald principe zijn gerangschikt, kan beschreven worden hoe de waterkerende functie vervuld wordt. Daarnaast zal binnen elke principeoplossing worden aangegeven welke functieruimten er zijn en welke invulling daaraan gegeven kan worden. Ook zal voor elke principeoplossing worden aangegeven wat de verschillende mogelijkheden voor de slappe-grond-problematiek zijn.

Scoretabel

De verschillende principeoplossingen moeten beoordeeld worden op het functioneren wat waterkeren betreft, het vervullen van één of meerdere andere functies, het ruimtebeslag, de kosten enz. Een kwantitatieve beoordeling is niet haalbaar, zodat er een relatieve kwalitatieve beoordeling gemaakt wordt. Er zal in termen van relatief beter of slechter beoordeeld worden hoe de oplossingen ten opzichte van elkaar scoren. Deze beoordelingen zullen voor het overzicht in een tabel gezet worden.

Casestudies

Het laatste deel van het ontwerpproces bestaat uit twee casestudies, waarin voor twee praktijksituaties nagegaan zal worden of en hoe één van de innovatieve oplossingen toegepast kan worden. Indien mogelijk zal er een vergelijking gemaakt worden met voorgestelde of uitgevoerde oplossingen voor de betreffende locatie.

Hoofdstuk 3. Randvoorwaarden en uitgangspunten

De studie heeft te maken met een aantal beperkingen. Een deel bestaat uit randvoorwaarden, dit zijn beperkingen opgelegd door de omgeving, wetgeving en opdrachtgever. Dit zijn zogenaamde harde voorwaarden, hieraan moet voldaan worden. Het andere deel bestaat uit uitgangspunten, die door de ontwerper aan het project zijn opgelegd. Deze beperkingen zijn geordend en genummerd per aspect. Omdat deze studie op een tamelijk abstract niveau wordt uitgevoerd, wordt volstaan met de randvoorwaarden en uitgangspunten en wordt er geen aparte Programma van eisen gemaakt. De randvoorwaarden en uitgangspunten zijn zo mogelijk gekwantificeerd.

3.1 Randvoorwaarden

3.1.1 Ruimtelijke randvoorwaarden

- RR 1. In de gebieden met slappe grond moet een stabiele waterkering gerealiseerd worden.
- RR 2. De waterkering mag geen afbreuk doen aan het winterbed van de rivier, tenzij elders compenserende maatregelen worden toegepast.

3.1.2 Natuurlijke randvoorwaarden

- NR 1. De huidige en toekomstige maatgevende hoogwaters, moeten gekeerd kunnen worden, voor de periode van 2000 tot 2100, met een overstromingsrisico zoals vastgelegd in de Deltawet.
- NR 2. De levensduur van de waterkering dient minimaal 100 jaar te zijn vanaf de oplevering.

3.1.3 Technische randvoorwaarden

- TR 1. De gekozen oplossingen voor de knelpunten zullen met de hedendaagse techniek realiseerbaar moeten zijn.
- TR 2. De waterkeringen zullen het maatgevend hoogwater moeten keren, zonder daarbij stabiliteit of functie te verliezen. De waterkering mag dus niet falen (functioneel) en niet bezwijken (technisch).

3.1.4 Functionele randvoorwaarden

- FR 1. De functies die de waterkeringen in de knelpunten momenteel vervullen mogen niet afnemen, noch in kwalitatieve, noch in kwantitatieve zin. Een verschuiving in functies is, mits maatschappelijk aanvaard, wel toelaatbaar.
- FR 2. De oplossingen voor de knelpunten moeten maatschappelijk acceptabel zijn.

3.1.5 Economische randvoorwaarde

- ER 1. Indien een traditionele oplossing mogelijk is, kan een innovatieve oplossing alleen gerealiseerd worden indien dit extra baten oplevert, hetzij direct (financieel), hetzij indirect (woonomgeving, milieu).

3.2 Uitgangspunten

3.2.1 Ruimtelijke uitgangspunten

- RU 1. Er zal in deze studie uitsluitend gekeken worden naar knelpunten in het rivierengebied in de provincie Zuid-Holland, op die locaties waar er functieconflicten zijn, met name in het ruimtegebruik.
- RU 2. Er zal alleen gekeken worden naar het gebied langs de rivier, over een breedte van het huidige winterbed met de daarnaast gelegen waterkering.
- RU 3. In de gebieden met een beperkte beschikbare ruimte, zal middels zogenaamde 'uitgekiende ontwerpen', toch een waterkering gerealiseerd moeten worden.

3.2.2 Natuurlijke uitgangspunten

- NU 1. De hoogwaters die voorspeld zijn voor de komende eeuw moeten gekeerd kunnen worden. Dit betekent dat rekening moet worden gehouden met klimatologische ontwikkelingen en gevolgen van menselijk handelen.
- NU 2. De prognoses voorspellen dermate hoge afvoeren met bijbehorende waterstanden, dat de invloed van het getij in de benedenrivieren zal afnemen.
- NU 3. Het karakter van het projectgebied mag niet wezenlijk veranderen. Met name moeten de huidige LNC-waarden (waardering voor Landschap, Natuur en Cultuur) intact blijven of zelfs verbeteren.

3.2.3 Functioneel uitgangspunt

- FU 1. De te realiseren waterkering (ter plaatse van de knelpunten) moet multifunctioneel zijn, met als hoofdfunctie waterkeren.

Hoofdstuk 4. Literatuurstudie

Om een inzicht te krijgen in de context van de gesignaleerde problemen, is er gestart met een onderzoek naar kennis over de gestelde problemen. Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de kennis van medewerkers van DWV, de daar aanwezige bibliotheek en van het internet. Deze informatiebronnen verschaffen vanuit diverse gezichtspunten een kijk op de problemen, de aanpak daarvan en het beleid op nevengebieden. In dit hoofdstuk zal een aantal elementen van het onderzoek worden toegelicht vanwege de grote invloed hiervan op de studie. De samenvattingen van de overige bestudeerde literatuur zijn opgenomen in Bijlage A: Literatuurstudie.

4.1 Samenvattingen belangrijkste literatuur

4.1.1 Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'

*Provincie Zuid-Holland, Project Bruisend Water
Projectgroep Bruisend Water, Den Haag, september 1997*

Aanleiding

Het project *Bruisend water* vormt de aanleiding voor de studie naar *Innovatieve waterkeringen*. De aanleiding voor dit projectrapport is een studie naar mogelijke ontwikkelingen binnen de waterhuishouding van Zuid-Holland. De te volgen marsroute is opgedeeld in drie fasen. In de eerste wordt onderzoek verricht naar toekomstveranderingen, in de tweede fase worden thema's en scenario's beschreven op basis waarvan tot een keuze gekomen kan worden en in de derde fase wordt de langetermijnvisie en het beleid gepresenteerd. Het onderhavige rapport komt uit de tweede fase en behandelt de eerste fase.

Er is een indeling gemaakt in een korte termijn (2000-2020), een middellange termijn (2020-2050) en een lange termijn (2050-2100). Voor elke termijn wordt gekeken naar:

- Bodemdaling en klimaatverandering;
- Verouderde waterstaatkundige inrichting die om aanpassingen vraagt;
- Toenemende ruimtelijke dynamiek;
- Fysieke ontwikkeling en verandering grondgebruik.

Toekomstverwachtingen

Er is uit dit rapport vooral informatie gehaald over de verwachtingen voor de lange termijn. Van invloed zijn de bodembewegingen die tot bodemdaling leiden (beweging in verschillende lagen, kanteling, inklinking, drooglegging en volumevermindering door oxidatie). In veengebieden kan de bodemdaling oplopen tot een gemiddelde waarde van 100 cm per eeuw.

Verder wordt in dit rapport gekeken naar klimatologische veranderingen. Deze leiden tot een temperatuurverhoging, een toename van de totale neerslaghoeveelheid met 2 tot 5% en tot een toename van de neerslaghoeveelheid per bui met 5 tot 20%. Dit leidt tot een groter af te wateren volume en derhalve tot grotere rivierdebieten en een hoger MHW (Maatgevend Hoog Water).

Als derde effect wordt de zeespiegelrijzing vermeld. Deze stijging heeft invloed op de rivieren, waardoor op de langere termijn het rivierpeil zal stijgen t.o.v. het actuele peil. Verder worden veranderingen van de stormvloedfrequentie genoemd. Het rapport gaat verder in op kustgebieden, boezemgebieden en stedelijke riolering.

Conclusie

Volgens de huidige inzichten zal er de komende 100 jaar sprake zijn van toename van de neerslaghoeveelheid en van zeespiegelrijzing. Tezamen leidt dit tot een stijging van het MHW van de Nederlandse rivieren, in de orde van grootte van 60-100 cm. Daarnaast vindt in de veengebieden een daling plaats van dezelfde orde. Op deze effecten zal in het waterbeheer ingespeeld moeten worden.

4.1.2 De toestand van het klimaat in Nederland 1996

Eindredactie: G.P. Können en W. Fransen

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, juni 1996

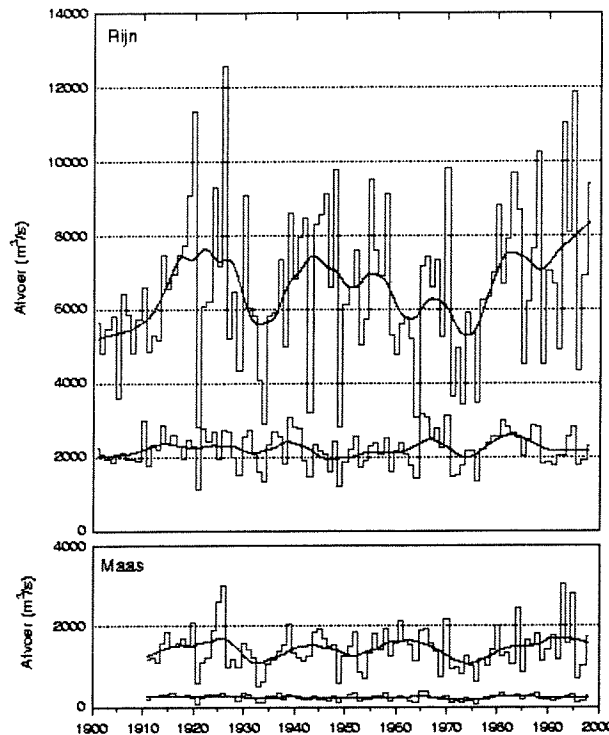
Inleiding

In het klimaatrapport wordt op basis van verzamelde data getracht een trend te ontdekken, op basis waarvan voorspellingen voor de toekomst kunnen worden gedaan. Dit is uiteraard slechts indicatief.

Klimaatvoorspellingen

Uitgaande van een bekend verondersteld verloop in de toekomstige samenstelling zijn klimaatmodellen in staat een indruk te geven van de toekomstige patronen van temperatuur- en neerslagveranderingen op zeer grote ruimtelijke schaal. Uitgaande van het gemiddelde van de emissiescenario's, luiden de meest zekere voorspellingen van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), een toonaangevend internationaal klimatologisch instituut, in het rapport van 1995 voor het klimaat halverwege de volgende eeuw als volgt:

- De wereldgemiddelde temperatuur zal in 2050 een halve graad tot twee graden hoger zijn dan in 1990, met als centrale schatting één graad Celsius.
- De grootste opwarming zal optreden boven de continenten op hoge breedten en het grootst zijn in het winterseizoen.
- Door de warmtecapaciteit van het gekoppelde land-oceaan-atmosfeersysteem ijlt de temperatuur na op de broeikasconcentratie. Hierdoor zal de temperatuur ook na eventuele stabilisatie van de concentraties na 2050 enkele tienden van graden stijgen.
- De wereldwijd gemiddelde neerslag zal in 2050 met enkele procenten toegenomen zijn, waarbij de grootste procentuele toename plaatsvindt op hoge noordelijke breedten in het winterseizoen.
- De met de temperatuurstijging geassocieerde verhoging van het wereldgemiddelde zeespiegelniveau zal in 2050 tien tot veertig centimeter bedragen, met als centrale schatting twintig centimeter.
- De temperatuurverhoging in Nederland van 0,5 tot 2 graden zal niet gelijkmatig verdeeld zijn over de seizoenen, maar in de winter waarschijnlijk iets sterker zijn dan in de zomer.
- De neerslaghoeveelheid in Nederland neemt toe, waarbij de toename zich voornamelijk concentreert in de winter. Een schatting geeft een toename van 2 tot 5 procent in de jaargemiddelde neerslaghoeveelheid.
- Situaties met langdurige, hevige winterneerslag zullen meer neerslag opleveren per regendag, een toename van 5 tot 20 procent wordt geschat.
- In de zomer zal de neerslag een buiiger karakter krijgen en in kortere tijdsintervallen vallen.



figuur 4.1: Afvoer van de Rijn te Lobith(1901-1998) en van de Maas te Borgharen (1911-1998). Voor elk jaar zijn de gemiddelde en de maximale afvoer gepresenteerd.

4.1.3 Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen. (Boertien I)

deelrapport 1: Veiligheid tegen overstromingen

deelrapport 2: Maatgevende belastingen

deelrapport 3: Constructief ontwerpen

deelrapport 4: Functies, waarden en procedures

Eindrapport

Verslag van de onderzoekscommissie onder leiding van de heer Boertien
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, januari 1993

Aanleiding

Citaat:

In de rapportage van de Commissie Boertien I wordt antwoord gegeven op de vragen van de Minister van Verkeer en Waterstaat, zoals gesteld in de brief aan de Tweede Kamer van 24 juli 1992. De drie hoofdvragen, door de minister gesteld, zijn:

- a) *Zijn er elementen in de afweging die ten grondslag liggen aan de keuze van de norm, die nu zodanig veranderd zijn dat dat zou kunnen leiden tot een andere keuze?*
- b) *Zijn er op technisch/wetenschappelijk gebied zodanig nieuwe inzichten dat die kunnen leiden tot andere uitkomsten van de berekeningen?*
- c) *Zijn er in de commentaren van de laatste tijd nieuwe elementen boven gekomen die eveneens tot een andere keuze of uitkomsten kunnen leiden en die niet in de voorgaande twee vragen zijn vervat?*

Opzet

Het rapport dat antwoord geeft op deze vragen is opgesplitst in een aantal deelrapporten. In ieder deelrapport wordt één van de hoofdaspecten behandeld. De hoofdaspecten die van

belang kunnen zijn voor het onderwerp *Innovatieve waterkeringen*:

hoofdaspect III: Constructief ontwerp.

hoofdaspect IV: Afstemming van waterkeringsfunctie van rivierdijken met andere functies en waarden.

Deelrapport 3:

In deelrapport drie is nagegaan of er bij een gegeven normstelling voor de veiligheid ontwikkelingen zijn in de inzichten en rekenmethoden, die een minder rigoureuze ingreep mogelijk maken. Het zwaartepunt van het onderzoek heeft gelegen bij twee aspecten van het uitgekend ontwerpen. Het ene aspect heeft betrekking op de berekeningswijze van belastingen en sterkte, het andere aspect is het gebruik maken van bijzondere constructies. De belangrijkste conclusies uit het rapport zijn:

- Aan de belastingkant is niet zoveel winst te boeken. Bij een waterstandsverlaging van één meter, moeten er ook nog steeds grote stukken dijk verbeterd worden. Bij de sterkteberekeningen is er winst te boeken door dijken te beperken tot het minimale profiel. Door deze berekeningswijze kunnen veel objecten op en langs de dijk gespaard worden.
- Door het op grote schaal toepassen van constructies is het mogelijk bijna alle LNC-waarden te behouden. De aanlegkosten worden ongeveer verdubbeld ten opzichte van de normale kosten.

Deelrapport 4:

In deelrapport vier wordt nagegaan of de waterkeringsfunctie van dijken beter afgestemd kan worden op de andere functies en waarden van de dijken en hun directe omgeving. De nadruk heeft gelegen op de landelijke gebieden en minder op de stedelijke. Uit de studie is duidelijk geworden dat de uitgangspunten van de Commissie Rivierdijken voor de cultuurhistorische en natuurlijke elementen bij de meeste dijkversterkingen goed gerespecteerd worden. Door het hanteren van deze elementgerichte uitgangspunten, gaat de landschappelijke waarde van een dijk nog wel vaak verloren. De dijkvakken die in bebouwd gebied liggen zijn eigenlijk niet aan de orde geweest.

Inventarisaties van LNC en sociaal-culturele waarden zouden meer gericht moeten zijn op de samenhang, dan op de elementen (losse dijk, los dorp enz.) zoals nu het geval is.

4.1.4 Handreiking Constructief Ontwerpen

*Onderzoek en berekening naar het constructief ontwerpen van de dijkversterking
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, april 1994*

Deze handreiking is een vernieuwing op de leidraden die gebruikt worden binnen het dijkbeheer. Er is een aantal wijzigingen ten opzichte van de leidraden:

Nieuwe inzichten op het gebied van constructief ontwerpen:

- piping, het niet meer automatisch toepassen van de 5-H berm \Rightarrow smallere binnenberm
- binnentalud en overslag \Rightarrow steilere taluds dan 1:3
- beheer en onderhoud grastalud \Rightarrow aangepast agrarisch beheer
- acceptatie niet-waterkerende objecten \Rightarrow beoordelingsprofiel
- bebouwing \Rightarrow beoordelingsprofiel, bijzondere constructie
- beplanting \Rightarrow beoordelingsprofiel, bijzondere constructie
- leidingen \Rightarrow leidingencode
- wegen \Rightarrow verkeersbelasting & erosie- en kwelgevoeligheid

Verder zijn er variaties ontwikkeld die een andere aanpak mogelijk maken. Maatregelen ter beperking van de omvang van de vergroting van het dwarsprofiel zijn:

- vervangen van een gedeelte van de zandkern door klei of omgekeerd
- gebruik van licht materiaal (flugsand of geëxpandeerde kleikorrels) of juist van een gewichtsberm
- toepassing van geotextielen, geogrids of zandgaren composities
- filterconstructies, ontlastsloten, kwelkaden, - schermen of regulatieschermen
- bekleding van het talud of wapening van de grasmat tegen erosie

Ook zijn er alternatieve mogelijkheden ter voorkoming van vergroting van het dwarsprofiel:

- damwanden, keermuren, gewapende grond, gabions, diepwanden en kistdammen
- beweegbare keringen

Naast uitwerking van deze punten, wordt er in deze handreiking ingegaan op "Bestaande niet-waterkerende objecten in, op en nabij de dijk". Hoewel zij vaak een negatieve invloed zullen hebben op de veiligheid, is de maatschappelijke wens groot om bij dijkversterking te pogen deze objecten te handhaven. De niet-waterkerende objecten die worden beschouwd zijn:

- bebouwing, inclusief tuintjes;
- beplanting (voornamelijk bomen);
- (nuts)leidingen;
- wegen.

In bebouwde gebieden zullen combinaties hiervan voorkomen. Van belang voor de beoordeling, is de toepassing van het zogenaamde beoordelingsprofiel. Dit profiel heeft minimaal de volgende afmetingen:

- kruinhoogte: vastgesteld bij een overslag van $\leq 0,1$ l/m/sec;
- kruinbreedte: minimaal 3m;
- buitentalud: valt samen met fysieke buitentalud;
- binnentalud: 1:2 bij kleikern, 1:4 bij zandkern;
- binnenberm: conform minimaal ontwerpprofiel.

Indien de objecten hierbuiten vallen, kunnen ze over het algemeen worden gedoogd. Binnen het profiel liggende objecten vragen om andere oplossingen, zoals het gebruik van bijzondere constructies, in het bijzonder met constructieve elementen.

Deze zaken staan alle uitvoerig beschreven in de handreiking.

4.2 Interviews en veldonderzoek

4.2.1 Verslag gesprek met dhr. ir. J.B.A. Weijers

De heer Weijers is projectmanager Steenzettingen bij de afdeling Waterkeren van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.

onderwerp: Knelpunten dijkversterkingen Zuid-Holland

Probleemgebied

De grootste problemen zitten in de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard. De bebouwing staat daar veelal direct op of aan de dijk. De bebouwing is daar vaak al oud. Dit zorgt voor extra problemen, omdat het vaak monumentale dijkhuisjes betreft. De dorpen zelf zijn te karakteriseren als borden met hoge randen. Uitbreidingen van de dorpen vonden in het verleden plaats door de bebouwing langs de dijk voort te zetten in plaats van de laaggelegen polder in.

Oplossingen dijkverhogingen.

1. Kijk alleen naar de dijk en probeer die zo goed mogelijk tussen de bestaande bebouwing door te leggen.
2. Kijk niet naar de dijk, maar naar de MHW standen. Indien die verlaagd kunnen worden, zijn dijkverhogingen voorlopig niet nodig. Er zijn een aantal manieren voor een MHW verlaging:
 - De uiterwaarden verlagen, zodat er meer m³ berging beschikbaar komt tussen de bandijken.
 - Dijken naar achteren verleggen, zodat de uiterwaarden groter worden en er meer water opgeslagen kan worden in de uiterwaarden.
 - Water uit de Waal versneld afvoeren naar de Biesbosch en het daar bergen, in plaats van in de rivier.
 - Het instellen van bassins waar tijdens het passeren van de piekafvoer een gedeelte van de hoogwatergolf geborgen kan worden. Met deze methode is een afvlakking van 500 m³/s gedurende 2 dagen mogelijk.
 - Instellen van calamiteitenpolders. Dit zijn polders die in principe gewoon gebruikt worden voor landbouw en bewoning, maar die in het geval van nood, onder water gezet kunnen worden om de top van de afvoergolf af te vlakken.

Dijkverlegging

In opdracht van de politiek is er onderzoek verricht naar de dijkverlegging. Dit bleek een haalbare kaart. Er zijn naar mening van Joop Weijers alleen wel enkele essentiële punten vergeten, waardoor het totaalplaatje niet meer klopt. Er is naar de riviertechnische aspecten gekeken, zoals de MHW verlagingen en de morfologische stabiliteit van de rivier. Er is niet gekeken naar de landelijke en maatschappelijke effecten. Indien deze ook meegenomen worden, dan is dijkverlegging zeer waarschijnlijk geen haalbaar alternatief.

Uiterwaardverlaging

Plaatselijke uiterwaardverlagingen in combinatie met dijkverhogingen zijn wel mogelijk. De dijkverbeteringen kunnen dan beperkt blijven.

Langs de Waal is dit niet echt een oplossing, omdat op veel plaatsen de uiterwaarden al ontkleed zijn voor de baksteenfabricage. De steenfabrieken zelf vormen wel een probleem, omdat ze, samen met de ontsluitingsweg naar de dijk, een puist in de uiterwaard zijn. Hierdoor ontstaat er enige opstuwing tijdens hoogwater.

Langs de Lek is het verdiepen van de rivier ook een probleem, omdat de Lek meer een grote sloot is, dan een rivier. De Lek heeft nauwelijks uiterwaarden en deze kunnen dus ook moeilijk verdiept worden. Naar de versnelde afvoer van water naar de Biesbosch wordt nog onderzoek gedaan.

Knelpunten

Enkele knelpunten in Nederland, die opgesteld zijn in het kader van het IRMA-project zijn bijgevoegd in de bijlagen. Deze knelpunten hebben voornamelijk betrekking op doorstroom beperkende objecten in de rivier, zoals dammen naar bruggen en veren, bebouwing in de uiterwaarden en dergelijke.

Alblasserwaard

De Alblasserwaard heeft het probleem dat veel oudere plaatsen op en langs de dijk liggen. Het zuidelijke deel van de polder heeft zeer slappe grond. Indien uitgegaan wordt van een MHW-verhoging van één meter, dan wordt het hele zuiden van de Alblasserwaard een probleem. Enerzijds vanwege de bebouwing, anderzijds vanwege de slappe ondergrond. Door deze slappe ondergrond is het moeilijk om grote dijkverhogingen uit te voeren. De wateroverspanningen blijven tot wel 30 jaar aanwezig.

4.2.2 Verslag gesprek met dhr. ing. R.J. Termaat

De heer Termaat is projectmanager en onderzoekscoördinator Grondmechanica bij de afdeling (Milieu) Geotechniek van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat

onderwerp: Knelpunten dijkversterkingen Zuid-Holland m.b.t. de ondergrond

Probleemgebieden

Binnen het Zuid-Hollandse rivierengebied zijn twee grote probleemgebieden te onderscheiden, met betrekking tot een slappe ondergrond. Het eerste gebied is de Alblasserwaard, het tweede gebied de Krimpenerwaard. Beide gebieden hebben een zelfde soort probleem met de slappe ondergrond. De aanpak is in het verleden in beide gebieden echter duidelijk verschillend geweest. Er is per dijkkringgebied een algemene indruk weer te geven.

Krimpenerwaard

Bij dijkversterkingen in het verleden is er voor gekozen gebruik te maken van het minimaal vereiste profiel. De dijken zijn allemaal voldoende versterkt en verhoogd om aan de normen te voldoen, maar er is geen overhoogte aangebracht, er is geen extra breedte beschikbaar en er zijn geen bermen aanwezig. Voor dijkversterkingen op de traditionele manier zijn de mogelijkheden uitgeput, dat wil zeggen op die locaties waar er slechts een beperkte hoeveelheid ruimte beschikbaar is (ten gevolge van bebouwing, ontbreken van voorland enzovoort).

Oplossingen, waarbij de ondergrond niet extra wordt belast, bestaan uit diverse mogelijkheden in het ophogen met lichtere materialen. Oplossingen die in dit kader al worden toegepast, zijn bijvoorbeeld het ontgraven van een deel van de dijk en tevens het verplaatsen van de verkeersweg van de kruin naar een binnenberm, waardoor het aandrijvend moment kleiner wordt en de stabiliteit dus toeneemt of het steiler maken van het talud, waardoor het ruimtebeslag kleiner wordt.

Het is ook mogelijk gebruik te maken van zogenaamde uitgekende constructies, zoals glazen keermuren (voorgesteld bij Lekkerkerk) of een muur van een pand waarin de waterkering is geïntegreerd (restaurant in Gorinchem).

Voor eerder genoemde problemen is men op zoek naar iets nieuws, een oplossing die onderhoudsvrij is (of tenminste onderhoudsarm) en voldoende hoog om het rivierwater voor langere tijd te keren, zodat verdere dijkversterkingen voorlopig uit kunnen blijven.

Alblasserwaard

De Alblasserwaard kent een ander soort problemen dan de Krimpenerwaard. Op veel plaatsen is in het verleden al een dijkversterking toegepast, waarbij er gekozen is voor een ruim profiel. Daardoor is de beschikbare ruimte voor dijkversterking groter dan in de Krimpenerwaard. Een probleem dat wel speelt, is de nog steeds aanwezige wateroverspanning, die veroorzaakt is door versterkingen in het verleden. Ook zijn er nog steeds wel knelpunten aan te wijzen, waar wel gewerkt is met het minimaal benodigde profiel en waar versterking dus voor problemen zorgt in ruimtelijke zin.

Verdekt probleem

De dijken worden steeds zwaarder, door de vele dijkversterkingrondes, die nodig zijn om de maaiveldverlaging te compenseren en de hogere afvoeren op te vangen. Elke verhoging brengt wateroverspanningen met zich mee, die enige tijd (soms wel 30 jaar) nodig hebben om te verdwijnen. Dankzij de vele dijkversterkingen is op veel plaatsen de wateroverspanning van de vorige dijkversterking nog niet verdwenen. De dijken voldoet dus

niet aan de veiligheidsnorm, terwijl een verdere ophoging toch al gewenst is. Dit probleem speelt bijvoorbeeld in Alblasserdam-Noord en Nieuw-Lekkerland.

Nieuwe Leidraden

Er is behoefte aan nieuwe leidraden op het gebieden van veiligheidsfactoren. Zo is de waterspanning mogelijk te beschouwen als proefbelasting voor de dijk. Verder moet in de veiligheidsfilosofie ook de levensduur worden verwerkt. Er moet ook gekeken worden naar de nog steeds aanwezige wateroverspanningen, die veroorzaakt worden door een veranderde oriëntatie van de kleiplaatjes, waardoor een kleiner contactoppervlak ontstaat. Ook kan in de berm misschien wel gewerkt worden met verticale drains.

Uitdagingen

Binnen de waterkeringen liggen nog vele uitdagingen. Zo kan er gekeken worden naar flexibele constructies (b.v. kistdammen) in plaats van de nu gebruikte diepwand, een vrij stijve en zware constructie. Ook moet er gekeken worden naar vervangingen voor dijklichamen, in de vorm van alternatieve constructies. Gedacht wordt aan vreemde vormen en alternatieve keerwanden.

4.2.3 Veldonderzoek

Inleiding

Om een indruk te krijgen van het projectgebied, is er een excursie gemaakt langs dijken van de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard, waarbij zowel Lek- als Waaldijken zijn bekeken. Van een aantal karakteristieke punten zijn fotografische opnamen gemaakt. Een uitgebreid verslag is te vinden in bijlage A: Literatuurstudie. Daarnaast zijn na de keuze voor de locaties van de casestudies nog enkele excursies hiernaartoe ondernomen. Hieronder volgt een kort verslag aangevuld met enkele karakteristieke foto's.

Alblasserwaard

Er is een duidelijk onderscheid te maken tussen de rivierkenmerken van de Waal en de Lek. De Waal is een brede rivier met, over het algemeen, brede uiterwaarden. Hoewel de waterkering niet op alle locaties op hoogte en op sterkte is, is er meestal wel een breed voorland (uiterwaard) aanwezig. De Lek is een rivier die vrijwel permanent tegen de winterdijken aan staat. Het onderscheid tussen zomerkades en winterdijken zoals bij de Waal is dan niet te maken.

Alblasserdam (Alblasserwaard)

Op deze locatie werd een dijkvak aangetroffen dat middels hekken afgesloten was voor passanten. Opvallend was, dat de kering hoger leek dan aan weerszijden van het dijkvak. Een verklaring hiervoor zou de aanwezigheid van overspannen water kunnen zijn. De ontoegankelijkheid van dit dijkvak versterkt deze opinie. Verder kan het dijkvak gekenmerkt worden als een robuuste dijk, met een lage, brede teen van stortsteen, een steil overgangsgebied van zetsteen en een redelijk steil grastalud (1:2) tot aan de vrij liggende kruin. Binnendijs is een verkeersweg aanwezig op gemeentelijk niveau. Tevens werden binnendijs enkele woningen aangetroffen, welke deels in de waterkering werden opgenomen door dijkversterkingen na de bouw ervan.

Ammerstol (Krimpenerwaard)

Een andere opvallende situatie werd aangetroffen in het stadje Ammerstol. In dit stadje liggen zowel binnendijs als buitendijs woningen. Buitendijs liggen deze op een verhoogd

voorland, binnendijks liggen deze overwegend aan de teen van het binnentalud, met name de monumentale woningen. Er zijn talrijke woningen te vinden die zodanig geplaatst zijn dat dijkversterking tot problemen kan leiden.

Ten westen van Ammerstol is een dijkvak op een innovatieve manier verbeterd (zie ook het rapport van Grondmechanica Delft over Bergambacht, Lekdijk-oost, Proefvak TAW).



foto 1: Kruin van de dijk in Alblasterdam



foto 2: Bebouwde dijk in Kinderdijk

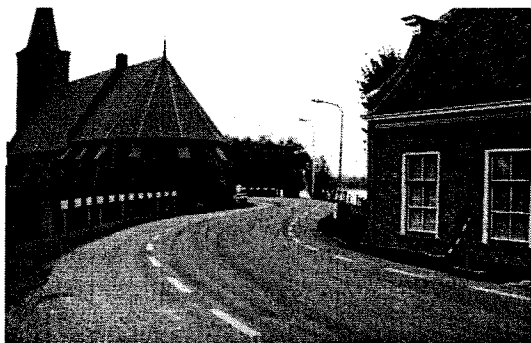


foto 3: Kerk in Tienhoven



foto 4: Dijk in Ammerstol



foto 5: Dijk in Alblasterdam



foto 6: Dijk met bebouwing in Alblasterdam

4.3 Conclusies uit de literatuurstudie

Uit het literatuuronderzoek kan een aantal conclusies getrokken worden:

1. Volgens de huidige inzichten zal er de komende 100 jaar sprake zijn van toename van de neerslaghoeveelheid en van zeespiegelrijzing. Tezamen leidt dit tot een stijging van het MHW van de Nederlandse rivieren, in de orde van grootte van 60 tot 100 cm. Daarnaast vindt in de veengebieden een daling plaats van dezelfde orde. Op deze effecten zal in het waterbeheer ingespeeld moeten worden (zie *Bruisend water*).
2. Door gebruik te maken van uitgekende ontwerpen is aan de belastingkant niet zoveel winst te boeken in het aantal te versterken dijken. Bij een theoretische waterstandsverlaging van één meter, moeten er ook nog steeds grote stukken dijk verbeterd worden. Bij de sterkteberekeningen is er winst te boeken door de dijk te beperken tot het minimale profiel. Door deze berekeningswijze kunnen veel objecten op en langs de dijk gespaard worden (zie *Handreiking Constructief ontwerpen*).
3. Door het op grote schaal toepassen van constructies is het mogelijk bijna alle LNC-waarden te behouden. De aanlegkosten worden ongeveer verdubbeld ten opzichte van de normale kosten. (zie *Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten*)
4. Er is nog geen goed beeld van de huidige stand van de dijken met betrekking tot LNC-waarden, kosten voor dijkverhoging en technische, planologische of maatschappelijke problemen (zie *Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten*).
5. In het kader van *Ruimte voor de Rivier* is men hard bezig de mogelijkheden voor rivierverruiming te onderzoeken en zo mogelijk al uit te voeren. Onderdelen hiervan zijn *Ruimte voor de Rijntakken* en *Integrale Verkenning Benedenrivieren*. Beide studies behandelen een specifiek gebied.
6. Naar aanleiding van de conclusies van de Commissie Boertien I, verwoord in *Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen*, is de aanpak van de leidraden losgelaten en wordt er voorlopig volgens de TAW-handreikingen gewerkt. Deze stellen een benadering voor vanuit het ontwikkelen van een visie, met inachtneming van de LNC-aspecten. Er wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd beoordelingsprofiel, waarbuiten niet-waterkerende objecten mogen worden toegestaan. Verder wordt er gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten en technieken, teneinde de overlast van dijkversterking, waaronder functieverlies, te minimaliseren.
7. Geokunststoffen bieden goede alternatieven en soms zelfs goedkopere oplossingen voor de traditionele wijze van dijkverbetering. Daar waar ze extra kosten met zich meebrengen, worden die vaak door een snellere aanleg weer terugverdiend. Voor een brede toepassing van geokunststoffen in dijken moet nog wel een standaard rekenmethode worden ontwikkeld (zie *Rivierdijkverbetering kan minder ingrijpend*).
8. Er kan worden vastgesteld dat voor nog te ontwerpen dijkverbeteringen het grondlichaam meestal minder omvangrijk kan zijn dan de tot nu toe ontworpen lichamen. Als hierdoor LNC-waarden kunnen worden gespaard, liggen er mogelijkheden om deze uit te voeren. Indien een optimaal ontworpen grondlichaam de LNC-waarden niet kan sparen, is er de mogelijkheid tot het toepassen van bijzondere constructies (zie *Bestaande leidraden zijn vaak niet toereikend*).
9. De aanpak van een integrale rivierbeheersing, met daarin opgenomen de resultaten van de studies en oplossingen van de afgelopen periode, is mogelijk indien er voldoende financiële ruimte voor geschapen wordt (zie *Brede rivieren vragen om brede visie*).
10. Door de relatieve zeespiegelstijging neemt de capaciteit van de uitwateringssluizen en gemalen af. Om wateroverlast te beperken zijn meer en grotere gemalen nodig. Een minimale capaciteit van 1.000 m³/s (totaal) lijkt dan wenselijk om Nederland droog te houden. Ondanks het vaker sluiten van de stormvloedkeringen, dringt de invloed van de zeespiegelstijging door in het benedenrivierengebied tot Gorinchem en Hagestein. Om hier de veiligheid op peil te houden zullen de waterkeringen verbeterd moeten worden en zal de afwatering moeten worden aangepast (zie *Waterbeheer anno 2100*).

11. Er zijn in Sliedrecht, Kampen en Dordrecht waterkeringen ontworpen, die multifunctioneel zijn en aansluiten op de waardering van de LNC-aspecten. De projecten kunnen als leidraad dienen voor nieuwe projecten (zie *Proefproject dijkverbetering Sliedrecht*, *Project Waterkering Kampen* en *Waterkering Dordrecht*).
12. Uit gesprekken bleek dat met name de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard probleemgebieden zijn. Er is hier sprake van een slappe ondergrond, intensieve bebouwing en grote invloed van zeespiegelrijzing en bodemdaling (zie *Verslag gesprek met ing. R.J. Termaat*).
13. Het behoud van LNC-waarden is nu teveel gericht op de losse componenten van de waterkering, er moet meer naar de samenhang worden gekeken. Door het richten op aparte elementen en stukjes dijk gaat de karakteristieke eenheid van het dijklandschap verloren (zie *Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen* en *Integrale Verkenning Benedenrivieren*).
14. Het ontwerp van een waterkering of dijkverbetering wordt nog altijd benaderd vanuit het veiligheid en waterkeringaspect. Een integrale benadering met als uitgangspunt ook het behoud van nevenfuncties wordt nog niet standaard toegepast.
15. Beheersmatig zal er een omslag nodig zijn om een multifunctionele waterkering mogelijk te maken. Onder multifunctioneel wordt verstaan een verscheidenheid aan functies die door, op of in de waterkering worden vervuld. In de huidige situatie wordt gestreefd naar een waterkering waarvan het minimale profiel vrij is van vreemde elementen.

Hoofdstuk 5. Probleem- en functieanalyse waterkeringversterking

In dit hoofdstuk zal worden een probleemanalyse worden uitgevoerd met betrekking tot de knelpunten bij dijkversterkingen in het algemeen. Verder zal er specifiek gekeken worden naar de projectgebieden. Er zal een waterkeringanalyse gemaakt worden, waarin wordt aangegeven aan welke eisen een waterkering moet voldoen. Er zal tot slot een inventarisatie worden gemaakt van de functieconflicten en deze zullen worden ingedeeld in karakteristiek functiecombinaties.

5.1 Probleemanalyse dijkversterking

5.1.1 Inleiding

Een goede probleemanalyse is essentieel voor het project *Innovatieve waterkeringen*. In de literatuurstudie is duidelijk geworden tot welk punt men momenteel gekomen is met het toepassen van constructies bij waterkeren. Eén van de conclusies, die uit het literatuuronderzoek getrokken kan worden, is dat er altijd uitgegaan wordt van de functie waterkeren. Geprobeerd wordt om die functie in ieder geval zeker te stellen en pas daarna wordt er gekeken naar andere functies van de waterkering. De centrale benadering van de functie waterkeren levert nog al eens conflicten op met de overige functies. De verschillende nevenfuncties van een waterkering zullen achterhaald moeten worden, alsmede de reden van een conflict. Indien duidelijk is welke functiecombinaties botsen en waarom, kan begonnen worden met het zoeken naar een oplossing.

Er moet nagegaan worden welke functiebotsingen er plaatsvinden, indien in de beschouwde gebieden een dijkverzwaring of -verhoging uitgevoerd moet worden. De uit te voeren verbeteringen zullen significant zijn, omdat er uitgegaan wordt van een MHW-verhoging van één meter. Een aantal van de geïnventariseerde functies zal komen te vervallen bij uitvoering van een traditionele dijkverbetering. Naast de functieconflicten zullen de technische kanten van de dijkverbetering ook beschouwd moeten worden. Wat voor technisch problemen (ondergrond, piping, overslag e.d.) zijn er te verwachten bij een MHW-verhoging van één meter?

5.1.2 Te beschrijven gebieden

De gebieden die in de probleemanalyse onder de loep genomen worden, moeten een afspiegeling zijn van de probleemgebieden die er in Zuid-Holland voorkomen (zie paragraaf 2.1 Opdrachtformulering).

In Nederland komen voornamelijk drie soorten riviersystemen voor:

- onbedijkte rivier
- bedijkte rivier met stroomvoerende geul, uiterwaarden en bandijken
- bedijkte rivier met bandijken langs de stroomvoerende geul

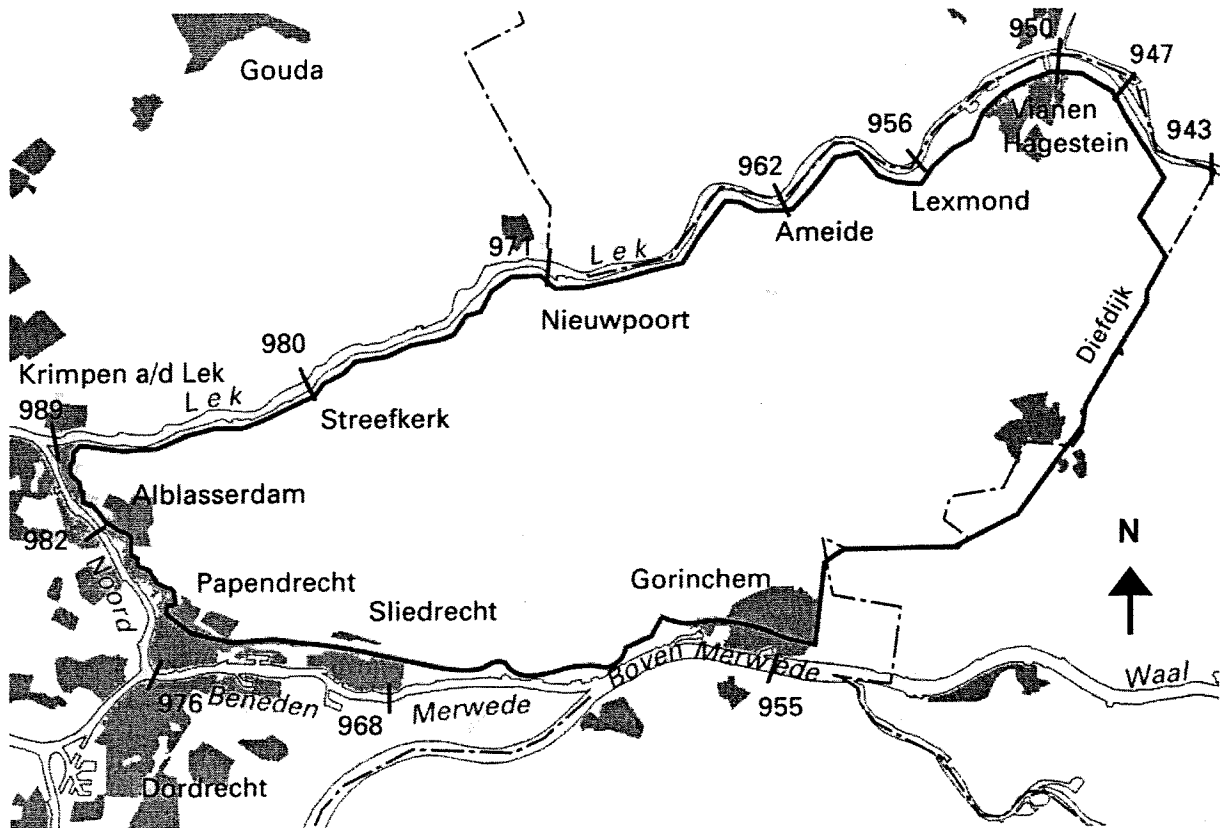
De Maas in Limburg is een voorbeeld van een onbedijkte rivier, maar is niet relevant voor het project "innovatieve waterkeringen" en zal ook niet verder in beschouwing genomen worden. De Waal (benedenstrooms: Boven Merwede en Beneden Merwede) is een rivier, die over grote lengte voldoet aan het Nederlandse beeld van een rivier: stroomvoerende geul, kade, uiterwaarden en bandijken. De Lek is over grote lengte meer te vergelijken met een sloot. De stroomvoerende geul wordt ingesloten door de bandijken. Er zijn langs de rivier geen uiterwaarden.

De gebieden die in ieder geval bekeken worden, zijn de Alblasserwaard en Krimpenerwaard. De Alblasserwaard grenst aan de zuidkant aan de Boven en Beneden Merwede en aan de noordkant aan de Lek. De Krimpenerwaard grenst aan de zuidkant aan de Lek en de Nieuwe Maas. Beide polders liggen in Zuid-Holland, hebben meerdere

bebouwingsconcentraties langs en op de dijken en hebben een groot pakket klei en veen in de bodem zitten. De Alblasserwaard en de Krimpenerwaard zijn daarmee redelijke afspiegelingen van de gezochte probleemgebieden.

5.1.3 Alblasserwaard

De Alblasserwaard is een polder, die ligt tussen de Beneden en Boven Merwede en de Lek (zie figuur 5.1). De Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden vormen samen één dijkkringgebied. De polder ligt in het benedenrivierengebied, in de provincie Zuid-Holland. Het gemiddelde maaiveldniveau ligt op N.A.P. -2 tot -1 m.



figuur 5.1: Het dijkkringgebied Alblasserwaard⁴ (schaal 1:250.000)

Infrastructuur

De Alblasserwaard wordt doorkruist door twee grote verbindingswegen. Parallel aan de Beneden Merwede en de dijk loopt de A15 (Rotterdam-Nijmegen). De A15 is één van de achterlandverbindingen van de Rotterdamse haven. Van noord naar zuid wordt de polder doorkruist door de A27 (Breda-Hilversum). Deze autosnelweg dient voornamelijk als verbinding tussen Utrecht en Noord-Brabant. Behalve deze twee autosnelwegen lopen er nog enkele regionale verbindingswegen door de Alblasserwaard.

Bebouwing

Grote bebouwingsconcentraties zijn te vinden langs de Waaldijk en de dijk langs de Noord. Langs de Waaldijk (van oost naar west) liggen de plaatsen Gorinchem, Boven-Hardinxveld en Beneden-Hardinxveld en Papendrecht. Aan de dijk langs de Noord liggen Alblasserdam en Kinderdijk. In het noordoosten, langs de Lek, ligt Vianen. In de rest van de polder zijn veel kleine woningconcentraties aanwezig, maar geen grote steden. De

⁴ Dijkkringgebied 15 van Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft september 1996, pag. 54

bebouwingsconcentraties langs de dijken zijn karakteristiek voor de polders in het benedenrivierengebied. Deze vorm van bebouwen wordt aangeduid met de term lintbebouwing. De lintbebouwing komt niet alleen voor op de grotere schaalniveaus. Veel dorpen en steden zijn ontstaan langs de dijk en hebben zich later landinwaarts uitgebreid. Deze ontginningsmethode is ontstaan in de beginperiode van de dijkenbouw. Het wonen op en langs de dijk had het voordeel dat men bij een dijkdoorbraak (niet uitzonderlijk in die periode) direct bij de hoge gebieden, de dijk, zat. Tegenwoordig is het wonen op en langs de dijk vooral aantrekkelijk vanwege het uitzicht of het woongevoel. Het wonen in een dijkhuis geeft veel mensen extra woongenot.

Grondgebruik

Het grondgebruik in de polder is voornamelijk agrarisch. De belangrijkste agrarische activiteit is veeteelt. Het grootste deel van de landbouwgrond is dan ook in gebruik als weiland.

Waterhuishouding

De waterhuishouding in de polder wordt geregeld met een aantal gemalen en uitwateringssluizen. Karakteristieke peilen zijn het polderpeil, het zomerpeil en het winterpeil. Voor de waterhuishouding in de polder is gebruik gemaakt van een aantal natuurlijke waterstromen. Deze waterstromen zijn oude riviertakken en zij lopen op verschillende plaatsen door de polder. Het netwerk is verder verfijnd met allerlei kunstmatige watergangen.

Waterkeringen

Afgezien van de Diefdijk, die een scheidingsdijk tussen twee dijkkringgebieden vormt, zijn de waterkeringen van de Alblasserwaard primaire waterkeringen. Voor de Alblasserwaard geldt een overstromingsrisico van 1/2000 per jaar. Voor de dijken langs de Beneden en Boven Merwede, de Noord en de Lek is dit om te rekenen naar een MHW, dat veilig gekeerd moet kunnen worden. De drie waterlopen hebben ieder een eigen karakteristiek voor de vorm, frequentie en hoogte van de hoogwatergolf. Door deze verschillen zijn de maximaal te keren waterhoogte en hoogwaterduur verschillend en daarmee dus ook de eisen die aan de waterkeringen gesteld worden. De hoogwatergolf in de Beneden en Boven Merwede geeft de grootste belasting op de waterkering rond de Alblasserwaard.

5.1.4 Krimpenerwaard

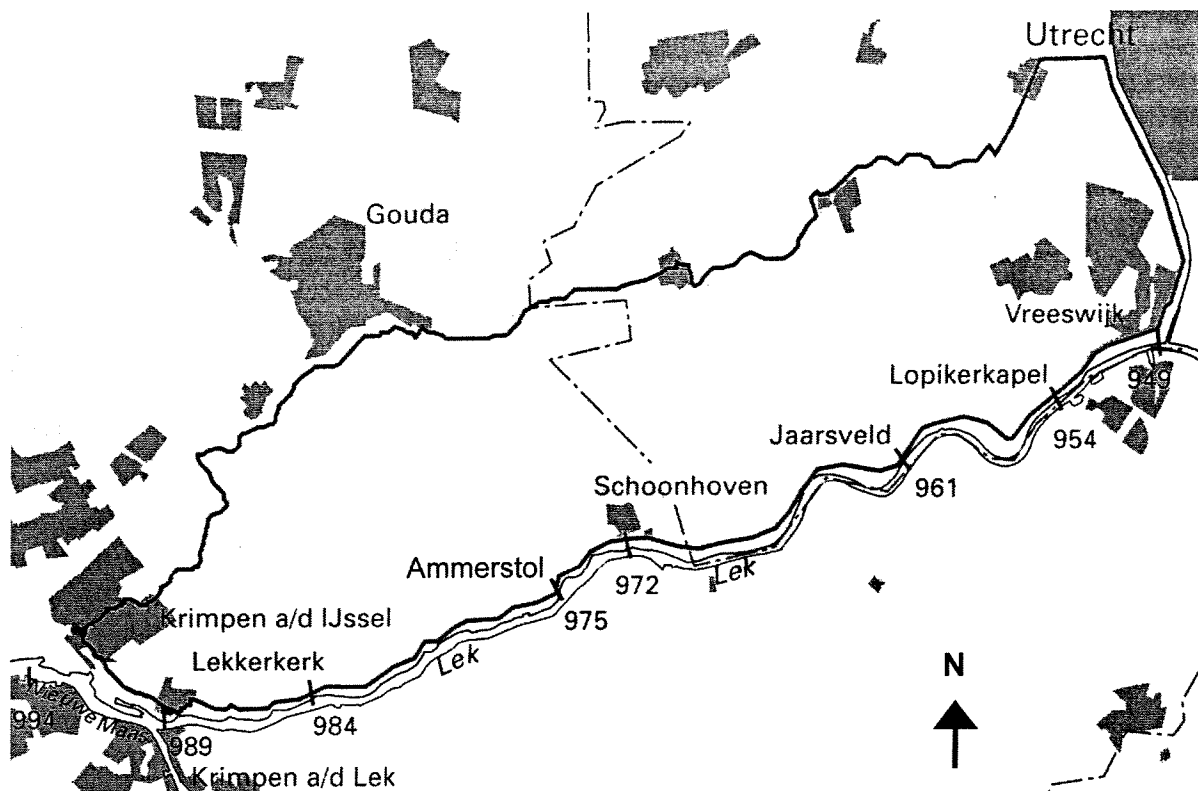
De Krimpenerwaard is een stuk kleiner dan de Alblasserwaard. De Krimpenerwaard vormt samen met de Lopikerwaard een dijkkringgebied. De Krimpenerwaard grenst in het zuiden aan de Lek en de Nieuwe Maas, in het westen aan de Hollandsche IJssel (zie figuur 5.2). De Hollandsche IJssel is in tegenstelling tot de Lek geen buitenwater en daardoor worden er andere eisen gesteld aan de waterkering

Infrastructuur

De hoofdinfrastructuur in de Krimpenerwaard bestaat uit twee grote regionale verbindingswegen. De N210 loopt van west naar oost door de polder en de N207 loopt van noord naar zuid. Verder is er nog een aantal wegen van lokaal belang.

Bebouwingsconcentraties

In de Krimpenerwaard zijn drie grotere bebouwingsconcentraties aanwezig. Langs de Lek liggen Schoonhoven en Krimpen aan de Lek, Krimpen aan den IJssel ligt langs de Hollandsche IJssel, vlak bij de samenvloeiing met de Nieuwe Maas. De overige plaatsjes liggen her en der verspreid langs de dijk en in de polder. De bebouwingsconcentraties liggen, net als in de Alblasserwaard, langs de dijk. Ook in de Krimpenerwaard is de bebouwingsvorm te karakteriseren als lintbebouwing.



figuur 5.2: Het dijkringgebied Krimpenerwaard⁵ (schaal 1:250.000)

Grondgebruik

Het grondgebruik van de Krimpenerwaard komt overeen met dat van de Alblasserwaard. Het is voornamelijk agrarisch met een zwaartepunt bij de veeteelt. De meeste grond is in gebruik als weiland.

Waterhuishouding

De waterhuishouding in de polder wordt kunstmatig geregeld. De grondwaterstand wordt met behulp van een aantal gemalen en uitwateringssluizen op peil gehouden. In de polder is één natuurlijke waterstroom aanwezig, de Vlist. Voor de ontwatering zijn veel kunstmatige watergangen aangelegd, die zich kenmerken door lange rechte stukken en rechthoekige aansluitingen.

Waterkeringen

De Krimpenerwaard heeft alleen in het zuiden, langs de Lek en de Nieuwe Maas, primaire waterkeringen. Bij Krimpen aan de Lek is de Hollandse IJssel door een stormvloedkering afgesloten van het buitenwater en daardoor zijn de dijken langs de Hollandse IJssel geen primaire waterkeringen. De waterkeringen langs de Lek van de Krimpenerwaard en de Alblasserwaard blijken onderling verschillen te vertonen, ondanks dat ze te maken hebben met dezelfde hoogwaterbelasting. De kans op overstromen van het dijkringgebied is in de Deltawet vastgesteld op 1/2000 per jaar.

⁵ Dijkkringgebied 15 van Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft september 1996, pag. 54

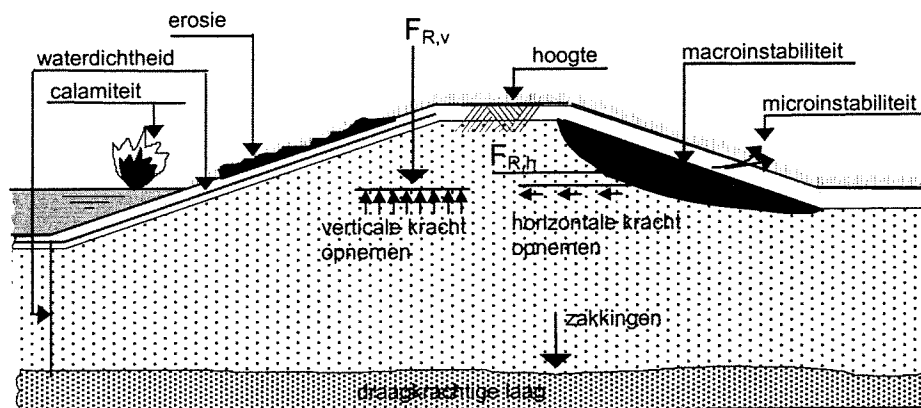
5.2 Waterkeringanalyse

Een waterkering heeft als functie het veilig keren van een bepaalde waterstand. Ten behoeve van deze functie moet de waterkering aan een aantal eisen voldoen. Deze eisen gelden ook voor de nieuw te ontwikkelen oplossingen voor een multifunctionele waterkering. De technische eisen die gesteld worden aan het functioneren van een waterkering hebben betrekking op (zie figuur 5.3):

1. de hoogte van de waterkering
2. de stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig
3. de sterkte van de constructie
4. de waterdichtheid van de kering

Daarnaast wordt ook nog een aantal eisen gesteld aan de kering met de omgeving:

5. de levensduur van de kering
6. inspectiemogelijkheden
7. onderhoudsmogelijkheden
8. uitvoeringseisen



figuur 5.3: Enige aandachtspunten in de waterkering.

ad 1: Hoogte

De hoogte van de waterkering wordt bepaald door de maximaal te keren waterhoogte (MHW), de golfoploop en de verwachte bodemdaling. Hier bovenop wordt nog een extra hoogte meegenomen t.b.v. de veiligheid, de waakhogte genoemd. Al deze elementen worden uitgedrukt in een hoogte. De waterkering moet minimaal de som van deze waarden hebben, de kruinhoogte genoemd.

ad 2: Stabiliteit

Voor een waterkering is het van belang, dat de stabiliteit gewaarborgd is. Een waterkering mag onder invloed van zijn eigen gewicht of de belastingen die er op uitgeoefend worden niet verplaatsen, afschuiven of kantelen. Dit stelt eisen aan de waterkering zelf en aan de ondergrond.

Van belang hiervoor is met name het eigen gewicht van de constructie. Dit eigen gewicht kan leiden tot vervormingen in de ondergrond of in de kering zelf, waardoor de waterkering geheel of gedeeltelijk kan bezwijken. Ook de externe belastingen die op de kering staan kunnen de stabiliteit van de kering negatief beïnvloeden. Naast de macrostabiliteit moet ook naar de microstabiliteit gekeken worden. Hieronder valt ook de erosiebestendigheid van de kering.

ad 3: Sterkte

Naast de stabiliteit dient de waterkering zelf een zodanige sterkte te hebben, dat de belastingen die er op de waterkering komen te staan, kunnen worden weerstaan. De belastingen op de waterkering zijn te verdelen in vijf groepen:

1. De belastingen veroorzaakt door de constructie zelf, zoals het eigen gewicht.
2. De belastingen veroorzaakt door het water en de wind. De belastingen bestaan deels uit statische belastingen, afkomstig uit de waterstand en grondlichamen en deels uit dynamische belastingen zoals de golfaanval, stromingen en windvlagen.
3. De belastingen veroorzaakt door het bedoeld nevengebruik van de waterkering. Hierbij wordt gedacht aan belastingen door verkeer, gebouwen enz., maar ook aan belastingen die voortkomen uit het gebruik van de waterkering, zoals water- en grondspanningen.
4. De belastingen veroorzaakt door calamiteiten zoals verzakkingen, aanvaringen, onbedoeld nevengebruik enz.
5. De belastingen die optreden door chemische belastingen. Bij staal kan dat corrosie zijn, bij hout rotting, bij rubber uitloging enzovoort.

In sommige gevallen zullen de randvoorwaarden die afkomstig zijn uit de tweede groep, hoge eisen stellen aan de constructie.

ad 4: Waterdichtheid

Een voor de hand liggende functie van de waterkering is de waterdichtheid. Afhankelijk van de hoeveelheid lekwater en kwelwater die er opgevangen kan worden, worden er eisen gesteld aan de hoeveelheid water die er door en over een waterkering heen mag komen en aan de hoeveelheid die er onderdoor mag komen. Een waterkering is natuurlijk nooit helemaal waterdicht, de mate waarin het water wordt tegengehouden kan wel verschillen.

ad 5: Levensduur

Elke constructie wordt ontworpen voor een bepaalde periode waarover deze normaal gesproken mee moet gaan. De levensduur van een constructie wordt bepaald door de opdrachtgevers en ontwerpers. Het is gebruikelijk om voor een waterkering een langere levensduur te nemen (bijv. 100 jaar) dan voor een woning (bijv. 25 jaar). De levensduur bepaalt de periode waarin het object zijn functie moet vervullen. De levensduur van materialen kan langer zijn dan van de complete constructie, waardoor een constructie soms aangepast kan worden in plaats van gesloopt en vervangen (bijvoorbeeld: grondlichamen hebben een vrijwel onbeperkte levensduur, hoewel ze als waterkering niet meer voldoen vanwege nieuwe eisen met betrekking tot de hoogte)

ad 6: Inspectiemogelijkheden

Voor een goede controle van een waterkering is het noodzakelijk dat er regelmatig een inspectie uitgevoerd kan worden, om te controleren of er onverwachte schade aan de waterkering is. Dit betekent dat de waterkering relatief eenvoudig bereikbaar moet zijn, of dat er alternatieven gevonden worden om metingen te kunnen verrichten.

ad 7: Onderhoudsmogelijkheden

Eventuele schade aan een waterkering, die naar voren komt bij een inspectie, moet hersteld kunnen worden, zodat het functioneren van de kering gewaarborgd kan worden. Voor het uitvoeren van reparaties is het noodzakelijk dat de waterkering bereikbaar is. Ook zal er met enige regelmaat klein onderhoud moeten plaatsvinden. Afhankelijk van de constructie kan dit bestaan uit maaien van het gras, verven van het hout of metaal of soortgelijk onderhoud. De locatie van de waterkering, op de grens van nat naar droog, zorgt voor een grote chemische belasting.

ad 8: Uitvoeringseisen

Eén van de belangrijkste eisen aan een ontwerp is of de uitvoering van de waterkering te realiseren is tegen redelijke kosten in een redelijke tijd. Tijdens het uitvoeren van verbeteringswerken aan een waterkering, zijn er eisen aan de minimale veiligheid die er geboden moet worden tegen overstromingen. Indien een waterkering geheel vervangen wordt, dient er een noodkering aanwezig te zijn. In het hoogwaterseizoen, de periode van 15 oktober tot 15 april, mogen er geen werkzaamheden aan de waterkering uitgevoerd worden en moet deze de in de wet vastgelegde veiligheidsnorm hebben.

5.3 Ruimtelijke conflictsituaties

5.3.1 Inleiding

Van belang voor het onderkennen van conflictsituaties is de afbakening van het functieconflict. In deze studie wordt de volgende definitie aangehouden:

Functieconflicten: Een functieconflict is een situatie waarbij door een dijkversterking één of meerdere van de huidige gebruiksmogelijkheden van de waterkering geheel of gedeeltelijk verloren gaan.

Uit deze definitie valt op te maken dat bij een functieconflict in de nieuwe situatie dus niet meer dezelfde invulling aan de functie gegeven kan worden als voorafgaand aan de verandering.

In de ruimtelijke ontwerpfase zal er gezocht worden naar algemene oplossingen voor bepaalde functieconflicten. Voor het maken van deze algemene ontwerpen zal het nodig zijn de functieconflicten die optreden bij een dijkversterking te karakteriseren. Om het overzicht te behouden over de vele unieke situaties, zullen de problemen teruggebracht moeten worden tot een beperkt aantal karakteristieke schematisaties.

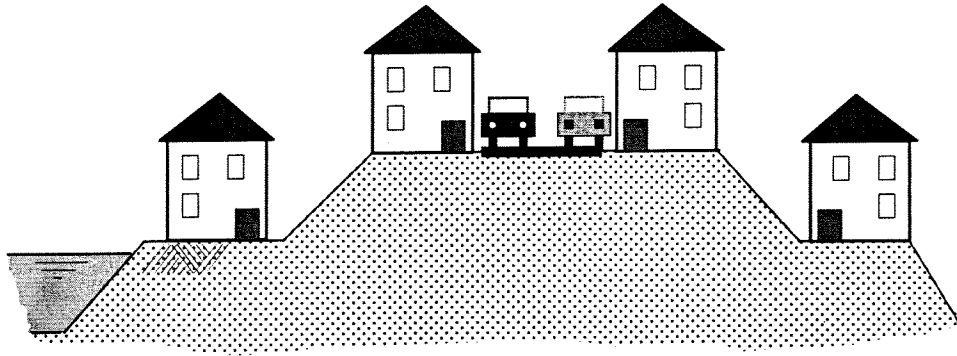
Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke conflicten. Deze conflicten zijn geordend terug te vinden in de Bijlage B: Probleem- en functieanalyse waterkeringversterkingen. In dit rapport zijn alleen de karakteristieke functieconflicten opgenomen.

5.4 Karakteristieke functiecombinaties

Een aantal functies hebben min of meer dezelfde invloed op de waterkering. Teneinde tot een aantal karakteristieke profielen te komen, zullen er functies gecombineerd worden. Enkele functies zijn duidelijk minder algemeen voorkomend dan andere en zullen niet nader bekeken worden. Na de combinatie en eliminatie zijn er vier karakteristieke functiecombinaties overgebleven, waarmee verder wordt gewerkt.

5.4.1 Functiecombinatie I: Waterkeren en wonen

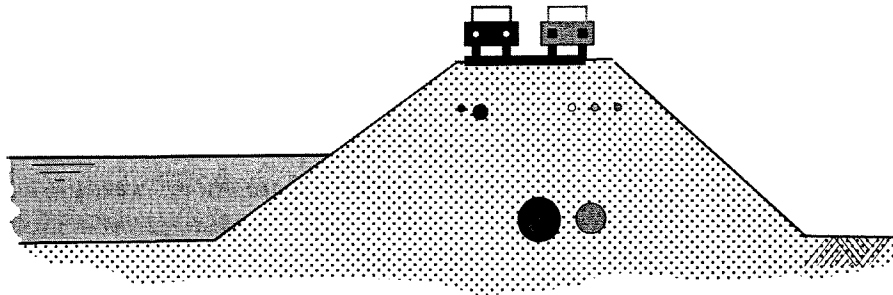
In het huidige profiel is sprake van een waterkering met daarop bebouwing met de functie "wonen". In geval van een traditionele dijkversterking zou de bebouwing moeten worden gesloopt. Er zal in de gewenste situatie sprake zijn van een versterkte waterkering in combinatie met een "woonfunctie" (zie figuur 5.4).



figuur 5.4: Waterkering en wonen

5.4.2 Functiecombinatie II: Waterkeren en transport

In het huidige profiel ligt over de waterkering een weg en lopen er kabels en leidingen door de dijk. Bij traditionele versterking zou deze moeten verdwijnen. De gewenste situatie is een waterkering gecombineerd met een transportfunctie (zie figuur 5.5).



figuur 5.5: Waterkeren en transport

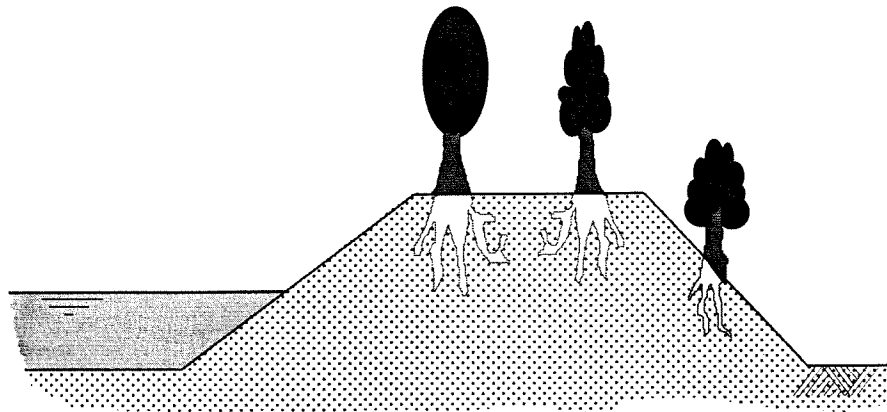
5.4.3 Functiecombinatie III: Waterkeren en natuur

In het huidige profiel is de waterkering een belangrijke plaats voor flora en fauna. Bij een versterking zou deze, hetzij tijdelijk, hetzij permanent, moeten verdwijnen. Gewenst is een situatie waarbij de waterkering haar natuurfunctie kan behouden of zelfs versterken, zonder regelmatig verstoord te worden.

Ook op het gebied van natuur is moeilijk één situatie als karakteristiek te beschouwen. Om toch te werken met karakteristieke situaties, zijn twee situaties gekozen.

Dijk begroeid met bomen.

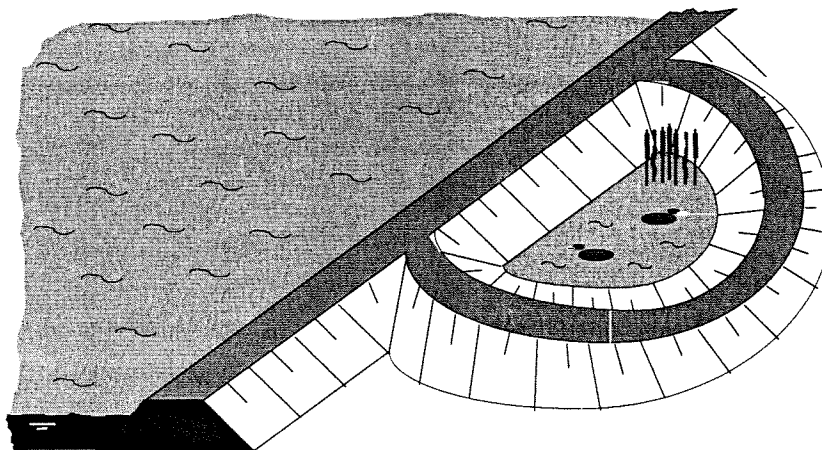
In een aantal gevallen is de dijk begroeid met bomen. Dit is over het algemeen een situatie met waardevolle natuur, zodat deze gehandhaafd moet blijven. Afgezien van de technische bezwaren die er zijn tegen bomen op een dijk, is een dijkverzwaring in deze situatie een hachelijke zaak, zeker als het gaat om een grote aanpassing. Gewenste situatie is een verhoging waarbij de natuur (bomen) kan blijven (zie figuur 5.6).



figuur 5.6: Dijk begroeid met bomen

Wiel achter waterkering.

Op enkele plaatsen zijn er, door dijkdoorbraken in het verleden, waterpartijen achter de waterkering ontstaan. Deze wielen zijn tegenwoordig vaak rijk aan natuur. Bij een traditionele dijkverzwaring, waarbij het binnentalud aangepast wordt, gaan deze wielen geheel of gedeeltelijk verloren. Gewenste situatie is een versterking waarbij het wiel behouden kan blijven (zie figuur 5.7).



figuur 5.7: Wiel achter waterkering

5.4.4 Functiecombinatie IV: Waterkeren en historie

In het huidige profiel is sprake van een waterkering die een historisch-culturele functie heeft of waarop een monumentaal gebouw of kunstwerk aanwezig is. Bij een dijkversterking op de traditionele wijze zou ofwel waterkering en/of de bebouwing gesloopt moeten worden, ofwel gebruik moeten worden gemaakt van een bijzondere constructie.

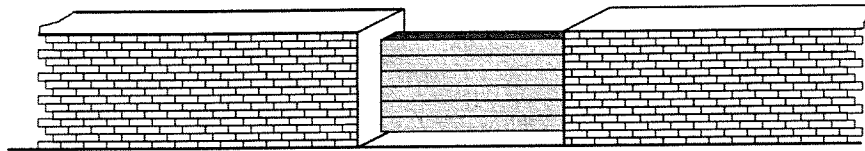
Wenselijk is een versterking waarbij de bebouwing intact kan blijven, zonder dat de eenheid van de waterkering behoeft te worden aangetast. Ook de landschappelijke waarde valt hieronder, de huidige dijk heeft een belangrijke landschappelijke waarde en vormt een verbindend landschapselement. In de gewenste situatie zou dit ook moeten gelden. Een voorwaarde hiervoor is dat de waterkering één geheel vormt.

Op het gebied van historie is er niet één situatie als karakteristiek te beschouwen, omdat het vaak individuele probleemsituaties betreft. Om toch te werken met karakteristieke situaties, zijn twee situaties gekozen die als representatief mogen worden beschouwd.

Coupure

Een coupure is een toegangspoort in de vestingwerken, die nog dikwijls in gebruik is als toegangsmogelijkheid voor het verkeer. In de coupures zitten meestal handbediende

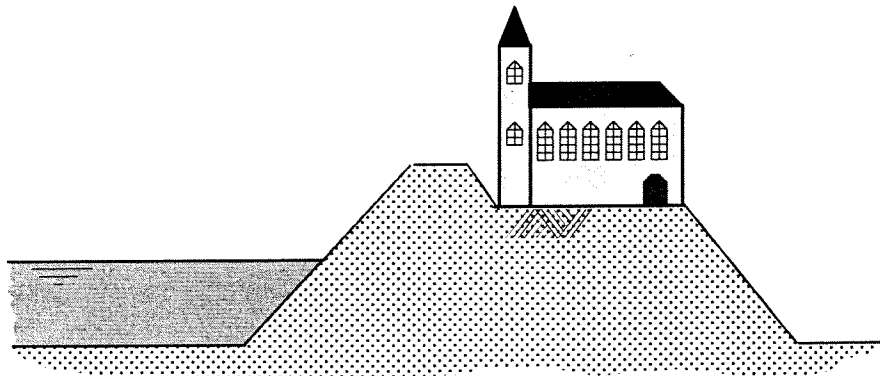
waterkeringwerken (schotbalken), die nauwelijks waterdicht zijn. Bovendien vertonen de coupures bij hoogwater dikwijls onder- en achterloopsheid. Deze elementen in combinatie met het monumentale karakter geven problemen bij een dijkversterking (zie figuur 5.8).



figuur 5.8: Coupure

Historische bebouwing.

Op of in de nabijheid van een waterkering is soms monumentale bebouwing aanwezig. Deze monumenten zijn bij wet beschermd en moeten bij een dijkverzwaring dus gespaard worden. Het gevolg is dat er rondom een dergelijk monument een bijzondere constructie toegepast moet worden, om het gewenste veiligheidsniveau voor de waterkering te halen (zie figuur 5.9).



figuur 5.9: Historische bebouwing

5.4.5 Overige functies

In combinatie met alle voorgaande conflictsituaties komt een tweetal functies voor, de dragende en funderingsfunctie van de ondergrond. Problemen met de ondergrond komen voor bij alle bedoelde functiecombinaties in Zuid-Holland en zijn dus opgenomen in de randvoorwaarden.

De functies die de waterkering in dwarsrichting doorsnijden, de dwarstransportfuncties, zullen naar verwachting een niet al te groot probleem opleveren, omdat het gaat om een afgebakend blok in de te verbeteren waterkering. Dit blok heeft weinig tot geen invloed op de rest van de waterkering. De functies die aangegeven zijn onder overige functies zullen ook niet meegenomen worden in de functiecombinatie, omdat het geen éénduidige, algemeen voorkomende situaties betreft.

Hoofdstuk 6. Principeoplossingen innovatieve waterkering

6.1 Inleiding

Het ontwikkelen van een innovatieve waterkering gebeurt aan de hand van een combinatie van waterkeren met een andere functie. In het vorige hoofdstuk (functie- en probleemanalyse) is aangegeven welke functiecombinaties het meest voorkomen en in aanmerking komen om verder uitgewerkt te worden. In dit hoofdstuk worden voor de volgende vier, eerder genoemde, karakteristieke functiecombinaties oplossingen gecreëerd:

1. waterkeren en wonen
2. waterkeren en transport
3. waterkeren en natuur
4. waterkeren en historie

Om voor deze karakteristieke functiecombinaties oplossingen te vinden, zijn twee brainstormsessies georganiseerd. De eerste brainstormsessie had als deelnemers alleen de twee samenstellers van dit rapport. Na analyse van de uitkomsten van deze sessie, is besloten een tweede brainstormsessie te organiseren. Deelnemers hieraan waren twee medewerkers van het Waterbouwkundig Innovatief Steunpunt (WIS), twee medewerkers van de afdeling Geotechniek van DWW en een student Bouwkunde, onder leiding van de twee afstudeerders. De afdeling WIS is een samenwerkingsverband tussen de Bouwdienst en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, beide specialistische diensten van Rijkswaterstaat. De afdeling Geotechniek is een onderdeel van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.

De uitkomsten van deze brainstormsessies zijn gepresenteerd in Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen. De oplossingen zijn gesorteerd naar het waterkeringprincipe, omdat dit achteraf de meest overzichtelijke indeling bleek. Er zijn elf verschillende groepen gevonden, waarbij binnen een groep het waterkeringprincipe min of meer constant is. De bundeling heeft plaatsgevonden op basis van de waterkerende elementen. Daarnaast hebben ook de mogelijkheden voor invulling van nevenfuncties meegespeeld.

Indien er een indeling zou worden gemaakt zuiver op waterkeringprincipe zijn er vier basisoplossingen te onderscheiden:

1. De waterkering wordt verzorgd door een slecht doorlatend grondlichaam.
2. De waterkering wordt verzorgd door een vaste, harde constructie.
3. De waterkering wordt verzorgd door een harde constructie in combinatie met grond.
4. De waterkering wordt verzorgd door een beweegbare constructie.

In de volgende tabel wordt op een kwantitatieve manier weergegeven hoe functionele en constructieve oplossingen kunnen worden gecombineerd. De tellingen zijn afgeleid uit de oplossingen zoals die gepresenteerd zijn in Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen. In deze tabel wordt inzichtelijk gemaakt welke oplossingcombinaties aantrekkelijk zijn. Er wordt uitgegaan van een waterkeringverbetering in combinatie met een nevenfunctie. De functie wordt gecombineerd met de constructie. Er wordt in deze tabel geen rekening gehouden met eventueel vrijkomende functieruimten ten gevolge van het vervallen van de oude waterkering. In paragraaf 6.2 zal bij de analyse van de oplossingen wel met de vrijkomende ruimten rekening gehouden worden. Deze worden aangegeven als mogelijke functieruimten.

tabel 6-1: Combinatie functionele en constructieve oplossingen

Constructie	Functie			
	Wonen	transport	natuur	historie
Grondlichaam	xxxxxxx	xxxx	xxxxxxxxxxxx	xxx
Harde constructie	xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx	xx	xxxxx
Combinatie grond/harde constructie	xxxxx	xx	x	xx
beweegbare constructie	xx	xxxx	xx	xxx

Vervolgens zijn alle waterkering geanalyseerd conform de eisen gesteld in de waterkering-analyse (paragraaf 5.2).

6.2 Principeoplossingen

De elf principeoplossingen zijn in de volgende subparagrafen schematisch weergegeven, waarbij aandacht is besteed aan de volgende punten:

tabel 6-2: Aandachtpunten principeoplossingen

Waterkering:	De manier waarop het water wordt gekeerd.
Waterdichtheid	De manier waarop de constructie waterdicht is gemaakt.
Mogelijke Nevenfuncties:	De mogelijke nevenfuncties van de waterkering naast het waterkeren
Aanpassing:	De wijzigingen aan de huidige dijk om tot de nieuwe waterkering te komen.
Krachtsafdracht:	De wijze waarop de krachten die op de kering werken worden afgedragen naar de ondergrond.
Nevenmogelijkheden:	De functies die vervuld kunnen worden naast de nevenfunctie.
Uitvoering:	De manier waarop de waterkering gerealiseerd kan worden.

Deze vier basisoplossingen (alternatieven) zijn terug te vinden in de elf principeoplossingen (varianten) zoals die zijn gedefinieerd in dit hoofdstuk. Omdat naast de waterkering bij het ontwerp vooral de mogelijkheden voor nevenfuncties van belang zijn geweest, is er voor gekozen uit te gaan van elf verschillende principeoplossingen. Elke principeoplossing is uniek in de combinatie van waterkering en nevenfuncties.

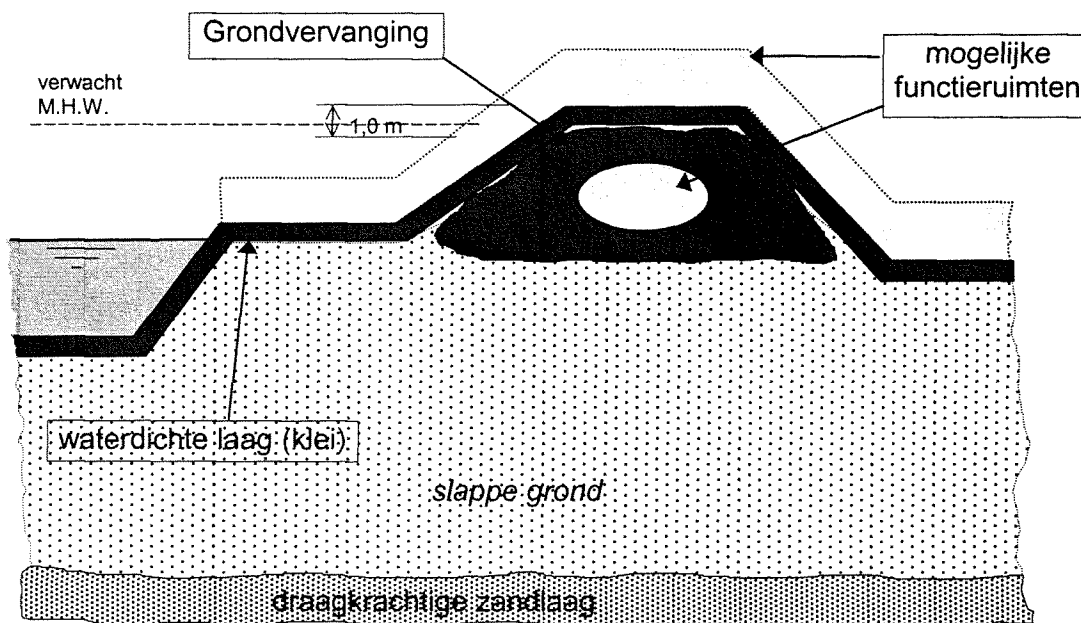
Om tegemoet te komen aan de variaties in waterkeringprincipes, hebben alle principeoplossingen een code gekregen, waarbij het Romeinse cijfer duidt op de waterkering en de letter op de variatie binnen de invulling van de nevenfuncties.

De volgende paragraaf is een samenvatting van alle oplossingen, uitwerkingen en analyses zoals die gemaakt zijn en compleet terug te vinden zijn in Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen.

6.2.1 Principeoplossing I-a: Dijk met aangepaste ophoging

De waterkering bestaat uit een dijk. Op en in de dijk kunnen mogelijkheden voor nevenfuncties worden gecreëerd. Mogelijk nevenfuncties op de dijk zijn: bebouwing in op te richten bebouwingen, transport over aan te leggen wegen of natuur. Mogelijke functies in de dijk zijn: transport in aan te leggen buizen. De constructies van de waterkering en de nevenfuncties zijn dus gescheiden.

Waterkering:	Dijklichaam.
Waterdichtheid	Bekleding van het dijklichaam (klei).
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bebouwing in bebouwing op de dijk. • Transport over weg op de dijk of door buizen in de dijk. • Natuurontwikkeling op grondlichaam.
Aanpassing:	De dijk wordt verhoogd met relatief licht ophoogmateriaal. De functies die daarbij verloren gaan, worden opnieuw in, naast of op de dijk ingevuld.
Krachtsafdracht:	De belastingen van het water en de nevenfuncties worden opgenomen door het grondlichaam en overgebracht naar de ondergrond. Om zettingen te voorkomen wordt de ophoging gerealiseerd zonder extra gewicht toe te voegen (d.w.z. vervanging door lichter materiaal of grondbesparing).
Nevenmogelijkheden:	Bij bebouwing op de dijk: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk (bijv. wandelpromenade). • Transport door de waterkering (in tunnelbuis). • Natuur op de dijk.
	Bij transportfunctie op de dijk: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk. • Transport door de waterkering of bebouwing erop. • Natuur op de dijk.
	Bij natuurfunctie: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatieverkeer langs de nieuwe waterkering.
Uitvoering:	De ophoging kan plaatsvinden door ophogen met lichter materiaal, waarbij de toplaag tijdelijk wordt verwijderd om vervolgens te worden teruggeplaatst. Ook kan een gedeeltelijke afgraving in een bouwkuip met plaatsing van kokers in het grondlichaam en vervolgens herbouw een optie zijn.

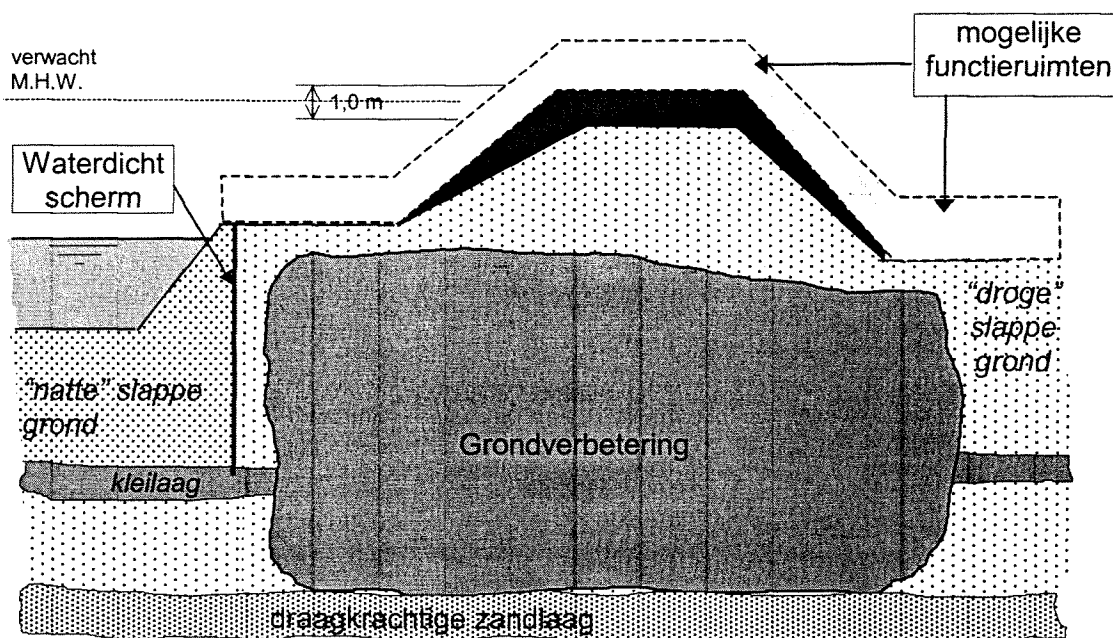


figuur 6.1: Dijk met aangepaste ophoging

6.2.2 Principeoplossing I-b: Dijk met verbeterde ondergrond

De waterkering bestaat uit een dijk. Op en in de dijk kan ruimte voor nevenfuncties worden gecreëerd. Mogelijk nevenfuncties op de dijk zijn: bewoning in op te richten bebouwingen, transport over aan te leggen wegen of natuur. De constructies van de waterkering en de nevenfuncties zijn dus gescheiden.

Waterkering:	Dijklichaam.
Waterdichtheid	Bekleding van het dijklichaam.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning in bebouwing op de dijk. • Transport over weg op de dijk. • Natuurontwikkeling op grondlichaam.
Aanpassing:	De dijk wordt verhoogd. De functies die daarbij verloren gaan, worden opnieuw naast of op de dijk opgebouwd. Dankzij de verbeterde ondergrond, is het mogelijk de taluds steiler en hoger op te zetten, waardoor het ruimtebeslag niet toeneemt.
Krachtenafdracht:	De belastingen van het water en de nevenfuncties worden opgenomen door het grondlichaam en overgebracht naar de ondergrond. Om zettingen te voorkomen wordt de ondergrond verbeterd.
Nevenmogelijkheden:	Bij bebouwing: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk. • Natuur op de dijk.
	Bij transportfunctie: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk. • Bebouwing op de waterkering. • Natuur op de dijk.
	Bij natuurfunctie: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatieverkeer langs de nieuwe waterkering.
Uitvoering:	De grondverbetering kan uitgevoerd worden door middel van injectie van bijvoorbeeld grout of chemisch reactant. Ook een afgraving binnen een bouwkuip met grondvervanging is een mogelijkheid. Er moet dan wel een waterdicht vlies of scherm worden geplaatst. De ophoging kan ook plaatsvinden door onderhogen met behulp van groutinjecties of door een traditionele ophoging, waarbij de toplaag tijdelijk wordt verwijderd om later te worden teruggeplaatst.

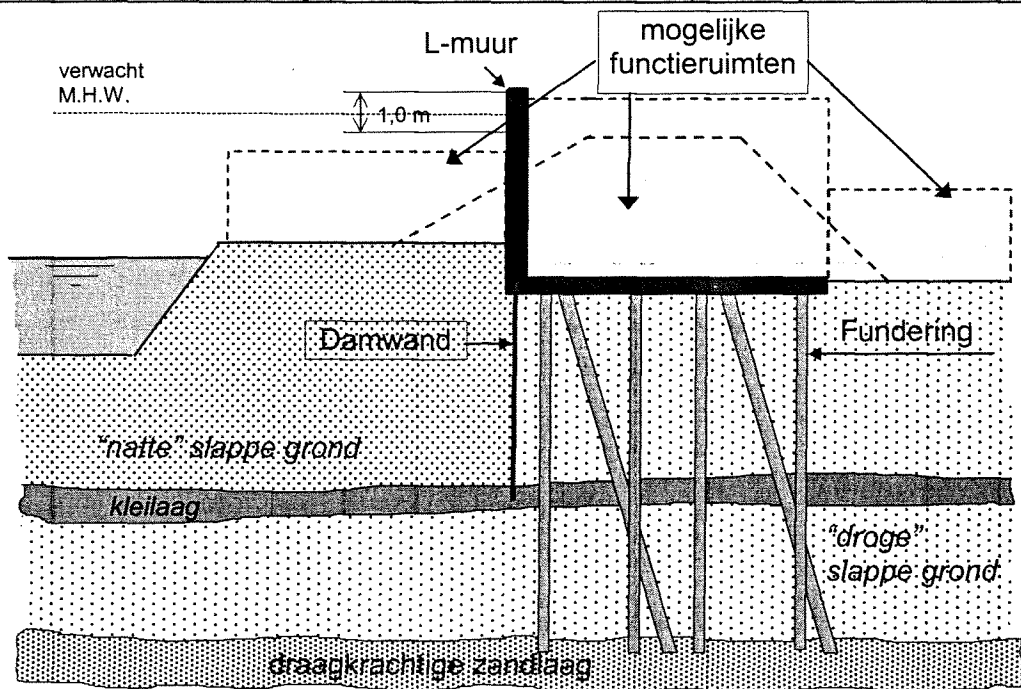


figuur 6.2: Dijk met verbeterde ondergrond

6.2.3 Principeoplossing II-a: L-muur

De waterkering bestaat uit een L-muur, gefundeerd op palen, in combinatie met een damwandscherm. Op de voet van de L-muur kan aan nevenfuncties invulling worden gegeven. Mogelijke nevenfuncties zijn: bewoning in op te richten bebouwingen, transport over aan te leggen wegen of natuur op een aan te leggen grondlichaam. De constructies van de waterkering en de nevenfuncties zijn dus gescheiden.

Waterkering:	L-muur.
Waterdichtheid	Waterdichte L-muur met daaronder waterdichte damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning in bebouwing op de L-muur. • Transport over weg op de voet van de L-muur. • Natuurontwikkeling op grondlichaam op de L-muur.
Aanpassing:	De dijk wordt (gedeeltelijk) vervangen door een L-muur met fundering.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit L-muur via paalfundering naar de ondergrond, verticaal via heipalen, horizontaal via schoorpalen. Van invloed is verder de belasting op de L-muur.
Nevenmogelijkheden:	<p>Bij bebouwing:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Parkeerfunctie in of onder de bebouwing. • Transportfunctie onder de bebouwing door. • Transportfunctie over de bebouwing heen. • Recreatie op de bebouwing. • Aanleg van talud ter verbetering gezicht vanaf de rivier en natuurfunctie. <p>Bij verkeersfunctie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aanleg van meerdere transportniveaus (lagen). • Aanleg van talud ter verbetering van natuurfunctie. • Recreatieverkeer t.p.v. voormalige dijk. <p>Bij natuurfunctie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatieverkeer langs de nieuwe waterkering.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt het kwelscherm ingehaald, waarna de waterkering wordt afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden geheid en vervolgens de L-muur worden gestort. De bebouwing kan aangepast worden nadat de bouwkuip is verwijderd.

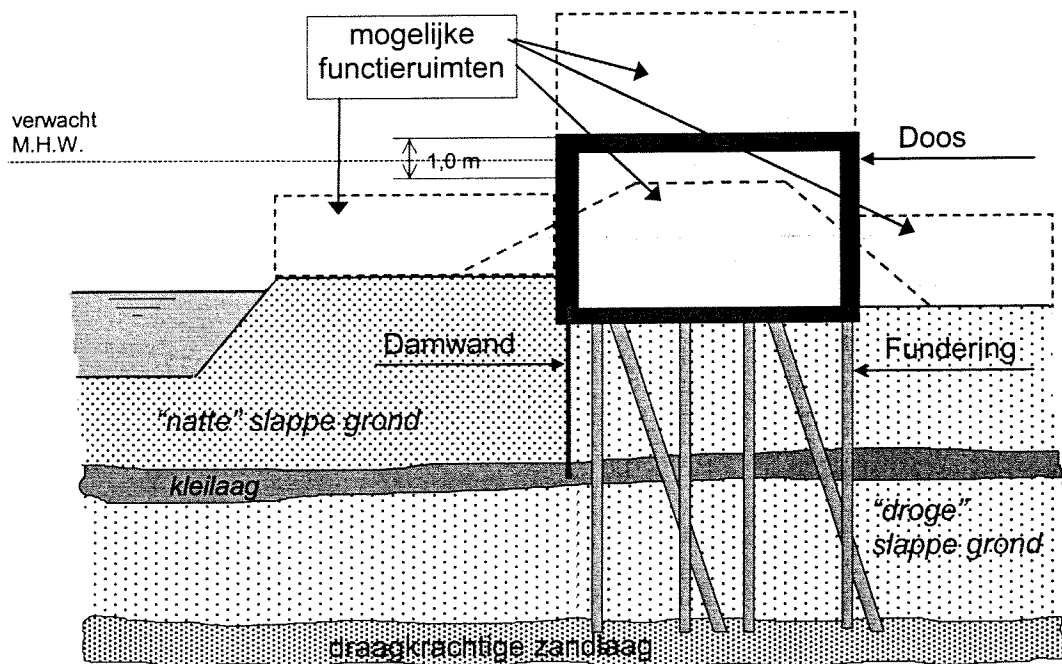


figuur 6.3: L-muur met functieruimte

6.2.4 Principeoplossing II-b: Doos

De waterkering bestaat uit een doos, gefundeerd op palen of op staal, in combinatie met een damwandscherm. Zowel binnen de doos, als op de doos is ruimte voor nevenfuncties. Mogelijke nevenfuncties **in** de doos zijn bewoning en transport (tunnelbuis), mogelijke nevenfuncties **op** de doos zijn: bewoning in op te richten bebouwing, transport over aan te leggen wegen of natuur op een aan te leggen grondlichaam. De constructies van de waterkering en de nevenfuncties kunnen geïntegreerd zijn.

Waterkering:	Doos.
Waterdichtheid	Waterdichte doos met daaronder waterdichte damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning binnen of op de doos. • Transport in of over de doos. • Natuurontwikkeling op grondlichaam op de doos.
Aanpassing:	De dijk wordt (gedeeltelijk) vervangen door een doos met fundering.
Krachtenafdracht:	Overgebracht vanuit de stijve doos via paalfundering naar de ondergrond, verticaal via heipalen, horizontaal via schoorpalen. Van invloed is verder de belasting veroorzaakt door de nevenfuncties in en op de doos.
Nevenmogelijkheden:	Bij bewoning: <ul style="list-style-type: none"> • Parkeerfunctie in of onder het gebouw. • Transportfunctie elders binnen de doos. • Transportfunctie over de doos heen. • Recreatie of natuur op de doos (op grondlichaam).
	Bij verkeersfunctie: <ul style="list-style-type: none"> • Woonfunctie elders binnen de doos. • Woonfunctie op de doos. • Aanleg van meerdere transportniveaus (lagen). • Recreatie of natuur op de doos.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt het kwelscherm ingehaald, waarna de waterkering wordt afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden gehaald en vervolgens kan de doos worden gestort. Afhankelijk van de functieinvulling kan deze daarna geplaatst worden. Ook kan een eventueel grondlichaam erop of eroverheen gestort worden.

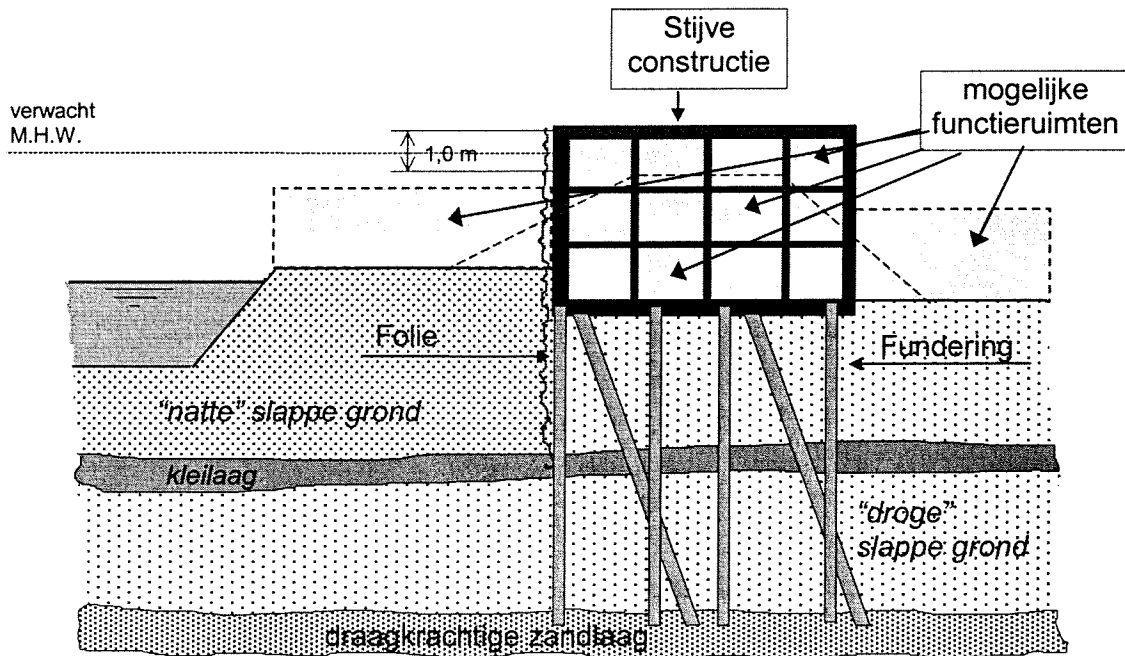


figuur 6.4: Doos met functieruimten.

6.2.5 Principeoplossing II-c: Folieconstructie

De waterkering bestaat uit een folie. Het folie is waterdicht, maar neemt geen krachten op, deze worden opgenomen door een constructie, die is gefundeerd op palen. Binnen de constructie kunnen nevenfuncties worden vervuld, zoals bewoning. De waterkering en de nevenfuncties zijn geïntegreerd.

Waterkering:	Folie (of damwand).
Waterdichtheid	Waterdicht folie of waterdichte damwand.
Nevenfunctie:	Bewoning binnen de constructie.
Aanpassing:	De dijk wordt vervangen door een stijve constructie met fundering en waterdicht folie.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit de stijve constructie via paalfundering naar de ondergrond, verticaal via heipalen, horizontaal via schoorpalen.
Nevenmogelijkheden:	Bij bewoning: <ul style="list-style-type: none"> • Parkeerfunctie in of onder het gebouw.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt folie aangebracht, of door middel van afgraving (bij folie) of door inheien van een kwelscherm (bij damwand), waarna de waterkering wordt afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden geheid en vervolgens kan de stijve constructie worden gestort. Binnen dit raamwerk kunnen de nevenfuncties worden vervuld, deze kunnen in de toekomst gewijzigd worden, maar het stijve raamwerk dient intact te blijven.

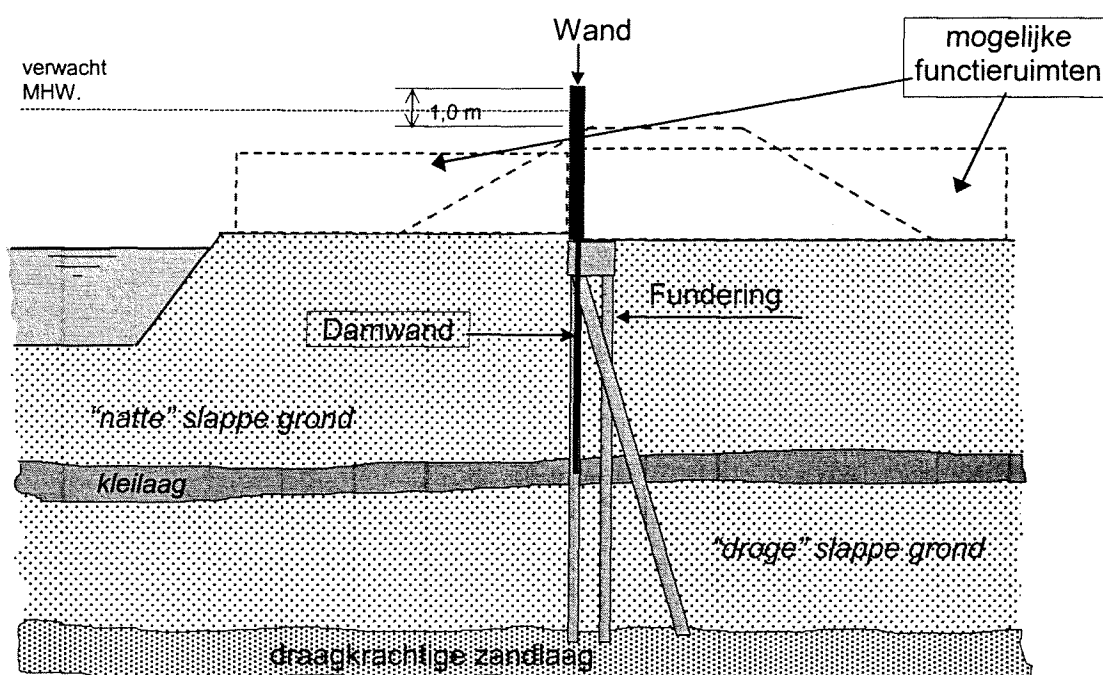


figuur 6.5: Geïntegreerde constructie met waterdicht folie.

6.2.6 Principeoplossing II-d: Wand

De waterkering bestaat uit een (doorzichtige) wand, gefundeerd op palen, in combinatie met een damwandscherm. De wand kan onderdeel uitmaken van een gebouw of als zelfstandige wand fungeren. Voor en achter de wand kunnen nevenfuncties worden vervuld. Mogelijk nevenfuncties zijn: bewoning in op te richten bebouwingen, behoud van bestaande bebouwing, transport over aan te leggen wegen, recreatie of natuur. De constructies van de waterkering en de nevenfuncties kunnen dus zowel gescheiden als geïntegreerd zijn.

Waterkering:	Wand.
Waterdichtheid:	Waterdichte wand met daaronder waterdichte damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning in bebouwing achter de wand. • Transport over weg achter de wand. • Natuurontwikkeling of recreatie voor de wand. • Handhaving van historische bebouwing
Aanpassing:	De waterkering wordt (gedeeltelijk) vervangen door of aangevuld met een wand met fundering.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit de wand via paalfundering naar de ondergrond. Verticaal gebeurt dit via heipalen, horizontaal via schoorpalen.
Nevenmogelijkheden:	<p>Bij losstaande wand:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bewoning of transport achter en recreatie of natuur voor de wand. • Behoud van historische bebouwing. <p>Bij geïntegreerde wand in constructie of gebouw:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatieverkeer t.p.v. voormalige dijk.
Uitvoering:	Indien de wand in plaats van de waterkering wordt geplaatst, moet de wand in een bouwkuip worden gemaakt. Deze kan de waterkering vervangen tijdens de bouw en fungeert dus als tijdelijke waterkering. In de bouwkuip worden de hei- en schoorpalen geheid. Er wordt hierop in-situ een betonfundering gemaakt. Hierop wordt een raamwerk van staal, beton of kunststof gemaakt, waartussen doorzichtige platen (glas of plexiglas) worden geplaatst. Het geheel wordt met kit (bijv. siliconenkit) waterdicht gemaakt. Na voltooiing kan de bouwkuip worden verwijderd en kan een invulling worden gegeven aan de nevenfuncties.

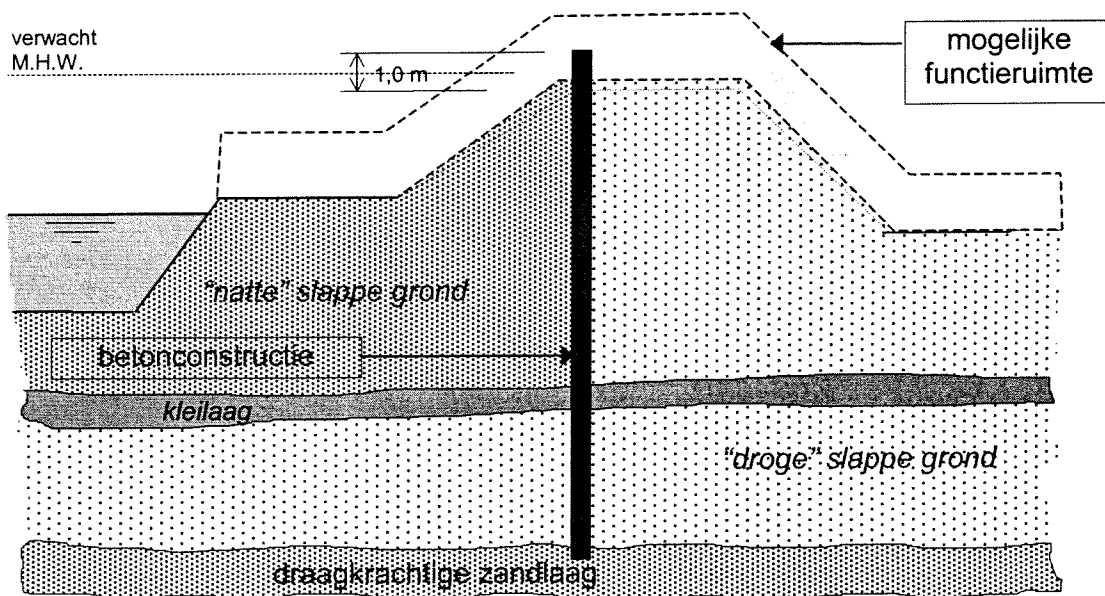


figuur 6.6: Waterkerende doorzichtige wand

6.2.7 Principeoplossing III-a: Diepwand

De waterkering bestaat uit een element van beton, bijvoorbeeld een diepwand. Voor de krachtsafdracht en stabiliteit heeft de constructie een grondlichaam nodig. Op de dijk of betonconstructie kunnen nevenfuncties worden ingevuld. Mogelijk nevenfuncties op de dijk zijn: bebouwing in op te richten bebouwingen, transport over aan te leggen wegen of natuur.

Waterkering:	Betonconstructie in dijklichaam.
Waterdichtheid	Diepwand
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bebouwing in bebouwing op de dijk of constructie. • Transport over weg op de dijk of door buizen in de dijk. • Natuurontwikkeling op grondlichaam.
Aanpassing:	De betonconstructie wordt aangelegd in het grondlichaam van de huidige dijk en heeft een hoogte die voldoet aan de eisen. De functies die daarbij eventueel verloren gaan kunnen opnieuw op de dijk worden opgebouwd, de meeste functies kunnen intact blijven.
Krachtsafdracht:	De belastingen van het water worden opgenomen door de betonconstructie. De horizontale belasting wordt overgebracht op het grondlichaam, de verticale belasting wordt overgebracht naar de ondergrond, omdat de constructie rechtstreeks is gefundeerd op de draagkrachtige laag.
Nevenmogelijkheden:	<p>Bij bebouwing:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk. • Natuur op de dijk. <p>Bij transportfunctie op de dijk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie op de dijk. • Bebouwing op de dijk. • Natuur op de dijk. <p>Bij natuurfunctie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatieverkeer langs de nieuwe waterkering.
Uitvoering:	Op de plaats van de betonconstructie wordt een sleuf gegraven tot aan de draagkrachtige zandlaag, waarbij de omliggende grond stabiel wordt gehouden doordat de sleuf wordt gevuld met betoniet. In de sleuf wordt een stalen wapening geplaatst, waarna de sleuf wordt gevuld met beton. Op die manier ontstaat een wand van gewapend beton. Op de wand kan een losse bovenbouw worden geplaatst.

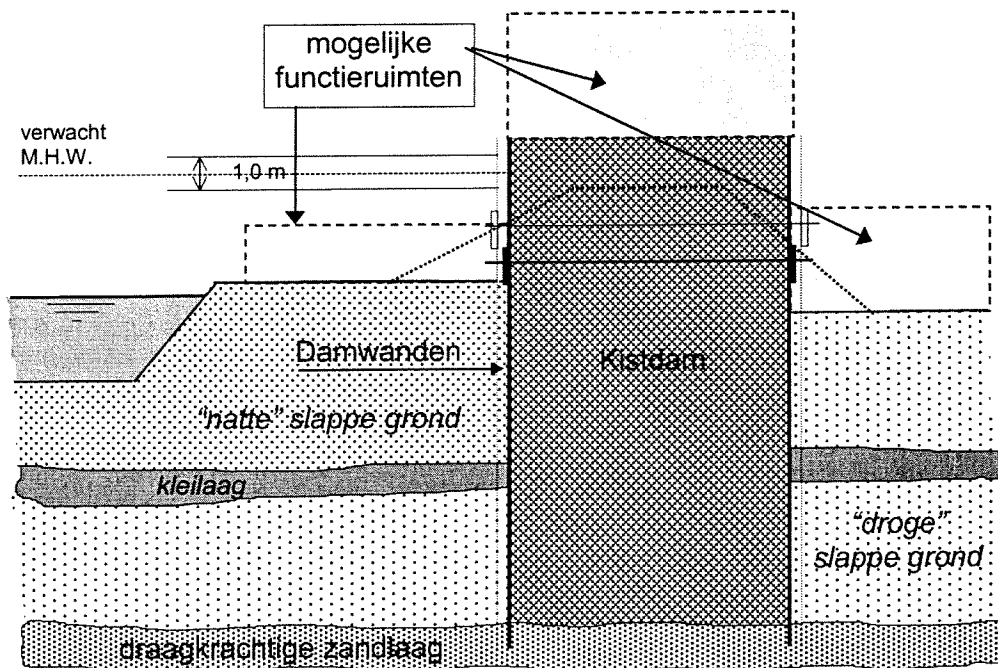


figuur 6.7: Diepwand

6.2.8 Principeoplossing III-b: Kistdam

De waterkering bestaat uit een dam, opgebouwd uit twee damwanden met daartussen grond (zand). De voorste damwand houdt water tegen en ontleent zijn stabiliteit aan de achterliggende grond, in combinatie met ankers, die verbonden zijn met de achterste damwand. De damwanden zijn geheid tot in de draagkrachtige laag. Op de dam kunnen nevenfuncties worden gecreëerd. Mogelijk nevenfuncties zijn: bewoning in op te richten bebouwing of transport over aan te leggen wegen. Daarnaast is het ruimtebeslag een stuk minder, waardoor er naast de dam ruimte is voor nevenfuncties.

Waterkering:	Kistdam.
Waterdichtheid	Damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning op de kistdam. • Transport over de kistdam.
Aanpassing:	De dijk wordt vervangen door een kistdam.
Krachtsafdracht:	De horizontale krachten die op de kistdam worden uitgeoefend, worden door de damwanden en de grond naar de draagkrachtige laag overgebracht.
Nevenmogelijkheden:	Bij bewoning: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie of natuur op taluds naast de kistdam. • Transport of bewoning naast de kistdam.
	Bij verkeersfunctie: <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie of natuur op taluds naast de kistdam. • Transport of bewoning naast de kistdam.
Uitvoering:	Er worden twee damwanden geheid in het bestaande dijklichaam. De bovenste laag wordt afgegraven, waarna er ankers worden geplaatst. Vervolgens wordt de grond tussen de damwanden aangevuld met zand. Tenslotte kunnen de taluds worden afgegraven, indien deze niet gebruikt worden ter camouflaage van de damwanden of voor natuurontwikkeling.

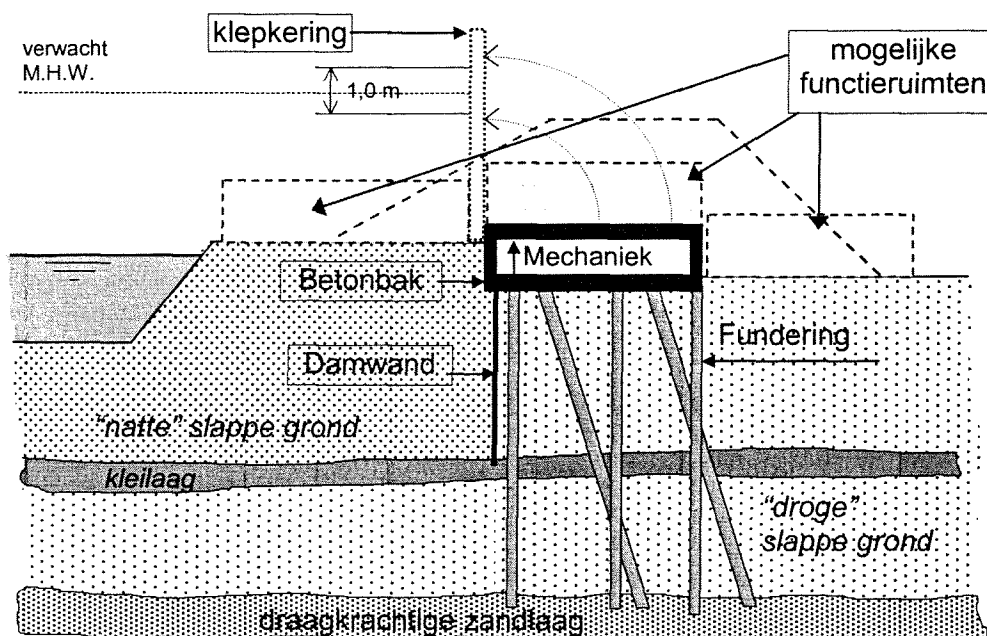


figuur 6.8: Kistdam.

6.2.9 Principeoplossing IV-a: Klepkering

De waterkering bestaat uit een klep die in het verticale vlak geroteerd kan worden vanuit een horizontale naar een verticale positie, in combinatie met een damwandscherm. Deze klep wordt gesteund door een bak van beton, gefundeerd op palen. Op de klep is ruimte voor (tijdelijke) functies, zoals transport of zelfs natuur. Voor en achter de klep kunnen nevenfuncties worden vervuld. Mogelijk nevenfuncties zijn: bewoning, transport, behoud van historische bebouwing achter de klep en recreatie of natuur voor de klep. Het voordeel van de klepkering is dat deze bij laag water geen fysieke of visuele barrière vormt.

Waterkering:	Klep in combinatie met damwand.
Waterdichtheid	Waterdichte klep met daaronder waterdichte damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning in bebouwing achter de klep. • Transport over de klep of achter de klep. • Historische bebouwing onder de klep (klep is flexibel opzetstuk). • Natuurontwikkeling of recreatie op of voor de klep.
Aanpassing:	De dijk wordt vervangen door een klepkering met fundering of de klep wordt op een bestaande waterkering gemonteerd.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit klep via betonbak en paalfundering naar de ondergrond. Verticaal kan dit via heipalen, horizontaal via schoorpalen.
Nevenmogelijkheden:	Bij bebouwing achter de klep: <ul style="list-style-type: none"> • Transportfunctie (verkeer) over de klep heen. • Recreatie en/of natuur voor de klep.
	Bij verkeersfunctie over de klep: <ul style="list-style-type: none"> • Bewoning achter de klep. • Recreatie en/of natuur voor de klep.
	Bij historische bebouwing onder de klep: <ul style="list-style-type: none"> • Natuur voor de klep. • Recreatieverkeer langs de nieuwe waterkering.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt het kwelscherm ingehheid, waarna de waterkering kan worden afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden geheid en vervolgens kan de funderingsbak voor de klepkering worden gestort. Als laatste kan de klep met bewegingsmechaniek worden geplaatst. Dit bewegingsmechaniek kan hydraulisch of pneumatisch zijn of door middel van contragewichten en motor of vjzels functioneren.

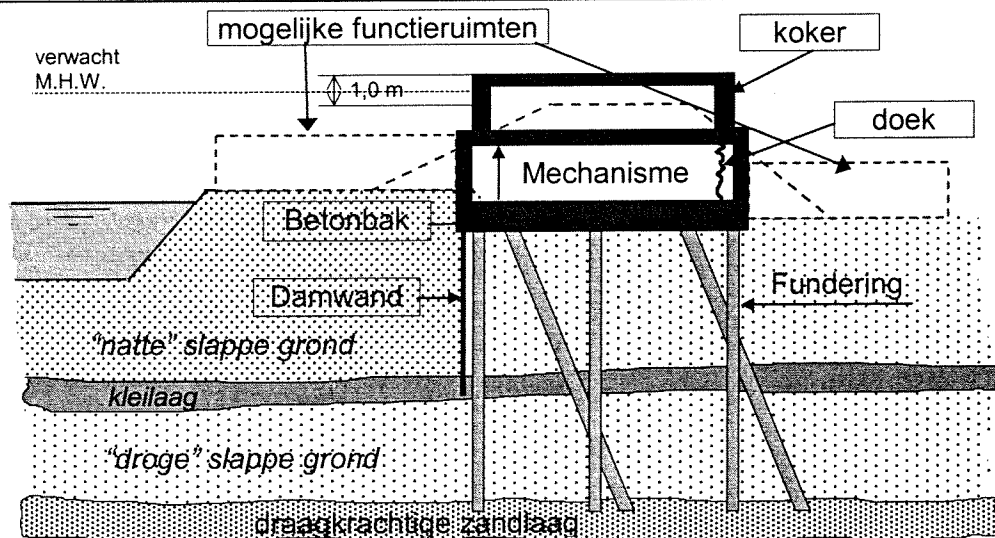


figuur 6.9: Klepkering.

6.2.10 Principeoplossing IV-b: Hefconstructie

De waterkering bestaat uit een koker die waterkerend is en omhoog kan bewegen, in combinatie met een meebewegend waterkerend doek, een betonbak en een damwandscherm. Methodes waarop de koker kan bewegen: door opdrijving op het omhoog komende water of door middel van hydraulische cilinders of vijzels. De koker kan echt als koker worden uitgevoerd (hol), maar ook als plaat. De koker wordt bij laag water gesteund door een bak van beton, gefundeerd op palen. Tijdens hoogwater worden de verticale krachten opgenomen door het water of overgebracht door de cilinders of vijzels naar de betonbak. De horizontale krachten worden dan opgenomen doordat de koker tegen de wand van de betonbak aangedrukt wordt. Op de koker kunnen nevenfuncties worden gecreëerd, zoals bewoning of transport. Voor en achter de hefconstructie kunnen nevenfuncties worden ingevuld zoals bewoning, transport, recreatie of natuur. Het voordeel van de hefconstructie is dat deze bij laag water nauwelijks een fysieke of visuele barrière vormt.

Waterkering:	Hefconstructie in combinatie met doek, betonbak en damwand.
Waterdichtheid	Naast de betonconstructies, wordt een waterdicht doek aangebracht evenals een damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	<ul style="list-style-type: none"> • Bewoning in bebouwing achter de hefconstructie. • Transport over de koker. • Historische bebouwing (vestingwal) om de koker.
Aanpassing:	De dijk wordt gedeeltelijk vervangen door een hefconstructie met fundering of de hefconstructie wordt binnen een bestaande waterkering gemonteerd.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit koker via betonbak en paalfundering naar de ondergrond. Verticaal gaat dit via heipalen, horizontaal via schoorpalen.
Nevenmogelijkheden:	<p>Bij bebouwing op de koker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie en/of natuur voor de koker. <p>Bij verkeersfunctie over de koker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recreatie en/of natuur voor de koker. <p>Bij historische bebouwing om de koker:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Behoud van historische bebouwing.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt het kwelscherm ingeheid, waarna de waterkering kan worden afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden geheid en vervolgens kan de funderingsbak voor de hefconstructie worden gestort. Als laatste kan de koker met hefmechaniek worden geplaatst. Dit bewegingsmechaniek kan bestaan uit water, hydraulisch of pneumatisch cilinders of vijzels. Daarna kan de nevenfunctie worden ingevuld. Er moet veel aandacht worden besteed aan de montage van het waterkerende doek.



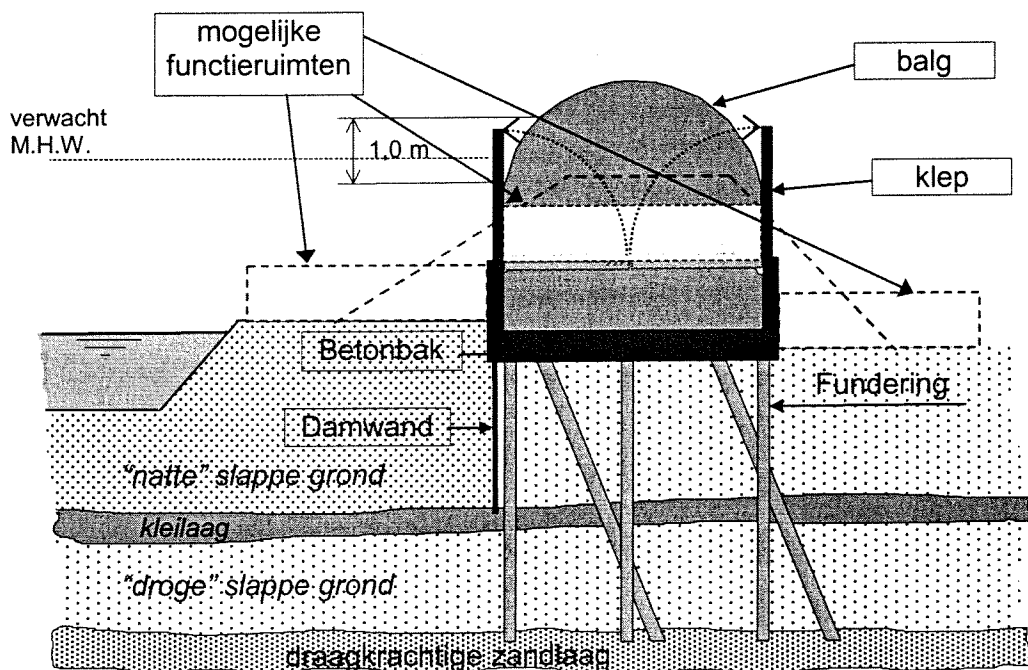
figuur 6.10: Hefconstructie.

6.2.11 Principeoplossing IV-c: Balgkering

De waterkering bestaat uit een balg die waterkerend is en opgepompt kan worden, in combinatie met een betonbak en een damwandscherm. De balg bevindt zich tijdens laag water onder de oppervlakte, waardoor deze geen barrière vormt en ruimte biedt voor nevenfuncties erbovenop (transport). Bij hoog water kan de balg volgepompt worden met water.

De balg wordt gesteund door een bak van beton, gefundeerd op palen. Tijdens hoogwater worden de verticale en horizontale krachten overgebracht naar de betonbak. De horizontale krachten worden dan opgenomen doordat de balg tegen de wand van de betonbak aangedrukt wordt. Op de kleppen waaronder de balg zich bevindt tijdens laag water kunnen nevenfuncties worden vervuld, zoals transport. Het voordeel van de balg is dat deze bij laag water nauwelijks een fysieke of visuele barrière vormt.

Waterkering:	Balg in combinatie met betonbak en damwand.
Waterdichtheid	De balg is waterdicht en ook waterdicht aangesloten op de betonconstructie en deze op de damwand.
Mogelijke Nevenfuncties:	Transport over de kleppen op de balg.
Aanpassing:	De dijk wordt gedeeltelijk vervangen door een betonbak waarin een balg opgevouwen ligt.
Krachtsafdracht:	Overgebracht vanuit balg via betonbak en paalfundering naar de ondergrond. Verticaal gebeurt dit via heipalen, horizontaal via schoorpalen.
Nevenmogelijkheden:	Bij transport over de kleppen op de betonbak: <ul style="list-style-type: none"> • Bewoning achter de balg • Recreatie en/of natuur voor de koker.
Uitvoering:	Er wordt een bouwkuip geplaatst, waarbij de damwanden door de bestaande kering heen gaan. Vervolgens wordt het kwelscherm ingeheid, waarna de waterkering kan worden afgegraven. Binnen de bouwkuip kunnen de palen worden geheid en vervolgens kan de betonbak voor de balg worden gestort. Op de betonbak kunnen de kleppen worden gemonteerd, met bewegingsmechanisme. Ook kan de balg worden geplaatst, inclusief vulsysteem. Als laatste kan de nevenfunctie worden ingevuld. Er moet veel aandacht worden besteed aan de montage van de balg.



figuur 6.11: Balgkering

6.3 Scoretabel

6.3.1 Inleiding

Om de oplossingen, zoals die gepresenteerd zijn in de vorige paragraaf, te kunnen beoordelen, zal er gebruik worden gemaakt van een beoordelingstabel. In deze tabel zullen de algemene oplossingen, zoals die gevonden zijn, onderling worden vergeleken. De bedoeling is niet om een beste oplossing hieruit te halen, maar om inzichtelijk te maken welke oplossingen op welke gebieden relatief sterk scoren. Afhankelijk van de eisen die er aan de waterkering gesteld worden, kan dan een optimale oplossing geselecteerd worden. In de scoretabel zullen alle oplossingen beoordeeld worden op een twaalfstal criteria. Dit zal gebeuren door middel van waardering variërend van -- (zeer negatief) via -, 0 en + tot ++ (zeer positief). Aangezien het globale oplossingen betreft, zijn ook de waarderingen globaal en geven deze alleen de relatieve score weer.

6.3.2 Criteria Scoretabel

De oplossingen zoals die ontwikkeld zijn, zullen beoordeeld moeten worden om aan te geven waar de voor- en nadelen van de oplossing liggen. De beoordelingscriteria zijn:

1. Zekerheid van waterkering
2. Woonfunctie
3. Transportfunctie
4. Historie
5. Natuurfunctie
6. Meervoudige functiecombinatie
7. Flexibiliteit waterkering
8. Flexibiliteit functieruimte
9. Uitvoerbaarheid
10. Landschappelijke inpassing
11. Kosten

ad 1: Zekerheid van waterkeren

Onder dit criterium wordt de bedrijfszekerheid van de waterkering verstaan. Indien het een vaste constructie betreft, is de kans dat de constructie faalt als waterkering over het algemeen kleiner, dan wanneer het een beweegbare waterkering betreft. Een beweegbare kering heeft namelijk als extra faalmechanisme de bedrijfszekerheid. Zo'n kering kan falen, omdat de kering niet in werking wordt gesteld of als die in werking is. Bij het falen van het in bedrijf nemen van de kering moet gedacht worden aan mechanisch defect in de aandrijving, besturingsdefect, defect in waarschuwingssysteem, sabotage enzovoort. Bij het criterium zekerheid van waterkeren is ook opgenomen de reserve die een waterkering heeft. Zo kan een grondlichaam deels zijn vorm verliezen (ten gevolge van afschuiving) zonder dat de functie waterkeren verloren gaat.

ad 2: Woonfunctie

Bij het criterium woonfunctie wordt aangegeven of een oplossing geschikt is voor een combinatie met wonen. Bij de functie wonen moet dan gedacht worden aan de invulling met winkels, kantoren, tijdelijke verblijfsruimtes en lichte industrie, zoals aangegeven in de probleemanalyse (zie bijlage).

ad 3: Transportfunctie

Bij dit criterium wordt de mogelijkheid tot het vervullen van de transportfunctie beoordeeld. Onder transport wordt verstaan het spoor- en wegvervoer, buizen- en leidingtransport.

ad 4: Historie

Bij dit criterium is het van belang dat de huidige bebouwing, die cultuurhistorisch gezien belangrijk is, behouden blijft.

ad 5: Natuurfunctie

Bij dit criterium is het van belang dat de natuurfunctie ofwel behouden blijft, ofwel opnieuw invulling kan krijgen. Onder dit criterium wordt niet alleen waardevolle natuur verstaan, maar ook de functie van de waterkering binnen het ecosysteem.

ad 6: Meervoudige functiecombinatie

Bij een aantal oplossingen is het mogelijk om meer dan één nevenfunctie te integreren met de waterkering. In de tabel wordt alleen aangegeven of dit mogelijk is en niet wat de mogelijkheden zijn. Dit moet uitgewerkt worden bij een ontwerp voor een specifieke locatie.

ad 7: Flexibiliteit waterkering

In de randvoorwaarden die gelden voor het onderzoek naar *Innovatieve waterkeringen* is een MHW verhoging van 1 m vastgesteld. Deze verhoging is gebaseerd op het literatuuronderzoek dat gedaan is en waarin een waterstandsverhoging tussen de 0,60 en 1,20 m werd voorspeld. De ontwikkelde oplossingen zijn niet specifiek voor één locatie en de levensduur is vastgesteld op 100 jaar. Dit leidt er toe dat de aangenomen waterstandverhoging wel eens meer kan zijn dan nu voorspeld. Een waterkering zou daarom redelijk eenvoudig aan te passen moeten zijn aan een hogere waterstand. Ook moeten toekomstige verhogingen, met enige aanpassingen, mogelijk zijn.

ad 8: Flexibiliteit functieruimten

De verschillende functieruimten bij een oplossing zijn niet allemaal geschikt voor de invulling van alle vier de verschillende functies. Dit is al aangegeven bij de punten 2 tot en met 5. De omgeving kan wel tijdens de levensduur van de waterkeringconstructie behoefte hebben aan een andere invulling van de functieruimten. Bij een aantal oplossingen zal dit ten alle tijden kunnen, bij een aantal oplossingen zal er bij het ontwerp van de fundering van de kering rekening gehouden moeten worden met een andere invulling van de ruimte. Bij een aantal oplossingen zal het misschien niet mogelijk zijn de functieruimte in te vullen met een andere functie dan die tijdens het ontwerp van de kering.

ad 9: Uitvoerbaarheid

De waterkering kan theoretisch een goede oplossing voor de geconstateerde problemen zijn, maar hij moet wel gebouwd kunnen worden. Langs een rivier worden er strenge eisen gesteld aan de veiligheid, indien er aan een primaire waterkering gewerkt wordt. Zo kan er o.a. maar een half jaar gebouwd worden, van 15 april tot en met 15 oktober en moet er gedurende deze periode een bepaalde waterstand gekeerd kunnen worden. Indien dit niet door de oude waterkering gedaan kan worden, moet er een tijdelijke waterkering aangelegd worden. Bij de aanleg van een nieuwe waterkering, waarbij de oude vervangen wordt, worden er dus nogal wat eisen aan de uitvoering gesteld.

ad 10: Landschappelijke inpassing

De waterkering is een opvallend onderdeel van het Nederlandse landschap. Bij de verbetering van een waterkering dient er rekening mee gehouden te worden dat de kering geen vreemd element in zijn omgeving wordt. De kering moet dus aangepast kunnen worden aan een natuurlijke omgeving, een stadsomgeving en dergelijke.

ad 11: Aanlegkosten waterkering

Een belangrijk onderdeel van de haalbaarheid van een waterkering zijn de kosten die er met de aanleg gemoeid zijn en de kosten tijdens het gebruik ervan. De kosten en baten voor een waterkering zijn op te splitsen in drie fragmenten: aanlegkosten, onderhoudskosten en opbrengsten. De aanlegkosten hebben betrekking op de kosten van de kering zelf, maar ook op de kosten voor tijdelijke maatregelen en de kosten voor invulling van de nevenfuncties. Onder de onderhoudskosten worden alle kosten verstaan die samenhangen met het verantwoord beheer en onderhoud van de kering. De opbrengsten zijn de bedragen die vrijkomen indien de nevenfuncties worden ingevuld en hierdoor tol, verkoopopbrengsten of huur vrijkomt.

In de oorspronkelijke opzet waren deze drie aspecten afzonderlijke criteria in de scoretabel. Naar aanleiding van de kostenramingen die gemaakt zijn voor de casestudies bleek het niet haalbaar een betrouwbare schatting te maken voor de drie criteria. Baten, onderhoudskosten en investeringen voor het invullen van nevenfuncties zijn afhankelijk van lokale situatie en specifieke oplossing. Dit is niet weer te geven in de scoretabel. Een raming voor de aanlegkosten van de waterkering is wel mogelijk, zodat dit als criterium opgenomen is in de scoretabel.

6.3.3 Scoretabel principeoplossingen

Code	Oplossing	raming kosten ering in guldens ekkende meter]
I-a	Dijk met aangepaste oph	< 33.000
I-b	Dijk met verbeterde onde	> 33.000 < 225.000
II-a	L-muur	33.000
II-b	Doosconstructie	225.000
II-c	Folie	< 225.000
II-d	Wand	± 33.000
III-a	Diepwand	> 33.000
III-b	Kistdam	< 33.000
IV-a	Klepkering	± 225.000
IV-b	Hefconstructie	> 225.000
IV-c	Balgkering	> 225.000

tabel 6-3: Scoretabel princip

6.3.4 Toelichting bij invulling scoretabel

Omdat de scores in een tabel vragen op kunnen roepen omtrent de hardheid ervan, zal hieronder een korte toelichting worden gegeven over de redenen van deze beoordeling.

ad 1: Zekerheid van waterkeren

De vaste betonconstructies in combinatie met kwelschermen worden beschouwd als het meest bedrijfszeker. Er is geen sprake van bewegende elementen die kunnen falen en al evenmin van instabiliteit door verweking of andere vormen van stabiliteitverlies. Als minst bedrijfszeker worden de flexibele constructies beschouwd, waarbij met name de onzekerheid van ingebruikname een belangrijke rol speelt. De oplossingen waarbij een dijk de waterkering verzorgt geven geen grote afwijkingen van de huidige toestand en worden dus als neutraal beoordeeld.

ad 2: Woonfunctie

Bij de beoordeling van de geschiktheid voor de woonfunctie, komen de alternatieven die een stabiele fundering bieden het beste uit de bus. Iets minder goed scoren de alternatieven waarbij er wel ruimte is voor een woonfunctie, maar de fundering niet ingevuld is. Als slechtste worden beoordeeld de oplossingen waarbij de ruimte alleen ingevuld kan worden door een andere functie dan wonen.

ad 3: Transportfunctie

Het meest geschikt voor de invulling van de transportfunctie zijn de oplossingen waarbij er over grote lengte een goede ondergrond beschikbaar is voor een weg en die oplossing waarbij transportbuizen probleemloos in de waterkering opgenomen kunnen worden. Dit zijn met name de harde constructies met vrije functieruimte bovenop, zoals de doos en L-muur, en enkele grondverbeteringoplossingen, zoals de kistdam en de diepwand. Negatief zijn de oplossingen waarbij er geen ruimte is voor een transportfunctie, zoals bij de geïntegreerde harde constructie of wanneer de invulling over grotere lengte problematisch is, zoals bij de hefconstructie.

ad 4: Historie

Het meest geschikt voor het behoud van de historische bebouwing en beschermde stadsgezichten zijn die oplossingen waarbij er geen of minimale aanpassingen aan het uiterlijk van de kering worden gedaan, zoals bij de diepwand, de doorzichtige wand, de klepkering en de verschillende verbeteringen van de dijk als waterkering. Negatief scoren de oplossingen waarbij de dijk vervangen wordt door een alternatieve constructie, zoals de L-muur en de folieconstructie.

ad 5: Natuurfunctie

Het meest positief beoordeeld worden die oplossingen waarbij er weinig tot niets aan het functioneren van de dijk hoeft te veranderen en die waarbij de aanpassing tot een versterking van de natuurfunctie kan leiden. Dit zijn de aangepaste dijken en de diepwand. Het meest negatief zijn die oplossingen waarbij de natuur permanent moet wijken, zoals bij de geïntegreerde harde constructie. Neutraal zijn die oplossingen waarbij de huidige natuur moet verdwijnen, maar waarbij er ruimte is voor nieuwe natuur.

ad 6: Meervoudige functiecombinatie

Het meest positief is die oplossing waarbinnen meer functies binnen één oplossing kunnen worden gecombineerd, hetgeen eigenlijk alleen bij de doosconstructie kan. Daarnaast lenen ook andere constructies zoals de dijken, de wand en sommige harde constructies zich voor een combinatie van een nevenfunctie met de natuurfunctie, onder de voorwaarde dat er een

talud wordt aangelegd of anderszins gestalte wordt gegeven aan de invulling van de natuurfunctie. Negatief scoren de flexibele constructies, omdat hierbij maar één nevenfunctie vervuld kan worden.

ad 7: Flexibiliteit waterkering

De hoogste waardering is voor de dijken weggelegd, omdat deze in de toekomst op te hogen zijn, zonder grote aanpassingen, mits hiermee in de huidige aanpassing rekening wordt gehouden. Daarnaast scoren oplossingen die eenvoudig te verhogen zijn redelijk goed, zoals de wand en de hefconstructie. Negatief scoren de oplossingen waarbij de constructie vrij star is en moeilijk uit te breiden, zonder afbreuk te doen aan de werking van de kering, zoals de L-muur, de diepwand en de klep- en balgkering.

ad 8: Flexibiliteit functieruimte

De oplossingen waarbij de functieruimte in de toekomst probleemloos voor een nieuwe functie aangepast kan worden scoren het beste, zoals de L-muur, de dijken, de kistdam en de wand. De oplossingen waarbij de functieruimte in de toekomst geen nieuwe invulling kunnen krijgen scoren het slechtst zoals folieconstructie en de balgkering.

ad 9: Uitvoerbaarheid

De oplossingen die nu reeds als waterkering worden toegepast zijn als meest positief beoordeeld, dit zijn de L-muur en de diepwand, samen met de aangepaste dijken. Ook de doosconstructie krijgt een hoge score, omdat de uitvoering niet wezenlijk verschilt van die van de L-muur. Als meest negatief zijn de verschillende flexibele constructies beoordeeld, met name omdat de aansluitingen moeilijk realiseerbaar zullen zijn. Ook bestaan er twijfels omtrent de uitvoerbaarheid van de verbetering van de ondergrond onder de dijk.

ad 10: Landschappelijke inpassing

Als hoogste scoren de oplossingen die een minimale invloed hebben op het uiterlijk van de waterkering, zoals de verbeterde dijken, maar ook de oplossingen die de visuele verbinding met de rivier intact laten zoals de flexibele constructies en de doorzichtige wand. Als slechtste scoren de betonconstructies, die een wezenlijke verandering doorvoeren in het landschap van de rivier. Hoewel hiervoor wel waardering kan bestaan, wijzigen deze oplossingen het uiterlijk in hoge mate.

ad 11: Kosten

Het is altijd lastig om een goede kosteninschatting te maken. Het lijkt aannemelijk dat de flexibele constructies hogere aanlegkosten zullen hebben dan de andere, onder meer vanwege de complexe bewegingsmechanismen. Verder zullen de betonconstructies duur in uitvoering zijn, onder meer vanwege de eisen die gesteld worden aan een tijdelijke waterkering en de lastige aansluitingen. Als relatief goedkoop in de aanleg worden de verbeterde dijken beschouwd, alsmede de diepwand en de kistdam, onder andere vanwege de ruime ervaring die er reeds met deze oplossingen is opgedaan.

Verwacht wordt dat de flexibele keringen het duurst in onderhoud zijn, omdat de bewegingsmechanismen, onder meer met het oog op falen, om intensief onderhoud vragen. Er wordt verwacht dat de betonconstructies het minst onderhoud vragen, omdat beton niet erg gevoelig is voor aantasting. Als redelijk onderhoudsintensief worden de dijken beschouwd, onder andere door de gevoeligheid voor erosie en de mogelijke zetting van de grond.

Aangezien de eventuele opbrengsten vooral uit het nevengebruik ten behoeve van de woonfunctie gehaald moeten worden, brengen de oplossingen waarbij de woonfunctie eenvoudig in te vullen is ook baten op. Dit zijn bijvoorbeeld de L-muur, de doosconstructie en de folieconstructie. Verder bieden ook de kistdam en de wand goede mogelijkheden voor

woningbouw of transport (eventueel naast de kering) en de daarmee samenhangende opbrengsten. De dijken hebben weinig opbrengsten, omdat deze gezien hun werking geen intensieve bebouwing toestaan. Dit geldt over het algemeen ook voor de flexibele keringen. Mede op basis van de kostenramingen die voor de casestudies zijn gemaakt, is het mogelijk een indicatie te geven van de totale kosten, waarin alle voorgaande afwegingen worden meegenomen.

6.3.5 Interpretatie resultaten van de scoretabel

Omdat de scoretabel indicatief is en niet beoogt een beste oplossing te selecteren, is ervoor gekozen geen gewichten aan de criteria te hangen. Omdat de functiecombinatie het uitgangspunt is voor de hele studie, kan op basis van de gewenste functiecombinatie wel een indeling worden gemaakt in wenselijke en minder wenselijk oplossingen.

Waterkeren en wonen

Uitgaande van de combinatie van waterkeren en wonen komen de L-muur, doosconstructie en geïntegreerde harde constructie het meest in aanmerking. Indien hierbij ook een transportfunctie gecombineerd moet worden, komt alleen de doosconstructie in aanmerking. Indien een andere functiecombinatie moet worden gemaakt, lijken de dijk met verbeterde ondergrond en de wand aantrekkelijke opties.

Waterkeren en transport

Indien de transportfunctie prioriteit heeft, ligt het gebruik van een brede constructie voor de hand zoals de L-muur, de doosconstructie of de kistdam. Indien er meerdere functies ingevuld dienen te worden lijken de doosconstructie en de wand aantrekkelijke alternatieven.

Waterkeren en historie

Bij aanwezigheid van historische bebouwing die behouden moet blijven, zijn de mogelijkheden beperkt, omdat de kering niet ingrijpend gewijzigd mag worden. De diepwand, de doorzichtige wand, de klepkering en de beide dijkaanpassingen voldoen hieraan. Omdat dit zeer situatiespecifiek is, zal ter plaatste de beste oplossing moeten worden gekozen.

Waterkeren en natuur

Uitgaande van natuurbehoud, lijken de oplossingen waarbij de dijk wordt aangepast en de diepwand het aantrekkelijkst, waarbij wel moet worden opgemerkt dat ook deze invloeden hebben op bijvoorbeeld de hoogte, waardoor gevoelige ecosystemen verstoord kunnen worden. Indien de natuurfunctie behouden moet blijven, maar geen specifieke natuur, dan komen de oplossingen waarbij ruimte is voor natuur, zoals de L-muur, de doosconstructie, de wand en de flexibele constructies ook in aanmerking.

6.3.6 Gebruik van de scoretabel voor de casestudies

Uitgaande van het projectgebied, is de kans dat er invulling moet worden gegeven aan de woonfunctie zeer aannemelijk. Er zijn twee locaties geselecteerd voor de casestudies waarvoor dat in ieder geval geldt. De huidige situatie en de eisen die aan de nieuwe waterkering gesteld worden verschillen echter wel in beide locaties. Omdat in de casestudies twee verschillende situaties zullen worden bekeken, met verschillende eisen, zullen ook twee verschillende oplossingen worden uitgewerkt.

Beide casestudies gaan in op een specifieke locatie binnen het Zuid-Hollandse rivierenlandschap, één in Ammerstol, de andere in Alblasserdam. Deze uitwerkingen zijn te vinden in het volgende hoofdstuk.

6.4 Conclusies van de beoordeling van de principeoplossingen

De oplossingen die zijn gecreëerd en terug te vinden zijn in Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen, zijn uitstekend te bundelen in principeoplossingen op basis van het waterkeringprincipe, zoals gebeurd in dit hoofdstuk. Op deze manier ontstaat er een helder overzicht van alle innovatieve oplossingen. Wanneer deze onderling afgewogen worden in een scoretabel, is duidelijk welke principeoplossingen in verschillende situaties uitkomst bieden. Op basis hiervan is voor een probleem snel een aantal mogelijke multifunctionele oplossingen te vinden. De scoretabel is toepasbaar op een willekeurige situatie, waarbij dezelfde randvoorwaarden, een slappe ondergrond en een functiecombinatie, gelden als bij het projectgebied.

Hoofdstuk 7. Casestudies

In het kader van de terugkoppeling van de scoretabel, zijn twee casestudies uitgevoerd in het projectgebied. Beide casestudies hadden betrekking op bebouwd gebied in het Zuid-Hollandse rivierenlandschap. In beide situaties voldoet de dijk niet aan de eisen die er in de komende jaren aan worden gesteld en in beide situaties was geen plaats voor een traditionele dijkverhoging. De volledige casestudies zijn te vinden in losse bijlagenrapporten, Bijlage E: Casestudy Alblasserdam en Bijlage F: Casestudy Ammerstol. In dit hoofdstuk worden slechts samenvattingen gegeven.

7.1 Samenvatting Casestudy Alblasserdam

De casestudy Alblasserdam heeft betrekking op een dijkvak langs de Noord, gelegen in Alblasserdam. Dit dijkvak is in 1976 punt van discussie geweest bij de toen uit te voeren



figuur 7.1: Oude en nieuwe dijk

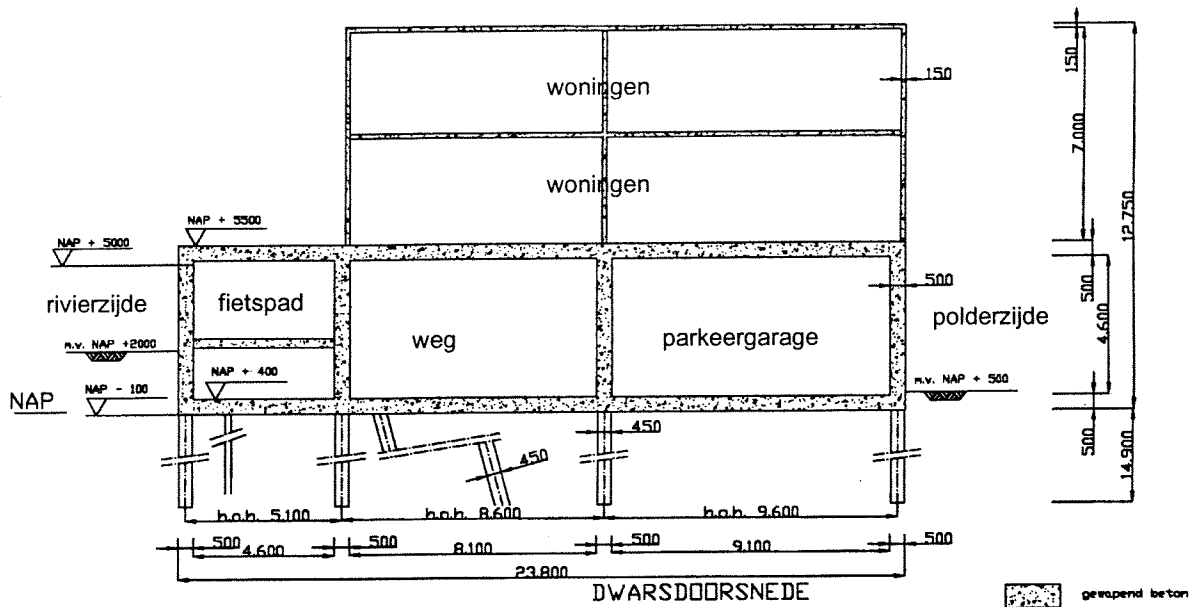
dijkverbetering. Op beide taluds van de dijk staat bebouwing, voornamelijk woningen. Het verbeteren van de dijk was niet mogelijk zonder afbraak van deze woningen. Er is destijds besloten dit niet te doen, maar de dijk te verleggen. De nieuwe dijk loopt over een traject dat ongeveer 50m rivierwaarts ligt ten opzichte van de oude dijk. Naast de woonfunctie heeft de dijk ook een belangrijke verkeersfunctie. Het verkeer van en naar Kinderdijk loopt via de dijk. In Kinderdijk ligt nog een

industrieterrein, dat voor de aan en afvoer van goederen afhankelijk is van deze verbinding. In de casestudy is, met behulp van de eerder in het project ontwikkelde principeoplossingen, naar een oplossing gezocht om de dijk wel te kunnen verhogen. Het blijkt mogelijk de dijk te verhogen met behoud van de functies wonen en verkeer, die de dijk nu ook heeft. Bij het zoeken naar een geschikte oplossing zijn de principeoplossingen nog een keer doorgenomen en is gekeken naar de toepasbaarheid voor de situatie in Alblasserdam. Bij deze voorselectie zijn drie kansrijke alternatieven overgebleven:

1. de Doosconstructie
2. de L-muur
3. de Folieconstructie

Voor deze drie alternatieven is een globaal ruimtelijk-functioneel ontwerp gemaakt. Na afweging van de drie alternatieven blijkt de doosconstructie het beste te voldoen. Bij deze constructie is het goed mogelijk om de drie functies waterkeren, verkeer en wonen, te integreren. De constructies voor het vervullen van de functies verkeer en wonen zijn wel gescheiden. Bij de andere twee waterkeringen zijn deze functies constructief niet te scheiden.

Het basisprincipe van de waterkering is de doosconstructie. Deze is ingevuld met een verkeer- en parkeerfunctie in de doos en een woonfunctie op de constructie. De waterkering is gefundeerd op palen, vanwege de slappe ondergrond. Aan de rivierzijde van de waterkering is een kwelscherm aangebracht tegen onderloopsheid. Een dwarsdoorsnede van de voorgestelde oplossing is weergegeven in figuur 7.2.



figuur 7.2: Innovatieve oplossing waterkering Alblasterdam.

De waterkering bestaat uit een dichte constructie, die het water keert en ruimte biedt aan de verkeersfunctie en een opbouw voor de woonfunctie. De waterkeringsconstructie (de doos) laat zich het beste vergelijken met een tunnel. De onderkant van de waterkering ligt op NAP +0,50m. De bovenkant van de reikt tot NAP +5,50m. De lengte van de verbeterde waterkering is 200m. De afmetingen van de doosconstructie zijn:

tabel 7-1: Afmetingen doosconstructie

kruinhoogte (h_k)	NAP +5,5m
funderingsdiepte palen	NAP -15,0m
constructiedikte	500mm
breedte op maaiveld	23,8m

Het grootste probleem van de waterkering treedt op tijdens de bouwfase. In deze fase moet er een tijdelijke waterkering zijn, die dezelfde veiligheid moet bieden als de uiteindelijke waterkering. In dit geval is er voor gekozen om met een combiwand de tijdelijke waterkering te realiseren. Het beperken van de maximale doorbuiging stelt zware eisen aan de wand. Een ander probleem betreft de relatief korte lengte (200m) van het te verbeteren traject. Dit heeft bij de ruimtelijke vormgeving voor problemen gezorgd. Het eerste ontwerp bestond uit een systeem met drie lagen: verkeer, parkeergelegenheid en wonen. Deze indeling gaf echter een te groot verschil tussen het wegniveau in de tunnel en het niveau van de aansluitende dijk. Met het, in het Programma van Eisen aangegeven, maximale hellingpercentage van 6% voor de toeritten naar de tunnel, bleek het niet mogelijk de indeling met drie lagen vorm te geven. Er is uiteindelijk besloten een indeling met twee lagen te maken: verkeer en parkeren in de tunnel met daarop woningen. De ramingkosten van de doosconstructie zijn ongeveer f 225.000 per strekkende meter. De kosten voor **het totale project** zijn na aftrek van de baten geraamd op **50 miljoen gulden**.

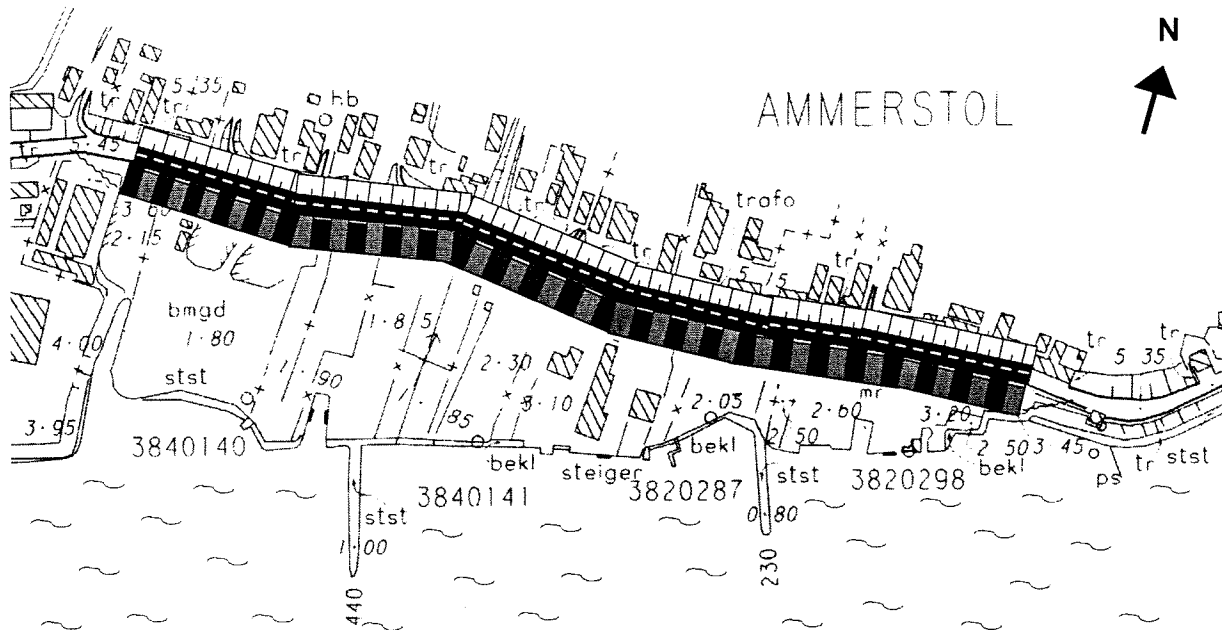
Conclusies:

- In vergelijking met de oplossing van de buitendijkse dijkverlegging biedt de doosconstructie meer perspectief. De buitendijkse dijkverlegging is lang niet overal mogelijk en in het kader van de beleidslijn *Ruimte voor de rivier* in principe ook niet meer toegestaan, tenzij er compenserende maatregelen worden genomen. De oplossing met de doosconstructie vraagt op maaiveldniveau echter niet meer ruimte dan de oude dijk.
- De doosconstructie wordt voor een langere planperiode (100 jaar) gebouwd, zodat er minder frequent verhoogd hoeft te worden. Het verhogen van de doosconstructie is wel gebonden aan de grenzen uit het ontwerp. Op een gegeven moment zal de gehele constructie vervangen moeten worden.
- De kosten voor de bouw van de doosconstructie als dijkverbetering zijn 60 miljoen. Een gedeelte van de kosten kan terugverdiend worden door de verkoop van de woningen. Een ander deel door de exploitatie van de parkeergelegenheid. Hierdoor kunnen de kosten teruggebracht kunnen worden naar \pm 50 miljoen. De kosten voor de buitendijkse dijkverlegging zijn 10 miljoen geweest. De doosconstructie is dus aanzienlijk duurder. Het kan de moeite waard zijn om de hogere kosten te accepteren vanwege het behoud van de functies, in tegenstelling tot het verlies van functies bij een traditionele dijkverhoging.
- De doosconstructie lijkt vooral gerechtvaardigd op die plaatsen waar een traditionele dijkverhoging ten koste gaat van de belevingswaarde van de leefomgeving. Deze plaatsen zijn voornamelijk waterkeringen in steden en bij lintbebouwing op de dijk. De innovatieve oplossing gaat gepaard met hogere kosten, die de maatschappij bereid moet zijn om op te brengen, in ruil voor het behoud van functies.

7.2 Samenvatting casestudy Ammerstol

Het huidige profiel in Ammerstol bestaat uit een dijk met taluds met een helling van 1:2. Aan de polderzijde is langs het gehele dijkvak bebouwing aanwezig. De meest waardevolle cultuurhistorische bebouwing staat aan de teen van de dijk. Aan de rivierzijde bevindt zich buitendijks bebouwing op een opgespoten uiterwaard. Deze opspuiting heeft halverwege de twintigste eeuw plaatsgevonden. De woningen die zich daarop bevinden zijn niet van cultuurhistorische betekenis. Uitgangspunt is, dat bij een toekomstige versterking deze bebouwing niet intact hoeft te blijven. De woonfunctie dient wel behouden te blijven. Over de kruin loopt een lokale verbindingsweg. Een traditionele ophoging is niet mogelijk binnen het huidige profiel met behoud van de huidige functies, vanwege de beperkte ruimte op en naast de dijk. De slappe ondergrond maakt een traditionele oplossing binnen het huidige profiel ook onmogelijk. Indien de dijk traditioneel verhoogd zou worden, zou deze een kruinhoogte nodig hebben van NAP +8,10m, met taluds van 1:3 en een breedte op maaiveldhoogte van 62m. In de huidige situatie is dat niet haalbaar, omdat er dan niets van de bebouwing op en rond de dijk zou overblijven.

Op de beschouwde locatie in Ammerstol is een innovatieve waterkering ontworpen, waarbij het karakteristieke landschap, de historische bebouwing en de verbindingfunctie behouden blijven. Na afweging van de verschillende principeoplossingen, zoals die geformuleerd zijn in het hoofdrapport, bleek de L-muur op deze locatie de meest geschikte oplossing.

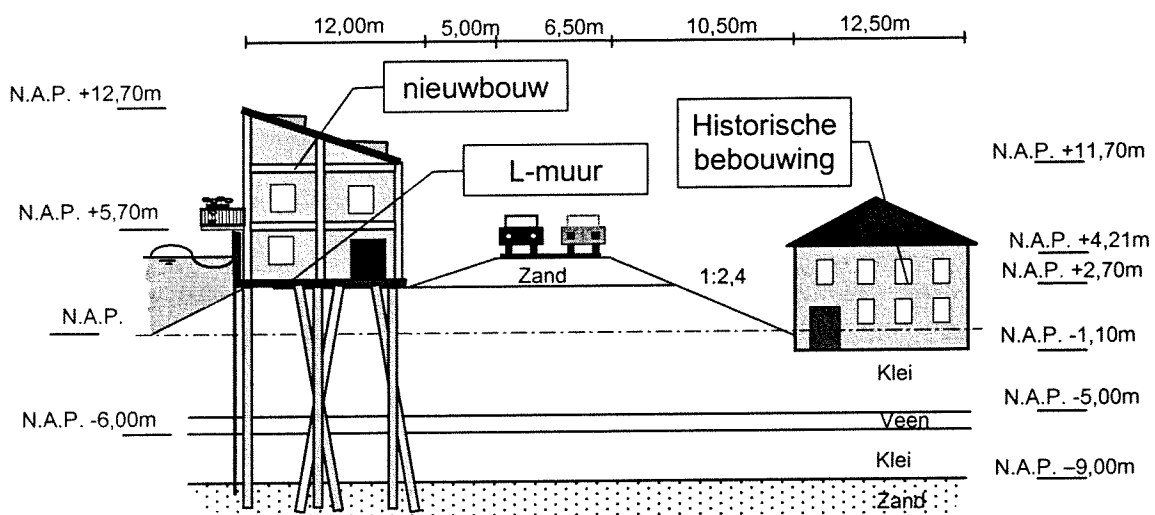


figuur 7.3: Plattegrond van de gewenste eindsituatie in Ammerstol (schaal 1:4000)

Deze waterkering is uit twee delen opgebouwd. Op het huidige maaiveld van NAP+2,70m wordt een L-muur gebouwd, onder het maaiveld wordt de L-muur aangesloten op een damwandscherm. De top van de L-muur ligt op NAP+5,70m. Deze aanpassing zal over een lengte van circa 500 meter worden doorgevoerd.

Op de voet van de L-muur kunnen nieuwbouwwoningen worden aangelegd, bij voorkeur los op de L-muur zodat de levensduur van beide constructies niet gekoppeld is. Deze nieuwbouwwoningen kunnen zodanig vormgegeven worden, dat ze aansluiten op het natuurlijke rivierlandschap. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld landschapsarchitecten in combinatie met stedenbouwkundigen worden aangetrokken.

In de ondergrond wordt een waterkerend damwandscherm geheid, dat aansluit op de L-muur. Dit scherm ontleent zijn stabiliteit aan de omliggende grond en aan de inklemming in de L-muur. Het scherm heeft alleen een waterkerende en geen dragende functie.



figuur 7.4: Eindsituatie in Ammerstol met afmetingen en hoogtematen (schaal 1:500)

Bij de planning van de uitvoering bleek dat de uitvoering deze geen bijzondere eisen stelt aan de constructie. Bij het ontwerp zijn enkele componenten gedimensioneerd. Via globale berekeningen zijn die dimensies gecontroleerd.

Afmetingen van de L-muur:

tabel 7-2: Afmetingen L-muur

kruinhoogte (h_k)	NAP +5,70m
funderingsdiepte	NAP -11,0m
constructie dikte	700mm
breedte op maaiveld (B)	12,0m

Uiteindelijk worden de volgende afmetingen gebruikt:

De L-muur heeft een hoogte van 3,00m en wordt over een totale lengte van 500m aangelegd. Op deze L-muur worden woningen gebouwd met twee verdiepingen met een hoogte van 10m en een diepte van 10m. De damwand heeft een profiel BZ17 met een planklengte van 10m. De onderkant van de damwand komt op NAP -7,30m (dus ruim één meter in de onderste kleilaag). De L-muur wordt gemaakt van gewapend beton, samengesteld uit betonsoort B25 en wapeningsstaal FeB500. De L-muur heeft een dikte (vloer en wand) van 0,70m. Het wapeningspercentage is gesteld op 1,0%.

Om de belasting op te kunnen nemen wordt een paalfundering geheid. Er worden drie verticale palen per dwarsdoorsnede geheid, met een onderlinge afstand van ongeveer 5,0m en met een raaiafstand van 4,00m. De palen hebben een doorsnede van 400mm bij 400mm. Er worden drie schoorpalen per raai geheid met een raaiafstand van 4,00m. De palen hebben eveneens een doorsnede van 400mm bij 400mm.

Een traditionele ophoging op deze locatie, hoewel dit niet haalbaar is, zou neerkomen op zo'n 26 miljoen gulden. Indien de L-muur constructie uitgevoerd wordt, liggen de ramingkosten liggen op zo'n f 33.000 per strekkende meter. Inclusief nieuwbouw van 30 woningen is **het totale project** begroot op zo'n **29 miljoen gulden**.

Conclusies die op basis van deze casestudy worden getrokken:

- In vergelijking met een traditionele dijkversterking blijkt deze innovatieve oplossing veel voordelen te bieden. De huidige functies kunnen behouden blijven, bij een traditionele dijkversterking was dit niet mogelijk geweest. Daarnaast is het ruimtebeslag een stuk kleiner, hetgeen leidt tot behoud van het karakteristieke landschap. Hiermee lijkt op de projectlocatie aanleg van de L-muur als waterkering een aantrekkelijke optie.
- De principeoplossingen die zijn voorgesteld in het hoofdrapport *Innovatieve waterkeringen* zijn uitvoerbaar in een karakteristieke conflictsituatie.
- De scoretabel voldoet goed en is bruikbaar voor specifieke situaties. Wel kan door afwijkende omstandigheden op enkele punten een iets afwijkende waardering worden toegepast.
- Het is technisch goed mogelijk een innovatieve multifunctionele waterkering toe te passen.
- Het is goed mogelijk vanuit een algemene situatie een innovatieve oplossing te bedenken die in een specifieke situatie toepasbaar is.
- Een innovatieve waterkering kan bij knelpunten soms ook in financieel opzicht wedijveren met een traditionele ophoging.

Hoofdstuk 8. Conclusies en Aanbevelingen

8.1 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde afstudeerproject Innovatieve waterkeringen is een aantal conclusies te trekken ten aanzien van de dijkverbeteringen in het Zuid-Hollandse rivierengebied. De conclusies maken duidelijk, dat bij een andere benadering van dijkversterkingen veel conflictsituaties opgelost of voorkomen kunnen worden.

De belangrijkste conclusies van het rapport worden hieronder gegeven.

1. De klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen maken het noodzakelijk dat er kritisch naar de toegepaste dijkversterkingmethoden in het rivierengebied gekeken wordt.
2. Verbeteringen aan een waterkering worden in principe uitgevoerd in grond. Alleen bij hoge uitzondering wordt gebruik gemaakt van een andere constructie.
3. In Zuid-Holland is op een aantal plaatsen een conflict ontstaan tussen de waterkerende functie van de dijk en de nevenfuncties. De waterkerende functie van de dijk vraagt bij een gekozen veiligheidsniveau (zoals vastgelegd in de *Wet op de waterkering*) een grote aanpassing van de dijk in de komende 100 jaar. Indien deze aanpassing met een traditionele dijkverbetering wordt uitgevoerd zullen veel nevenfuncties verloren gaan.
4. De conflicten die bij een dijkverbetering optreden, zijn voor het grootste deel te herleiden tot vier karakteristieke functieconflicten:
 - I. waterkeren en wonen
 - II. waterkeren en transport
 - III. waterkeren en natuur
 - IV. waterkeren en historieDe slappe ondergrond stelt vaak beperkingen aan de hoogte van de traditionele ophoging. De grondmechanische eisen zijn randvoorwaarden bij de genoemde conflictsituaties.
5. Voor de vier karakteristieke conflictsituaties zijn oplossingen ontwikkeld, die het behoud van de nevenfuncties mogelijk maken. Het ontwikkelen van de innovatieve oplossingen is mogelijk geworden door de integrale benadering van de functieconflicten.
6. De innovatieve oplossingen zijn in te delen in vier alternatieven (basisoplossingen), met daarin een aantal varianten (principeoplossingen). De basisoplossingen zijn:
 - I. De waterkering wordt verzorgd door een slecht doorlatend grondlichaam.
 - II. De waterkering wordt verzorgd door een vaste, harde constructie.
 - III. De waterkering wordt verzorgd door een harde constructie in combinatie met grond.
 - IV. De waterkering wordt verzorgd door een beweegbare constructie.
7. De innovatieve oplossingen zijn multifunctioneel en daardoor goed inpasbaar in de probleemgebieden. De hoofdfunctie van de constructie blijft het waterkeren.
8. Het toepassen van de innovatieve oplossingen is mogelijk op plaatsen waar de omgeving bereid is een financieel offer te doen ten behoeve van het behoud (of uitbreiding) van de nevenfuncties van de waterkering.
9. De kosten van de innovatieve waterkering verschillen onderling sterk. Tussen de oplossingen zit een verschil van een factor tien.
10. Het uitgangspunt bij een dijkversterking is de traditionele verbetering in grond. Indien deze oplossing niet acceptabel is (grondmechanisch, maatschappelijk of beleidsmatig) kan een innovatieve waterkering toegepast worden.

8.2 Aanbevelingen

Tijdens de studie naar de mogelijkheid tot het gebruik van innovatieve waterkeringen, is een aantal onderwerpen wel bestudeerd, maar niet verder uitgewerkt. Omdat deze aspecten de potentie bezitten om in de toekomst meegenomen te worden, zullen de belangrijkste hieronder kort worden toegelicht.

Belevingswaarde

De studie is uitgevoerd vanuit de huidige belevingswaarde. Dat betekent dat er naar de waterkering is gekeken met de ogen van de hedendaagse mens. Het is heel goed mogelijk dat het denken met betrekking tot waterkeren over een halve eeuw compleet anders is. Er wordt nu vanuit gegaan dat het achterland beschermt dient te worden tegen hoge rivierafvoeren door middel van duidelijk herkenbare waterkeringen. Verder wordt er nu groot belang gehecht aan de natuurwaarden die er rondom de rivier worden gevonden. Voor andere functies zoals bebouwing en verkeer wordt gestreefd naar concentratie en bundeling. Op cultuurhistorisch gebied wordt met name het behoud nagestreefd. Dergelijke uitgangspunten zijn impliciet meegenomen in de functieanalyse. Op het moment dat er een innovatieve oplossing, zoals voorgesteld in dit rapport, zal worden toegepast, kunnen deze meningen drastisch gewijzigd zijn. Het is wenselijk voor de haalbaarheid van een innovatieve multifunctionele waterkering om onderzoek te doen naar de ontwikkeling in belevingswaarde.

Materiaalgebruik

Er is in deze studie vooral onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van nieuwe vormen van waterkeren. De nadruk heeft hierbij gelegen op de multifunctionaliteit en technische uitvoerbaarheid. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gangbare bouwstoffen en materialen in de waterbouwkunde, zoals (gewapend) beton, staal en zand. Een innovatieve waterkering leent zich bij uitstek voor de introductie van nieuwe materialen. Te denken valt hierbij aan (gewapende) kunststoffen zoals combinaties van epoxyharsen, glasvezels en polypropylenen, maar ook aan de meer duurzame bouwmaterialen als hout. Het is aantrekkelijk om bij toekomstige waterkeringverbeteringen naar de mogelijkheden hiervan nader onderzoek te doen.

Plexiglaswand

Een van de principeoplossingen is een kerende wand. Indien deze uitgevoerd wordt in plexiglas ontstaat een slank, doorzichtige constructie. Deze vorm van waterkeren lijkt vooral aantrekkelijk bij grote nieuwbouwprojecten (stadsuitbreidingen) langs de rivier. De waterkering kan zowel zelfstandig, als geïntegreerd in een constructie (woning) worden toegepast.

Deze mogelijkheid was in beide casestudies een aantrekkelijk alternatief, maar is uiteindelijk gekozen voor een andere oplossing, die beter voldeed aan specifieke eisen. Daardoor is deze optie een beetje ondergesneeuwd. Nadere uitwerking van de plexiglaswand is wenselijk omdat deze nieuwe mogelijkheden biedt bij stadsontwikkeling langs de rivier. Ook op locaties waar belang wordt gehecht aan historische bebouwing kan dit alternatief een aantrekkelijke oplossing zijn.

Tweede stille netwerk

Een nieuwe visie op transport wordt momenteel uitgewerkt in de studie naar een tweede stille netwerk. Hierin wordt de infrastructuur ten bate van watervoer sterk uitgebreid. In het kader van deze studie is de toepassing van innovatieve waterkeringen een interessant onderwerp en dit verdient dan ook nadere uitwerking.

Literatuurlijst

- [1] **Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, juni 1997
- [1] **Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'**
Provincie Zuid-Holland, Project Bruisend Water
Projectgroep Bruisend Water, Den Haag, september 1997
- [2] **Beleidsanalyse rivierdijkversterking - "Bestaande leidraden zijn vaak niet toereikend"**
Ing. J. Dekker
studie in Land + Water nummer 2/1994, pag. 50-53
- [3] **Beleidslijn "Ruimte voor de Rivier"**
Ministerie van VROM en Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Den Haag, april 1997
- [4] **Brede rivieren vragen om brede visie**
Ing. T. van Bruchem en ir. P. Werksma
analyse in Land + Water nummer 9/1998, pag. 51-53
- [5] **De Rijn op Termijn**
P. Baan, H. Breusers, H. Duel et al.
WL | Delft Hydraulics, Delft, 27 augustus 1998
- [6] **Deltaplan Grote Rivieren**
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijkswaterstaat, Den Haag, 13 februari 1995
- [7] **Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen**
F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999
- [8] **Dijkplan**
J.B.A. Weijers, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, september 1997
- [9] **Effecten toenemende belasting op waterkeringen - Bouwstenen dijkversterkingsvarianten**
Projectplan Bouwdienst Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Ir. S. Nurmohamed, Utrecht, 20 oktober 1998
- [10] **Effecten toenemende belasting op waterkeringen - Bouwstenen dijkversterkingsvarianten**
Aangepast Projectplan Bouwdienst Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Ir. S. Nurmohamed, Utrecht, 7 september 1999
- [11] **Handreiking Beleidsanalyse**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Dr. J.Th. de Smidt en Prof. dr. ir. A. Verruijt, Delft, april 1994
- [12] **Handreiking Constructief ontwerpen**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Dr. J.Th. de Smidt en Prof. dr. ir. A. Verruijt, Delft, april 1994
- [13] **Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Dr. J.Th. de Smidt en Prof. dr. ir. A. Verruijt, Delft, april 1994

- [14] **Handreiking Ruimtelijk ontwerpen**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Dr. J.Th. de Smidt en Prof. dr. ir. A. Verruijt, Delft, april 1994
- [15] **Handreiking Visie-ontwikkeling**
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Dr. J.Th. de Smidt en Prof. dr. ir. A. Verruijt, Delft, april 1994
- [16] **Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen**
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Delft, september 1996
- [17] **Integrale Verkenning Benedenrivieren - "Ruimte voor de Rivier"**
Plan van aanpak - tweede concept
Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland
Drs. S.A. de Jong en drs. J.W. van Berghem, Den Haag, april 1997
- [18] **Levende rivieren, Studie in opdracht van het Wereld Natuur Fonds**
Stroming b.v., Hydrobiologisch Adviesburo Klink b.v., Waterloopkundig Laboratorium
et al. November 1992
- [19] **Proefproject dijkverbetering Sliedrecht - eindrapportage projectgroep**
Rijkswaterstaat - Directie Sluizen en Stuwen,
Ir. J.C. Huis in 't Veld et al., Utrecht, 16 juni 1986
- [20] **Project Waterkering Kampen**
Haalbaarheidsstudie naar een hoogwaterkering in het stedelijk gebied van Kampen
Rijkswaterstaat Bouwdienst i.o., Utrecht, 24 augustus 1990
- [21] **RLG98/5: 'Overvloed en schaarste: water als geld', advies over de gevolgen van klimaatverandering, zeespiegelrijzing en bodemdaling voor het landelijk gebied**
Raad voor het landelijk gebied, Amersfoort, mei 1998
- [22] **Ruimte voor Rijntakken - duurzame en veilige inrichting van het rivierengebied**
H. Havinga
studie in Land + Water nummer 9/1998, pag. 56-57
- [23] **Streep erdoor ? De strijd om de rivierdijkverzwaringen**
Drs. H.C. Ingen Housz-Menalda
Uitgave: Stichting "Red ons rivierenlandschap", Amsterdam, 2^e druk, januari 1995
- [24] **De toestand van het klimaat in Nederland 1996**
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
De Bilt, 1996
- [25] **De toestand van het klimaat in Nederland 1999**
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
De Bilt, 1999
- [26] **Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen:**
deelrapport 1: Veiligheid tegen overstromingen
deelrapport 2: Maatgevende belastingen
deelrapport 3: Constructief ontwerpen
deelrapport 4: Functies, waarden en procedures
Eindrapport
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Den Haag, januari 1993

- [27] **Vierde nota waterhuishouding**
Ministerie van VROM
Den Haag, 1997
- [28] **Waterbeheer anno 2100**
P. Huisman
analyse in Land + Water nummer 9/1998, pag. 60-61
- [29] **Waterkering Dordrecht**
afstudeerverslag TU Delft, faculteit der Civiele Techniek
S. van 't Verlaat, Delft, juni 1998
- [30] **Waterwerk, Visies op steden aan de Rivier**
Stichting Fort Asperen
Waanders Uitgevers, Zwolle, mei 1995
- [31] **Wet op de waterkering in werking**
Ir. L. van Asperen en mr. I. Poortvliet
analyse in Het Waterschap 1996 nummer 2, pag. 32-41
- [32] **Wet op de waterkering**
Staatsblad 1996 8
ISSN 0920-2064, 9 januari 1996
- [33] **Woningfundering als dijkversterking**
Funderingstechnologie jaargang 6 nummer 2, november 1997

Begrippenlijst

Aanleghoogte	De hoogte van de kruin van een waterkering, onmiddellijk na haar voltooiing
Beheerder	De overheid waarbij de primaire waterkering in beheer is.
Benedenrivierengebied	Het door Rijn en Maas gevoede rivierengebied ten westen van de lijn Schoonhoven - Werkendam - Dongemond, inclusief Hollandsch Diep, Haringvliet en benedenloop van de IJssel, zonder de Hollandse IJssel.
Beoordelingsprofiel	Het minimaal benodigde profiel waarbinnen geen niet-waterkerende objecten worden geaccepteerd en dat op zichzelf volledig waterkerend is. Dit profiel heeft minimaal de volgende afmetingen: <ul style="list-style-type: none">• kruinhoogte: vastgesteld bij een overslag van $\leq 0,1$ l/m/sec;• kruinbreedte: minimaal 3m;• buitentalud: valt samen met fysieke buitentalud;• binnentalud: 1:2 bij kleikern, 1:4 bij zandkern;• binnenberm: conform minimaal ontwerp-profiel.
Betrouwbaarheid	Onder betrouwbaarheid wordt verstaan de kans dat een systeem of een component onder gespecificeerde omgeving- en gebruikomstandigheden zijn functie gedurende een bepaalde tijd zonder falen blijft vervullen.
Bezwijken (Algemeen)	Het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van een constructie, zodanig dat de samenhang van de constructie verloren gaat.
Bezwijken (Specifiek)	Het niet meer aanwezig zijn van de oorspronkelijke kruinhoogte (voor de bezwijkmechanismen overstroming, golfoverslag en afschuiven)
Bezwijkkans	De kans dat de constructie bezwijkt.
Bezwijkmechanisme	De wijze waarop een constructie onder invloed van inwendige of uitwendige omstandigheden overgaat van normaal functioneren naar bezwijken. bijvoorbeeld afschuiven talud binnen of buiten, piping, opbarsten, kantelen
Buitenwater	Het oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan.
Correlatie	Een maat voor de onderlinge afhankelijkheid van twee statische variabelen.
Decimeringshoogte	De peilvariatie die behoort bij een vergroting of verkleining van de overschrijdingsfrequentie met een factor 10.
Dijk	Grondlichaam bestemd voor het keren van water.
Dijkkring	Een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstromingen, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog oppervlaktewater van een van de grote rivieren, bij hoogwater van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan.

Dijkkringfrequentie	De frequentie waarmee, waar dan ook langs de waterkering die de dijkkring omgeeft, overbelasting door overslaand water optreedt.
Dijkvak	Een sectie van een dijk met uniforme eigenschappen en omstandigheden.
Dijkvakfrequentie	De frequentie waarmee een dijkvak niet meer voldoet aan het veiligheids criterium. b.v. ontwerp frequentie of overbelastingsfrequentie
Falen	Het niet meer vervullen van de primaire functie. Het hoeft niet zo te zijn dat een falende waterkering is bezweken, of dat een bezweken waterkering heeft gefaald. Een vorm van falen is een ontoelaatbare hoeveelheid overloop of overslag.
Faalkans	De kans op falen. De faalkans is gelijk aan de niet-betrouwbaarheid.
Faalruimte	Norm; de sommatie van de kansen op faalmechanismen moet kleiner zijn dan de norm, die hier faalruimte wordt genoemd.
Freatische lijn	Het waterpeil in een grondlichaam. Dit wordt o.a. bepaald door de luchtdruk, doorlatendheid van de grond en de grootte van het verval en de lengte waarover dit verval plaatsheeft.
Golfpeil	Het stilwaterpeil waarboven, in extreme situaties, golven boven het drempelpeil uit kunnen komen.
Golfoploop	De hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt.
2% Golfoploop (Deltacommissie)	Golfoploophoogte die, gegeven het ontwerppeil, door 2% van het aantal golven wordt overschreden.
Golfoverslag	Het debiet over de kruin per strekkende meter dijk gemiddeld over een zekere tijd.
Grenstoestand	De toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belasting.
Hoge grond	Een gebied met een zodanige hoogte dat het niet wordt bedreigd door overstromingen.
Hoogwatergolf	De hoeveelheid water die in een bepaalde periode binnen het stroomgebied van een rivier is gevallen en in enkele dagen afgevoerd moet worden, hetgeen leidt tot een tijdelijke verhoogde afvoer.
Inundatie	Het via een waterkering toestromen van water in een gebied/dijkkring in een zodanige hoeveelheid dat de waterhuishouding verstoord raakt. Dit kan gecontroleerd en ongecontroleerd plaatsvinden.
Inundatiefrequentie	De frequentie waarmee inundatie optreedt.
Karakteristiek waarde	Een waarde van een parameter die op basis van een statistische analyse is bepaald met een kleine onder- of overschrijdingskans (5%)
Knelpunten	De problemen die optreden indien een waterkering verhoogd moet worden, op het gebied van functieconflicten, ruimtegebruik en technische uitvoering.

Kruinhoogte	Het peil van het hoogste punt van een dijkdoorsnede, waarop nog voldoende breedte aanwezig is, ten opzichte van een referentievlak. De kruinhoogte dient tenminste gelijk te zijn aan de som van MHW, waakhogte en de relatieve zeespiegelrijzing.
LNC-waarden	Dit zijn de landschappelijke, natuur- en cultuurhistorische aspecten van de dijk in het rivierlandschap, op zichzelf en in samenhang.
Maatgevende Hoogwaterstand (MHW)	De ontwerpwaterstand behorend bij een vastgestelde overschrijdingsfrequentie. MHW is het uitgangspunt voor het ontwerpen van waterkeringen in het kader van de Deltawet en de Wet op de waterkering.
Marsroute	Ontwikkeling van een tijdspad en strategie om een probleem te benaderen en tot oplossingen te komen.
Mate van inundatie	Een classificatie voor de inundatie van een dijkkring die wordt bepaald door de inundatiesnelheid en -diepte. Het geeft de ernst aan van de optredende overstroming en is daarom een punt van overweging bij het vaststellen van de veiligheidsnorm.
Minimum waakhogte	Minimale in rekening te brengen maat voor de som van buistoot, seiche, golfoploop en onzekerheden in de statistische spreiding van bepalende parameters. Deze bedraagt 0,50 m.
Momentane kruinhoogte	De kruinhoogte van een dijk op het moment van beschouwen. Deze is gelijk aan de aanleghoogte minus de tot op het moment van beschouwen opgetreden kruindaling.
NAP-daling	= Relatieve bodemdaling = Relatieve zeespiegelrijzing De algemene daling van de niet meer aan inklinking onderhevige ondergrond van Nederland (het Pleistoceen) t.o.v. de gemiddelde zeespiegel. Het maakt niet uit op de bodem daalt, de zeespiegel rijst of dat beide verschijnselen zich voordoen.
NAP-vlak	Referentievlak voor de hoogteligging van punten.
Ontwerppeil	= Maatgevend hoogwaterstand Het buitenpeil dat als een der uitgangspunten dient voor de verbetering van de primaire waterkeringen.
Overbelasting	Overschrijding van een nog juist veilig geacht criterium voor de belasting.
Overdijking	Een dijk een dusdanige hoogte geven, dat deze praktisch niet kan overstromen omdat er elders langs dezelfde waterloop lagere dijken zijn die eerder overstromen waardoor het water in polders geborgen wordt.
Overgangsgebied	Het gebied waar de MHW-standen op de rivier beïnvloed worden door twee onafhankelijke hydraulische bedreigingen. Dit zijn meestal de zeewaterstand en een rivierafvoer. De grenzen zijn statistisch bepaald.
Overhoogte	Het verschil tussen kruinhoogte en dijktafelhoogte. De overhoogte is de som van de verwachte kruindaling en de verwacht relatieve zeespiegelrijzing.
Overschrijdingsfrequentie	Het gemiddeld aantal keren dat in een zekere periode (bijvoorbeeld een jaar) een verschijnsel (bijvoorbeeld de waterstand) een zekere waarde bereikt of overschrijdt.

Primaire waterkering	Een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkring - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel voor een dijkkring is gelegen.
Relatieve bodemdaling	zie NAP-daling
Relatieve zeespiegelrijzing	zie NAP-daling
Ringdijk	Het om een dijkkring gelegen stelsel van waterkeringen.
Stochastische grootheid	Een grootheid, die in een gegeven situatie verschillende waarden kan aannemen waarvoor deze een kansverdeling heeft. Vooraf is niet met zekerheid te voorspellen welke uitkomst die grootheid zal hebben.
Theoretisch profiel	= beoordelingsprofiel
Uitgekiend ontwerpen	Het optimaliseren van het ontwerp onder toepassing van traditionele constructiemethodes en het toepassen van bijzondere constructiemethodes en constructies.
Veiligheidsnorm	Wet op de waterkering: gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand waarop de primaire kering moet zijn berekend. Leidraden: dijkkringfrequentie
Verval	Het verschil in waterpeil aan weerszijden van de constructie.
Voorspelfout	Fout die gemaakt wordt bij het maken van waterstandvoorspellingen, uitgedrukt in het verschil tussen de voorspelde waterstand en de later daadwerkelijk optredende waterstand.
Vreemde objecten	Allerlei constructies en kunstwerken, al dan niet waterkerend, die in de waterkering zijn opgenomen of die in zones nabij de waterkering liggen.
Waakhoogte	De hoogte van de kruin van de primaire waterkering boven een optredende waterstand of het ontwerppeil. Meestal wordt een waarde van 0,50 m gehanteerd
Waterkering	Een dijk, duin of kunstwerk, of een aaneenschakeling hiervan, welke over een bepaalde lengte de functie heeft water te scheiden of te keren.
Waterkeringelement	Een statistisch onafhankelijk en eenduidig te beschrijven deel van een waterkering.
Windopzet	De waterstandsverhoging ten gevolge van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
Zeespiegelrijzing	De rijzing van de gemiddelde zeestand ten opzichte van N.A.P.

Innovatieve waterkeringen



Bijlage A: Literatuuronderzoek

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage A: Literatuuronderzoek

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Bijlage A

Literatuuronderzoek

Inhoudsopgave

Hoofdstuk Samenvatting Literatuur	7
Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'	8
<i>Aanleiding</i>	8
<i>Toekomstverwachtingen</i>	8
<i>Conclusie</i>	8
Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen. (Boertien I)	9
<i>Aanleiding</i>	9
<i>Opzet</i>	9
<i>Deelrapport 3</i> :.....	9
<i>Deelrapport 4</i> :.....	9
Dijkplan - J.B.A. Weijers	10
<i>Aanleiding</i>	10
<i>Analyse</i>	10
<i>Problemen bij dijkverhogingen</i>	10
<i>Conclusie</i>	10
Integrale Verkenning Benedenrivieren - RWS dir. Zuid-Holland	11
<i>Strategie voor de toekomst</i>	11
<i>Vergroting maatgevende afvoer</i>	11
<i>Kansrijke locaties voor uitvoer Ruimte voor de Rivier</i>	11
<i>Uitgangspunten</i>	11
<i>Eisen</i>	12
<i>Uitwerking</i>	12
Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten - TAW	13
<i>Begripsbepaling</i>	13
<i>Fase I: Inventarisatie en waardering</i>	13
<i>Fase II: Feitelijke beschrijving op drie integratieniveaus</i>	13
<i>Fase III: Inventarisatie in twee rondes</i>	13
<i>Beschrijving LNC-aspecten op drie integratieniveaus</i>	14
<i>Betekenisgeving aan LNC-aspecten</i>	14
Handreiking Constructief Ontwerpen - TAW	15
<i>Nieuwe inzichten op het gebied van constructief ontwerp</i> :.....	15
<i>Alternatieven ter beperking dwarsprofiel</i>	15
<i>Niet-waterkerende objecten</i>	15
<i>Beoordelingsprofiel</i>	16
De toestand van het klimaat in Nederland 1996 - KNMI	17
<i>Temperatuur en windrichting</i>	17
<i>Windsnelheid en stormen</i>	17
<i>Golven en waterstanden op de zuidelijke Noordzee</i>	17
<i>Neerslaghoeveelheid</i>	17
<i>Is het klimaat veranderd?</i>	18
<i>Klimaatvoorspellingen</i>	18
De toestand van het klimaat in Nederland 1999 - KNMI	19
<i>Het Klimaat van Nederland in de 20^e eeuw</i>	19
<i>Neerslag en afvoer</i>	19
<i>Nederland in de 21^e eeuw</i>	19
De Rijn op termijn - Baan, H. Breusers, H. Duel et al WLJ Delft Hydraulics	21
<i>Scenario</i>	21
<i>Visie voor de rivieren</i>	21
<i>Vergroting berging</i>	21
<i>Knelpunt Dordrecht</i>	21
<i>Conclusie</i>	21
Ruimte voor Rijntakken - H. Havinga	22
<i>Oorzaak verkleining doorstroomprofiel</i>	22
<i>Maatregelen</i>	22
<i>Rivierverruiming</i>	22
<i>Alternatieven</i>	22

Rivierdijkverbetering kan minder ingrijpend - Ir. M. Geense	23
<i>Aanleiding</i>	23
1. <i>Ophoging met gewapende grond ter beperking van het ruimtebeslag</i>	23
2. <i>Gefaseerd ophogen</i>	23
<i>Conclusies</i>	23
Bestaande leidraden zijn vaak niet toereikend - Ing. J. Dekker	24
<i>Uitgekiend ontwerpen</i>	24
<i>Optimalisatie</i>	24
<i>Conclusie</i>	24
Brede rivieren vragen om brede visie - Ing. T. van Bruchem en Ir. P Werksma	25
<i>Ontwikkelingen</i>	25
<i>Conclusie</i>	25
'Ruimte voor Rijntakken' zinvol of juist onzinnig - Ing. B.G de Bruijn	26
<i>Ruimte voor de Rijntakken</i>	26
<i>Waterbeheer in de volgende eeuw</i>	26
<i>Onzekerheden</i>	26
<i>Keuzemogelijkheden</i>	26
<i>Conclusies</i>	26
Waterbeheer anno 2100 - P. Huisman	28
<i>Geschiedenis waterbeheer</i>	28
<i>Toekomstveranderingen</i>	28
Proefproject dijkverbetering Sliedrecht - ir. J.C. Huis in 't Veld	29
<i>Huidige toestand</i>	29
<i>Proeflocaties</i>	29
Project Waterkering Kampen - RWS Bouwdienst	30
<i>Aanleiding</i>	30
<i>Kansrijke tracés</i>	30
<i>Conclusies</i>	30
Waterkering Dordrecht - Afstudeerverslag S. van 't Verlaat	31
<i>Probleembeschrijving</i>	31
<i>Alternatieven en uitwerking</i>	31
<i>Conclusies</i>	31
Woningfundering als dijkversterking (Dordtse Wand)	32
<i>Huidige situatie</i>	32
<i>Levensduur</i>	32
<i>Hoogte</i>	32
<i>Waterdichtheid</i>	32
<i>Onder- en achterloopsheid</i>	32
<i>Eigendom, beheer en onderhoud</i>	32
Hoofdstuk Interviews	33
Verslag gesprek met dhr. ir. J.B.A. Weijers	33
<i>Probleemgebied</i>	33
<i>Oplossingen dijkverhogingen</i>	33
<i>Dijkverlegging</i>	33
<i>Uiterwaardverlaging</i>	33
<i>Knelpunten</i>	34
<i>Alblasserwaard</i>	34
Verslag gesprek met dhr. ing. R.J. Termaat.	35
<i>Probleemgebieden</i>	35
<i>Krimpenervaard</i>	35
<i>Alblasserwaard</i>	35
<i>Verdekt probleem</i>	35
<i>Nieuwe Leidraden</i>	36
<i>Uitdagingen</i>	36
Verslag gesprek met mw. ir. A.M. de Leeuw	36
<i>Werkplan</i>	36
<i>Te volgen strategie voor inundatierisico's</i>	36
<i>Risico's</i>	36

Hoofdstuk Veldonderzoeken	37
Excursie I: Globale gebiedsverkenning Alblasserwaard	37
<i>Inleiding</i>	37
<i>Alblasserdam-Noord</i>	37
<i>Kinderdijk</i>	37
<i>Lekdijk-West</i>	38
<i>Verbetering tussen Langerak en Tienhoven</i>	38
<i>Tienhoven</i>	38
<i>Boven-Hardinxveld</i>	38
<i>Hardinxveld-Giessendam</i>	38
Excursie II: Bestudering Krimpenerwaard en locaties casestudies.	54
<i>Inleiding</i>	54
<i>Ammerstol</i>	54
<i>Krimpenerwaard</i>	54
<i>Alblasserdam</i>	54
Excursie III: Globale metingen locaties casestudies.	70
<i>Inleiding</i>	70
<i>Ammerstol</i>	70
<i>Alblasserdam</i>	71
Hoofdstuk Conclusies	76

Lijst met tabellen en figuren

Figuren

figuur 1: Afvoer van de Rijn te Lobith(1901-1998) en van de Maas te Borgharen (1911-1998). Voor elk jaar zijn de gemiddelde en de maximale afvoer gepresenteerd.	20
figuur 2: Alblasserwaard	39
figuur 3: Ligging projectgebieden.	55
figuur 4: Krimpenerwaard	55
figuur 5: Alblasserwaard	55
figuur 6: Meting binnentalud Ammerstol (schaal 1:40)	70
figuur 7: Afmetingen maatgevende doorsnede Ammerstol (schaal 1:250)	70
figuur 8: Meting binnentalud Alblasserdam (schaal 1:40)	71
figuur 9: Afmetingen maatgevende doorsnede Alblasserdam (schaal 1:250)	71

Foto's

foto 1: Kruin van de dijk in Alblasserdam	40
foto 2: Teen van de dijk in Alblasserdam	40
foto 3: Afsluiting verlegde dijk in Alblasserdam	41
foto 4: Binnentalud dijk in Alblasserdam met dijkwoningen	41
foto 5: Wiel bij Kinderdijk	42
foto 6: Wiel bij Kinderdijk	42
foto 7: Gemeentegrens Alblasserdam	43
foto 8: Gemeentegrens Kinderdijk	43
foto 9: Gezicht op Kinderdijk vanuit Alblasserdam	44
foto 10: Buitendijkse dijkverhoging in Kinderdijk	44
foto 11: Scheuren in dijkwoning in Kinderdijk	45
foto 12: Dijkwoningen op het binnentalud in Kinderdijk	45
foto 13: Lekdijk nabij Streefkerk	46
foto 14: Steile taluds van de Lekdijk nabij Streefkerk	46
foto 15: Dijkversterking bij Langerak	47
foto 16: Zinkstukken voor dijkversterking bij Langerak	47
foto 17: Steil talud (minder dan 1:2) bij Tienhoven	48
foto 18: St. Nicolaaskerk in Tienhoven	48
foto 19: St. Nicolaaskerk in Tienhoven	49
foto 20: Toelichting bij St. Nicolaaskerk in Tienhoven	49
foto 21: Achterkant van de St. Nicolaaskerk in Tienhoven	50
foto 22: Aanbrengen Asfaltverharing op buitentalud bij Boven-Hardinxveld	50
foto 23: Leidingen die problematisch zijn bij dijkversterking in Boven-Hardinxveld	51
foto 24: Deels verzakte monumentale woning in Boven-Hardinxveld	51
foto 25: Aankondiging dijkversterking in Hardinxveld-Giessendam d.m.v. diepwand	52
foto 26: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam	52
foto 27: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam	53
foto 28: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam met dijkwoning in het binnentalud	53
foto 29: Gemeentegrens Ammerstol	56
foto 30: Woningen aan de teen van het binnentalud in Ammerstol	56
foto 31: Woningen aan de teen van het binnentalud	57
foto 32: Monumentale woning aan de teen van het binnentalud	57
foto 33: Dijk net buiten Ammerstol, bebouwd binnentalud, geen voorland	58
foto 34: Gezicht op Ammerstol vanuit het oosten (links de Lek)	58
foto 35: Oprit naar de dijk vanuit de polder, links monumentale woning	59
foto 36: Buitendijkse woning met sponningen voor schotbalken	59
foto 37: Monumentale woningen aan de teen van het binnentalud	60
foto 38: Woning aan de teen van steil binnentalud (1:2)	60
foto 39: Trap langs het binnentalud, illustratief voor de steilheid (1:2)	61

foto 40: Overgang van nieuwe naar oude dijk ten westen van Ammerstol	61
foto 41: Gezicht op innovatief verbeterde dijk buiten Ammerstol	62
foto 42: Innovatief verbeterde dijk	62
foto 43: Proefvak Lekdijk-West	63
foto 44: Nieuwe dijk met binnenberm	63
foto 45: Nieuwe dijk met binnenberm	64
foto 46: Binnenberm met ontlastsloot achter nieuwe dijk	64
foto 47: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk	65
foto 48: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk	65
foto 49: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk	66
foto 50: Nieuwe dijk bij Alblasserdam	66
foto 51: Gezicht op de oude dijk bij Alblasserdam vanuit het westen	67
foto 52: Gezicht op de oude dijk bij Alblasserdam vanuit het oosten	67
foto 53: Gezicht op de oude dijk bij Alblasserdam vanuit het oosten	68
foto 54: Nieuwe dijk bij Alblasserdam vanuit het oosten	68
foto 55: Huidige bebouwing bij Alblasserdam tussen oude en nieuwe dijk	69
foto 56: Gezicht op de oude dijk bij Alblasserdam vanuit het oosten	72
foto 57: Oude dijk en binnendijks gebied bij Alblasserdam vanuit het westen	72
foto 58 Binnendijks gebied bij Alblasserdam vanuit het westen	73
foto 59: Oude dijk bij Alblasserdam vanuit het westen	73
foto 60: Oude dijk bij Alblasserdam vanuit het oosten	74
foto 61: Oude dijk bij Ammerstol vanuit het oosten	74
foto 62: Gezicht op de Lek vanuit Ammerstol, vanaf de weg is de keermuur zichtbaar	75

Samenvatting Literatuur

In deze bijlage is van veel voor het onderhavige project *Innovatieve waterkeringen* relevante literatuur een samenvatting gemaakt. De bronnen zijn met volledige titel en overige gegevens opgenomen in de literatuurlijst. Er zal in deze bijlage worden volstaan met een vermelding van de titel waaronder de rapporten bekend zijn.

Er is getracht een min of meer chronologische volgorde, zoals ervaren in het onderzoek, aan te houden in de beschrijving van de bronnen en het gevolgde traject. Tevens is een onderscheid gemaakt in de lading en achtergrond van de gebruikte literatuur. Hierdoor worden de richtlijnen en visies eerder behandeld dan de tijdschriftartikelen en wordt er afgesloten wordt met enkele projectverslagen.

Van elke bron is getracht de voor het project meest relevante informatie te destilleren. De samenvattingen dienen derhalve niet beschouwd te worden als complete weergaven van de betrokken rapporten.

Bruisend water - verslag fase 1, 'analyse van de toekomst'

Aanleiding

Het project *Bruisend water* vormt de aanleiding voor de studie naar *Innovatieve waterkeringen*. De aanleiding voor dit projectrapport is een studie naar mogelijke ontwikkelingen binnen de waterhuishouding van Zuid-Holland. De te volgen marsroute is opgedeeld in drie fasen. In de eerste wordt onderzoek verricht naar toekomstveranderingen, in de tweede fase worden thema's en scenario's beschreven op basis waarvan tot een keuze gekomen kan worden en in de derde fase wordt de langetermijnvisie en het beleid gepresenteerd. Het onderhavige rapport komt uit de tweede fase en behandelt de eerste fase.

Er is een indeling gemaakt in een korte termijn (2000-2020), een middellange termijn (2020-2050) en een lange termijn (2050-2100). Voor elke termijn wordt gekeken naar:

- Bodemdaling en klimaatverandering;
- Verouderde waterstaatkundige inrichting die om aanpassingen vraagt;
- Toenemende ruimtelijke dynamiek;
- Fysieke ontwikkeling en verandering grondgebruik.

Toekomstverwachtingen

Er is uit dit rapport vooral informatie gehaald over de verwachtingen voor de lange termijn. Van invloed zijn de bodembewegingen die tot bodemdaling leiden (beweging in verschillende lagen, kanteling, inklinking, drooglegging en volumevermindering door oxidatie). In veengebieden kan de bodemdaling oplopen tot een gemiddelde waarde van 100 cm per eeuw.

Verder wordt in dit rapport gekeken naar klimatologische veranderingen. Deze leiden tot een temperatuurverhoging, een toename van de totale neerslaghoeveelheid met 2 tot 5% en tot een toename van de neerslaghoeveelheid per bui met 5 tot 20%. Dit leidt tot een groter af te wateren volume en derhalve tot grotere rivierdebieten en een hoger MHW (Maatgevend Hoog Water).

Als derde effect wordt de zeespiegelrijzing vermeld. Deze stijging heeft invloed op de rivieren, waardoor op de langere termijn het rivierpeil zal stijgen t.o.v. het actuele peil. Verder worden veranderingen van de stormvloedfrequentie genoemd. Het rapport gaat verder in op kustgebieden, boezemgebieden en stedelijke riolering.

Conclusie

Volgens de huidige inzichten zal er de komende 100 jaar sprake zijn van toename van de neerslaghoeveelheid en van zeespiegelrijzing. Tezamen leidt dit tot een stijging van het MHW van de Nederlandse rivieren, in de orde van grootte van 60-100 cm. Daarnaast vindt in de veengebieden een daling plaats van dezelfde orde. Op deze effecten zal in het waterbeheer ingespeeld moeten worden.

Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen. (Boertien I)

Aanleiding

Citaat:

In de rapportage van de Commissie Boertien I wordt antwoord gegeven op de vragen van de Minister van Verkeer en Waterstaat, zoals gesteld in de brief aan de Tweede Kamer van 24 juli 1992. De drie hoofdvragen, door de minister gesteld, zijn:

- a) Zijn er elementen in de afweging die ten grondslag liggen aan de keuze van de norm, die nu zodanig veranderd zijn dat dat zou kunnen leiden tot een andere keuze?*
- b) Zijn er op technisch/wetenschappelijk gebied zodanig nieuwe inzichten dat die kunnen leiden tot andere uitkomsten van de berekeningen?*
- c) Zijn er in de commentaren van de laatste tijd nieuwe elementen boven gekomen die eveneens tot een andere keuze of uitkomsten kunnen leiden en die niet in de voorgaande twee vragen zijn vervat?*

Opzet

Het rapport dat antwoord geeft op deze vragen is opgesplitst in een aantal deelrapporten. In ieder deelrapport wordt één van de hoofdaspecten behandeld. De hoofdaspecten die van belang kunnen zijn voor het onderwerp *Innovatieve waterkeringen* zijn:

hoofdaspect III: Constructief ontwerp.

hoofdaspect IV: Afstemming van waterkeringsfunctie van rivierdijken met andere functies en waarden.

Deelrapport 3:

In deelrapport drie is er nagegaan of er bij een gegeven normstelling voor de veiligheid ontwikkelingen zijn in de inzichten en rekenmethoden, die een minder rigoureuze ingreep mogelijk maken. Het zwaartepunt van het onderzoek heeft gelegen bij twee aspecten van het uitgekiend ontwerpen. Het ene aspect heeft betrekking op de berekeningswijze van belastingen en sterkte, het andere aspect is het gebruik maken van bijzondere constructies. De belangrijkste conclusies uit het rapport zijn:

- Aan de belasting kant is niet zoveel winst te boeken. Bij een waterstandsverlaging van één meter, moeten er ook nog steeds grote stukken dijk verbeterd worden. Bij de sterkteberekeningen is er winst te boeken door veelal te beperken tot het minimale profiel. Door deze berekeningswijze kunnen veel objecten op en langs de dijk gespaard worden.
- Door het op grote schaal toepassen van constructies is het mogelijk bijna alle LNC-waarden te behouden. De aanlegkosten worden ongeveer verdubbeld ten opzichte van de normale kosten.

Deelrapport 4:

In deelrapport vier wordt nagegaan of de waterkeringsfunctie van dijken beter afgestemd kan worden op de andere functies en waarden van de dijken en hun directe omgeving. De nadruk heeft gelegen op de landelijke gebieden en minder op de stedelijke. Uit de studie is duidelijk geworden dat de uitgangspunten van de Commissie Rivierdijken voor de cultuurhistorische en natuurlijke elementen bij de meeste dijkversterkingen goed gerespecteerd worden. Door het hanteren van deze elementgerichte uitgangspunten, gaat de landschappelijke waarde van een dijk nog wel vaak verloren. De dijkvakken die in bebouwd gebied liggen zijn eigenlijk niet aan de orde geweest.

Inventarisaties van LNC en sociaal-culturele waarden zouden meer gericht moeten zijn op de samenhang, dan op de elementen (losse dijk, los dorp enz.) zoals nu het geval is.

Dijkplan - J.B.A. Weijers

Aanleiding

Het dijkplan is opgesteld om inzicht te geven in de problematiek rond dijkverhogingen. Het gaat hier om de inventarisatie van de mogelijkheden, kosten en knelpunten indien er een dijkverhoging wordt toegepast als antwoord op de verwachte verhoging van de maatgevende hoogwaterstanden.

Analyse

De dijken langs de Nederlandse rivieren zullen per kilometer in beeld worden gebracht en worden voorzien van kentallen. Deze kentallen hebben betrekking op LNC-waarden, de kosten van een verhoging per 0,5 meter per kilometer etc. Via vergelijking van de data kunnen de zgn. "kostenolifanten", welke ruwweg 50% van de totale kosten voor hun rekening nemen, snel zichtbaar worden.

Problemen bij dijkverhogingen

Binnen het project zal worden gekeken naar de specifieke problemen die samenhangen met het alternatief dijkverhogen. Het is de bedoeling te komen tot een goed onderbouwde kostenschatting en een goed beeld van de mogelijke technische oplossingen.

Van belang in de inventarisatiefase is de huidige toestand van de dijken. Er moet dan vooral gekeken worden naar versterkingen die op grote technische, planologische en/of maatschappelijke problemen stuiten. Parallel hieraan moeten de technische mogelijkheden, die er zijn om problemen en knelpunten op te lossen, in kaart worden gebracht. Te denken valt hierbij aan technisch inhoudelijke problemen, maar ook het bieden van mogelijkheden om beter met LNC-waarden om te gaan of met andere bezwaren die mogelijk uit de maatschappij naar voren zullen komen.

Waterkeringen op slappe ondergrond vormen in deze fase een belangrijk onderwerp, omdat daarbij vaak de grootste problemen optreden. De oplossingen voor deze problemen zijn ook erg duur. Waterkeringen in de vorm van harde constructies zijn een belangrijk item in deze fase.

Conclusie

Er is nog geen goed beeld van de huidige stand van de dijken met betrekking tot LNC-waarden, kosten voor dijkverhoging en technische, planologische of maatschappelijke problemen.

Integrale Verkenning Benedenrivieren - RWS dir. Zuid-Holland

Strategie voor de toekomst

Het project *Integrale verkenning Benedenrivieren (IVR)* als onderdeel van de beleidslijn *Ruimte voor de Rivier (RvR)* heeft tot doel tot een weloverwogen strategie te komen om de toekomst zonder "watervrees" in te kunnen gaan. Het benedenriviereengebied, in het westen begrensd door de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet, in het oosten door de Hollandse IJssel, Lek en Merwede en in het zuiden door Maas, Biesbosch, Hollandsch Diep en Haringvliet, vormt een watersysteem met een complexe hydrodynamische en morfologische structuur waarop de menselijke inrichting een zwaar stempel drukt. De verweving van menselijk gebruik en de eigenschappen van het water hebben geleid tot knooppunten van economische activiteit in de regio.

Vergroting maatgevende afvoer

Dankzij de invloed van de hoogwaters van '93 en '95 op de statistiek komt de maatgevende afvoer voor het bovenriviereengebied van de Rijn op 16.000 m³/s i.p.v. de huidige 15.000 m³/s, hetgeen resulteert in een verhoging van het MHW met 10 à 30 cm. Door klimaatsveranderingen kunnen daar nog extra verhogingen bijkomen, waardoor gerekend wordt met 18.000 m³/s voor de Rijn. Voor de Maas geldt dat de huidige maatgevende afvoer van 3935 m³/s zo'n 10% zal toenemen ten gevolge van klimaatveranderingen.

Kansrijke locaties voor uitvoer *Ruimte voor de Rivier*

Op dit moment probeert RWS, directie Zuid-Holland op kansrijke locaties een aantal projecten te verwezenlijken met als doel het creëren van ruimte voor de rivier in combinatie met natuurontwikkeling:

- Lopende natuurontwikkelingsprojecten zoals Tiengemetten, de Sliedrechtse Biesbosch, de Noordwaard alsmede enkele kleinere natuurontwikkelingsgebieden;
- Mogelijke verandering van het spuibeheer van de Haringvlietluizen;
- Planvorming rond het speciedepot "Hollandsch Diep";
- Planologische ontwikkelingen in de Drechtsteden regio.

In het door het getij gedomineerde westelijke deel van het benedenriviereengebied bepalen stormvloedde de hoogte van de extreme waterstanden. Versnelde zeespiegelrijzing kan in de voor ons liggende eeuw een verhoging van de rivierwaterstanden van 20 tot 60 cm bij Hoek van Holland met zich meebrengen. Het doel van de IVB is het verkennen van de effecten van waterstandsverlagende maatregelen, te nemen in de periode 2000-2015, ten einde een volgende ronde van dijkverbetering en dijkversterking te voorkomen.

Uitgangspunten

Gebruikte uitgangspunten zijn:

1. Veiligheid voor alles.
2. Benutten van de riviergebonden sociaal-economische en ecologische potenties.
3. Nastreven van een aanpak met een zo groot mogelijk maatschappelijk draagvlak.
4. Lopende projecten mogen niet stagneren.
5. Bevorderen van een snelle en efficiënte uitvoering van plannen.

Eisen

Er worden eisen gesteld met betrekking tot:

1. De rivierkundige samenhang binnen en tussen regionale projecten en maatregelen.
2. De ecologische samenhang in relatie tot de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur.
3. De integratie met andere functies en voorziene ontwikkelingen rond het winterbed.
4. Het strategische en beleidsanalytische karakter van de IVB.
5. De onderlinge afstemming van het uitvoeringstraject.

Uitwerking

De uitwerkingsfase omvat op hoofdlijnen drie stappen:

1. Autonome ontwikkeling: invloed van verhoogde rivierafvoer, van sedimentatie in het Haringvliet en van zeespiegelrijzing op de te verwachten waterstanden.
2. Ontwikkeling deelgebiedvisies: kwantificeren van effecten op de waterstand van uit te voeren maatregelen in de diverse voor het benedengebied beschikbare deelgebiedvisies.
3. Ontwikkeling scenario's: formuleren van scenario's voor de toekomstige inrichting van het benedenrivierengebied. Deze worden gedefinieerd vanuit verschillende invalshoeken zoals economie (scheepvaart en industrie), natuur (al dan niet samen met LNC en recreatie), gebruik (drinkwater, landbouw, recreatie enz.) en milieu (water- en bodemkwaliteit).

Door de verschillende inrichtingsstrategieën zo te kiezen, dat telkens optimaal ingezet wordt op de (toekomstige) belangen van de achterliggende visie, bepalen alle strategieën samen de beschikbare speelruimte voor mogelijke oplossingen.

Het zwaartepunt in IVB ligt op het ontwikkelen van typen van maatregelen, het testen van effectiviteit daarvan en het nagaan in hoeverre conflicten ontstaan met andere belangen.

Handreiking Inventarisatie en waardering LNC-aspecten - TAW

Na het uitbrengen van het regeringsstandpunt over de oproep van de commissie Boertien om meer aandacht te besteden aan de LNC-aspecten, lag er de vraag welke aspecten geïnventariseerd en gewaardeerd dienen te worden en via welke methode dit het beste zou kunnen. In deze handreiking wordt een methode ontwikkeld voor de beschrijving van de verschillende LNC-aspecten en voor de betekenisgeving daaraan.

Begripsbepaling

LNC-aspecten: *de landschappelijke, natuur- en cultuurhistorische aspecten van de dijk in het rivierlandschap, op zichzelf en in samenhang.*

De inventarisatie en waardering bestaan uit twee aspecten: feitelijke beschrijving van de LNC-aspecten en de betekenisgeving. Dit proces is onder te verdelen in drie stappen:

Fase I: Inventarisatie en waardering

In deze fase gaat het om beschrijving en betekenisgeving van LNC-aspecten, waarbij sprake is van twee categorieën:

1. De geautoriseerde waarden:
Dit zijn de waarden die reeds zijn toegekend aan de elementen, soorten en structuren, doordat zij voorkomen op nationale en internationale lijsten die door conventies of wetgeving zijn geautoriseerd.
2. De projectgebonden waarden:
Aan de geïnventariseerde LNC-aspecten worden op grond van uitspraken in *de Visie-ontwikkeling* (andere handreiking) door deskundigen de projectgebonden waarden benoemd. Deze voorzet wordt besproken en gesanctioneerd door de verschillende partijen die bij de dijkversterking betrokken zijn: gebruikers, bewoners, beheerders, belangengroepen en beleidsverantwoordelijken.

Fase II: Feitelijke beschrijving op drie integratieniveaus

De feitelijke beschrijving van de LNC-aspecten vindt op drie integratieniveaus plaats

1. Regioniveau:
Beschrijving van ordeningsprincipes parallel aan en/of loodrecht op de rivierloop
2. Trajectniveau:
Beschrijving van de patronen in het buitendijkse gebied van dijk tot dijk en binnen de invloedssfeer aan weerszijden van de te verzwaren dijk.
3. Dijkniveau:
Beschrijving van de elementen op en aan de dijk.

Fase III: Inventarisatie in twee rondes

Er wordt in twee rondes geïnventariseerd, eerst een verkenning in het kader van de *Visie-ontwikkeling*, vervolgens een gerichte beschrijving. Hierbij wordt de cyclus van beschrijving en betekenisgeving doorlopen van globaal naar gericht.

Beschrijving LNC-aspecten op drie integratieniveaus

Landschap (L):

niveau	beschrijving	aspecten
regio:	dijk in rivierenlandschap	karacteristiek, oriëntatie regionale structuren
traject	directe omgeving dijk	patroon grondgebruik, overgang binnen-buitendijks gebied
dijk	dijk als element	lengte tracé, dwarsprofiel, aanwezigheid elementen

Natuur (N):

niveau	beschrijving	aspecten
regio:	dijk in landschap	ecosystemen, levensgemeenschappen, processen, relaties
traject	directe omgeving dijk	ecosystemen, levensgemeenschappen, relaties, bijzondere ecologische elementen
dijk	dijk als element	vegetatietype, potenties, voorkomende planten en dieren

Cultuurhistorie (C):

niveau	beschrijving	aspecten
regio:	dijk in landschap	landsverdediging, verkavelingen, occupatie
traject	directe omgeving dijk	ontginningsbases, waterbeheersingwerken, infrastructuur, dorpen
dijk	dijk als element	dijk zelf, elementen op en aan de dijk, symbolen

Betekenisgeving aan LNC-aspecten

Landschap (L)

Belangrijke parameters:

- samenhang tussen waarneembare elementen en patronen
- samenhang tussen vorm en functie
- afleesbaarheid van het natuurlijk systeem
- afleesbaarheid van de ontwikkelingsgeschiedenis
- visuele samenhang

Natuur (N)

Belangrijke parameters:

- kenmerkendheid: mate van binding van soorten en ecosystemen aan dijk
- zeldzaamheid: presentie van ecosystemen en soorten
- diversiteit: aantal soorten en ecosystemen per lengte of oppervlakte
- kansrijkheid: aanwezigheid kansen voor levensgemeenschappen en soorten
- vervangbaarheid: vestigingstijd en aanwezigheid abiotische voorzieningen

Cultuurhistorie (C)

Aspecten: Archeologie, historische geografie, bouw en kunsthistorie, geschiedenis v.d. plek

Belangrijke parameters:

- zeldzaamheid
- authenticiteit (materiaal of functie/concept)
- samenhang
- kenmerkendheid
- symboliek

Handreiking Constructief Ontwerpen - TAW

Deze handreiking is een vernieuwing op de leidraden zoals deze gebruikt worden binnen het dijkbeheer. Er is een aantal wijzigingen t.o.v. de leidraden:

Nieuwe inzichten op het gebied van constructief ontwerp:

- op het gebied van het gebruik van grondonderzoek en berekeningsmethoden van de macrostabiliteit:
 - gebruik van peilbuizen ter voorspelling van optredende waterstanden bij MHW's
 - bepaling karakteristieke waarden van de schuifsterkte
 - niet-stationaire grondwaterstromingmodellen
 - stabiliteit van het grondlichaam onder opdrijfcondities
 - differentiatie schadefactoren voor binnenwaartse stabiliteit
- piping, het niet meer automatisch toepassen van de 5-H berm \Rightarrow smallere binnenberm
- binnentalud en overslag \Rightarrow steilere taluds dan 1:3
- beheer en onderhoud grastalud \Rightarrow aangepast agrarisch beheer
- acceptatie niet-waterkerende objecten \Rightarrow beoordelingsprofiel
- bebouwing \Rightarrow beoordelingsprofiel, bijzondere constructie
- beplanting \Rightarrow beoordelingsprofiel, bijzondere constructie
- leidingen \Rightarrow leidingencode
- wegen \Rightarrow verkeersbelasting & erosie- en kwelgevoeligheid

Alternatieven ter beperking dwarsprofiel

Verder zijn er variaties ontwikkeld, die een andere aanpak van dijkversterking mogelijk maken. Ter beperking van de omvang van de vergroting van het dwarsprofiel zijn de volgende varianten ontwikkeld:

- vervangen van gedeelte van zandkern door klei of omgekeerd
- gebruik van licht materiaal (flugsand of geëxpandeerde kleikorrels) of gewichtsberm
- toepassing van geotextielen, geogrids of zandgaren composities
- filterconstructies, onlastsloten, kwelkaden, kwelschermen of regulatieschermen
- bekleding van het talud of wapening van de grasmat tegen erosie

Ook zijn er alternatieve mogelijkheden ter voorkoming van vergroting van het dwarsprofiel:

- damwanden, keermuren, gewapende grond, gabions, diepwanden en kistdammen
- beweegbare keringen

Niet-waterkerende objecten

Naast uitwerking van deze punten, wordt er in deze handreiking ingegaan op "Bestaande niet-waterkerende objecten in, op en nabij de dijk". Hoewel zij vaak een negatieve invloed zullen hebben op de veiligheid, is de maatschappelijke wens groot om bij dijkversterking te pogen deze objecten te handhaven. De niet-waterkerende objecten die worden beschouwd zijn:

- bebouwing, inclusief tuintjes
- beplanting (voornamelijk bomen)
- (nuts)leidingen
- wegen

Beoordelingsprofiel

In bebouwde gebieden zullen combinaties hiervan voorkomen. Van belang voor de beoordeling is de toepassing van het zogenaamde beoordelingsprofiel. Dit profiel heeft minimaal de volgende afmetingen:

- kruinhoogte: vastgesteld bij een overslag van $\leq 0,1$ l/m/sec;
- kruinbreedte: minimaal 3m;
- buitentalud: valt samen met fysieke buitentalud;
- binnentalud: 1:2 bij kleikern, 1:4 bij zandkern;
- binnenberm: conform minimaal ontwerpprofiel.

Indien de objecten hierbuiten vallen, kunnen ze over het algemeen worden gedoogd. Binnen het profiel liggende objecten vragen om andere oplossingen, zoals het gebruik van bijzondere constructies, in het bijzonder met constructieve elementen.

Deze zaken staan alle uitvoerig beschreven in de handreiking.

De toestand van het klimaat in Nederland 1996 - KNMI

Dit rapport behandelt waargenomen schommelingen in het Nederlandse klimaat van de twintigste eeuw. Dit gebeurt aan de hand van metingen en analyses van weerelementen over de afgelopen eeuw. Hierin zijn trends waar te nemen op basis waarvan voorspellingen gedaan kunnen worden. De klimaatvoorspellingen zijn gedaan voor een aantal weerelementen: temperatuur, windrichting, windsnelheid, stormen, golven, waterstanden, bewolking, neerslaghoeveelheid. Deze elementen zijn alle nader beschouwd.

Temperatuur en windrichting

De jaar-op-jaar grilligheid van de Nederlandse temperatuur vindt zijn bron in de steeds wisselende posities van lage- en hogedrukgebieden om ons heen. Dit leidt tot jarenlange systematische veranderingen in de verdeling van windrichtingen. Dit leidt weer tot variaties in de temperatuur.

De temperatuurstijging zal met name merkbaar zijn in de winter. De winter wordt in dit rapport beschouwd als de periode van oktober tot april. Het lopende gemiddelde van de wintertemperatuur gaat sinds 1990 omhoog. Het is mogelijk dat de recente Nederlandse temperatuurstijging niet alleen door gewijzigde luchtaanvoer, maar ook door een stijging van de grootschalig-gemiddelde temperatuur wordt veroorzaakt. De verwachting is dat halverwege de eenentwintigste eeuw een toename van 0,5 tot 2 graden Celsius in de wereldgemiddelde temperatuur zal optreden. Hierbij moet voor Nederland de invloed van de gewijzigde luchtaanvoer wordt opgeteld waardoor de temperatuur nog meer kan toenemen. Binnen deze temperatuurstijging wordt het aannemelijk geacht dat een stijging van 0,3 °C na 1970 mede veroorzaakt is door het versneld toenemen van broeikasgasconcentraties.

Windsnelheid en stormen

Op grond van meteorologische gegevens is geen systematische toename in stormactiviteit vast te stellen. De metingen voor de geostrofische windsnelheid tonen dat er deze eeuw geen sprake is geweest van een systematische toe- of afname.

Golven en waterstanden op de zuidelijke Noordzee

Het staat vast, dat de hoogte van de golven op de Atlantische Oceaan bij de punt van Ierland tussen 1960 en 1990 aanwijsbaar is toegenomen, zonder dat de windsnelheid daar is toegenomen, de golven zijn dus blijkbaar in een ander deel van de oceaan opgewekt. Uit metingen in de Noordzee blijkt dat er geen aanwijzing is voor een duidelijke toename van de hoogte van de golven op de Noordzee.

Uit langjarige metingen is bekend dat de jaargemiddelde zeewaterstand aan onze kust al meer dan anderhalve eeuw toeneemt met circa 20 centimeter per eeuw. Deze stijging hangt samen met de bodemdaling en met de toename van de wereldgemiddelde temperatuur sinds halverwege de negentiende eeuw, maar staat los van het windklimaat. Daarnaast speelt voor de waterstanden langs de kust de windopzet een grote rol. Evenals de windsnelheid bevat ook de reeks van wateropzetten geen aanwijsbare langjarige trend.

Neerslaghoeveelheid

Neerslag wordt gekenmerkt door een sterke variabiliteit. In Nederland valt in een nat jaar ongeveer twee keer zoveel neerslag als in een droog jaar. Door deze sterke variabiliteit zijn eventuele systematische veranderingen in neerslag niet gemakkelijk te detecteren. Opvallend is wel dat de winterneerslag na 1975 is toegenomen. De langjarige afwijkingen in de winterneerslag ten opzichte van de gemiddelde neerslag in de winter zijn voor een deel gekoppeld aan de schommelingen in de temperatuur. De jaarlijkse neerslaghoeveelheden zal halverwege de eenentwintigste eeuw met enkele procenten toegenomen zijn. De toename concentreert zich in het winterseizoen. Situaties met langdurige hevige neerslag leveren 5 tot 20 % meer neerslag op per regendag. Ook zware zomerbuien zijn heviger en hun maximale neerslagintensiteit is 5 tot 20 % hoger.

Een maat voor de droogte in de zomer, is het verschil tussen de potentiële verdamping (die verdamping die plaats zou vinden als de begroeiing optimaal van water is voorzien) en de neerslag. In het verloop van het grootste potentiële neerslagtekort van het zomerhalfjaar is geen systematische trend te onderkennen.

Is het klimaat veranderd?

De afgelopen jaren toont een aantal meteorologische grootheden afwijkingen ten opzichte van hun gedrag in het voorafgaande deel van de eeuw. Dit geldt voor temperatuur, neerslag en onweer. De oorzaak hiervan is een versterking van het IJslandse lagedrukgebied gedurende het laatste decennium, die ervoor zorgde dat er een afwijkende gemiddelde toestand van luchtstromingen optrad. Door deze toestand was de kans op hoge temperaturen toegenomen, vooral tijdens de winter. Mondiaal gezien is er eveneens sprake geweest van opwarming, vooral in de afgelopen twintig jaar. Deze stijging bedraagt slechts een derde van de Nederlandse temperatuurstijging, maar heeft nu een niveau bereikt dat, in tegenstelling tot de veel grotere Nederlandse temperatuurstijging, niet meer volledig aan natuurlijke oorzaken wordt toegeschreven.

Klimaatvoorspellingen

Uitgaande van een bekend verondersteld verloop in de toekomstige samenstelling zijn klimaatmodellen in staat een indruk te geven van de toekomstige patronen van temperatuur- en neerslagveranderingen op zeer grote ruimtelijke schaal. Op grond van aannames over bevolkingsgroei, industriële ontwikkeling en energieverbruik heeft het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Changes) zes scenario's opgesteld. Uitgaande van het gemiddelde van de emissiescenario's, luiden de meest zekere voorspellingen van het IPCC-1995 rapport voor het klimaat halverwege de volgende eeuw als volgt:

- De wereldgemiddelde temperatuur zal in 2050 een halve graad tot twee graden hoger zijn dan in 1990, met als centrale schatting één graad Celsius.
- De grootste opwarming zal optreden boven de continenten op hoge breedten en het grootst zijn in het winterseizoen.
- Door de warmtecapaciteit van het gekoppelde land-oceaan-atmosfeersysteem ijlt de temperatuur na op de broeikasconcentratie. Hierdoor zal de temperatuur ook na eventuele stabilisatie van de concentraties na 2050 enkele tienden van graden stijgen.
- De wereldwijd gemiddelde neerslag zal in 2050 met enkele procenten toegenomen zijn, waarbij de grootste procentuele toename plaatsvindt op hoge noordelijke breedten in het winterseizoen.
- De met de temperatuurstijging geassocieerde verhoging van het wereldgemiddelde zeespiegelniveau zal in 2050 tien tot veertig centimeter bedragen, met als centrale schatting twintig centimeter.
- De temperatuurverhoging in Nederland van 0,5 tot 2 graden zal niet gelijkmatig verdeeld zijn over de seizoenen, maar in de winter waarschijnlijk iets sterker zijn dan in de zomer.
- De neerslaghoeveelheid in Nederland neemt toe, waarbij de toename zich voornamelijk concentreert in de winter. Een schatting geeft een toename van 2 tot 5 procent in jaargemiddelde neerslaghoeveelheid.
- Situaties met langdurige, hevige winterneerslag zullen meer neerslag opleveren per regendag, een toename van 5 tot 20 procent wordt geschat.
- In de zomer zal de neerslag een buiiger karakter krijgen en in kortere tijdsintervallen vallen.

De toestand van het klimaat in Nederland 1999 - KNMI

Dit rapport is een voortzetting op dat van 1996. Er is in deze samenvatting alleen aandacht besteed aan nieuwe ontwikkelingen, conclusies en tot nu toe niet behandelde onderwerpen.

Het Klimaat van Nederland in de 20^e eeuw

De gemiddelde temperatuur van Nederland van de laatste twintig jaar was ongeveer 0,7°C hoger dan die van de eerste twintig jaar van de 20^e eeuw. Dit verschil manifesteert zich vooral in het winterseizoen. Deels in samenhang met de hogere temperatuur, nam ook de neerslaghoeveelheid toe.

De gemiddelde zeespiegel aan onze kust is sinds anderhalve eeuw aan het stijgen, met een gemiddelde snelheid van zo'n 20 cm per eeuw. Dit komt voor ongeveer een kwart door de bodemdaling in Nederland, voor de rest hoofdzakelijk door uitzetting van het zeewater door de wereldwijde temperatuurstijging sinds het midden van de 19^e eeuw.

Neerslag en afvoer

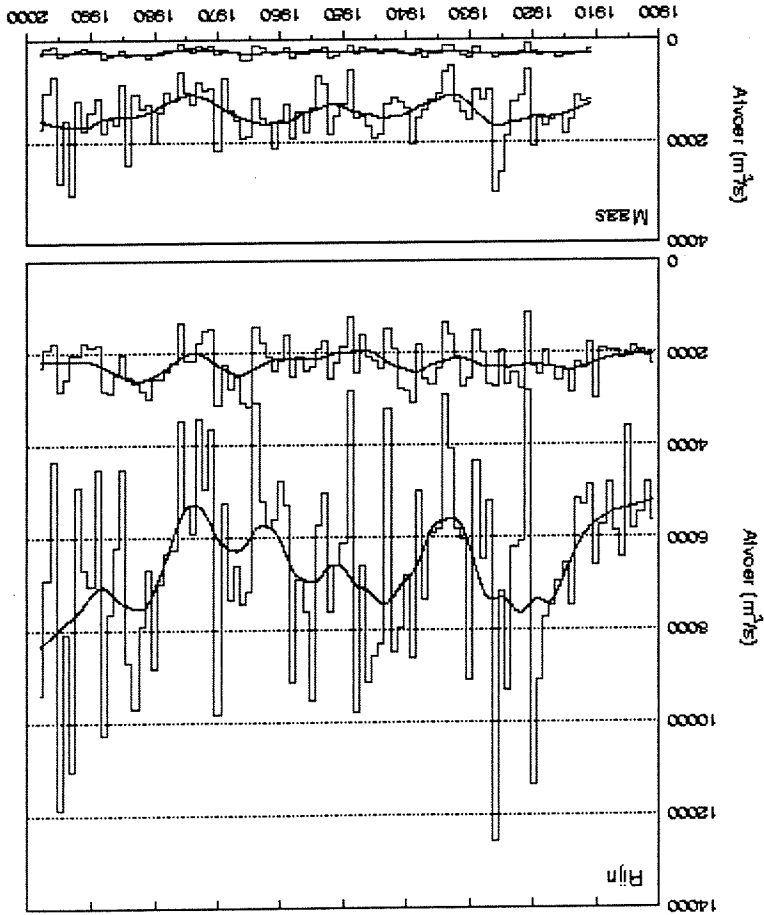
Rivierafvoeren vormen een maat voor de gevallen neerslag in het stroomgebied. De afvoer van Rijn of Maas in Nederland geeft dus een indicatie voor de neerslag die bovenstrooms is gevallen, figuur 0.1 toont de gemiddelde afvoeren van de Rijn en Maas en hun jaarlijkse dagmaximum. De minimumafvoeren zijn niet aangegeven, omdat die weinig variëren. In droge perioden is de Maasafvoer zelfs bijna te verwaarlozen. De Rijnafvoer daalt echter nooit onder 7.000 m³/s, dankzij de bijdrage van grondwater uit het Duitse heuvelland en het smeltwater van de Zwitserse Alpen.

Hoewel de Rijnafvoeren van 1993 en 1995 hoog waren, zijn ze niet uitzonderlijk; ook in de jaren twintig traden dergelijke afvoeren op. Met 12.600 m³/s zorgde 1926 zelfs voor de hoogste afvoer van de eeuw. Ondanks de gesignaleerde toegenomen winterneerslag in Nederland is in de gemiddelde afvoer van de Rijn en Maas geen trend te ontdekken.

Nederland in de 21^e eeuw

Zonder beperking van de uitstoot van broeikasgassen zal volgens de gangbare verwachting de wereldtemperatuur in 2100 met 1 tot 3,5°C zijn toegenomen. Een zeespiegelrijzing van 20 cm voor 2100 lijkt al niet meer te vermijden

figuur 1: Afvoer van de Rijn te Lobith (1901-1998) en van de Maas te Borgharen (1911-1998). Voor elk jaar zijn de gemiddelde en de maximale afvoer gepresenteerd.



De Rijn op termijn - Baan, H. Breusers, H. Duel et al WL| Delft Hydraulics

Dit plan van het WL| Delft Hydraulics presenteert een alternatieve kijk op het toekomstig beheer van de Nederlandse rivieren.

Scenario

Uitgangspunt is de situatie waarbij een hoogwatergolf van 20.000 m³/s optreedt op de Rijn, in combinatie met een zeespiegelrijzing van 1,0 m en een stormvloed, met kans van voorkomen van 1/10.000 per jaar, waardoor de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg (SVKNW) gedurende 29 uur gesloten zal zijn. Deze maatgevende situatie is derhalve een "worst case scenario" rond het jaar 2100. Deze situatie is niet erg waarschijnlijk, maar wel mogelijk. Mocht deze situatie optreden, dan is er geen enkele mogelijkheid om met de bestaande natte infrastructuur het water van de hoogwatergolf af te voeren.

Visie voor de rivieren

In de *Rijn op termijn* wordt een oplossing hiervoor gepresenteerd. De visie behelst de drie takken van de Rijn: IJssel, Nederrijn/Lek en Waal/Bovenrijn. In de visie krijgt elk een specifiek karakter en een specifieke taak. Zo zal de IJssel een morfologische rivier worden, d.w.z. dat de bedding niet gefixeerd is. Zij zal als functies hebben het afvoeren van de hoogwatergolf en een natuurfunctie. Hiertoe wordt het maatgevend debiet verhoogd van 2.000 naar 5.000 m³/s. De Nederrijn/Lek zal haar scheepvaartfunctie kwijtraken, doordat stuwen, kribben en strekdammen worden verwijderd en de rivier een natuurlijk dynamiek krijgt. De Waal/Bovenrijn tenslotte zal de hoofdtransportas blijven. Deze functie zal nog versterkt worden door het fixeren van de bodem en de oevers, waardoor als het ware een 'kanaal in de Waal' ontstaat.

Vergroting berging

Naast de verandering van de rivierfuncties, zal de berging worden vergroot door het afvoeren van de hoogwatergolf naar de Zeeuwse wateren, in combinatie met het creëren van zogenaamde 'calamiteitenpolders', waar het water tijdelijk naar afgevoerd kan worden.

Knelpunt Dordrecht

Verder wordt in het rapport gesteld dat ongeacht het scenario er altijd een knelpunt optreedt in Dordrecht. Het waterpeil daar moet onder de NAP +2,80m blijven en er zit een versmalling in de rivier daar (Merwede), waardoor het een flessenhals is voor de scheepvaart. Derhalve wordt voorgesteld om een omleiding te creëren en hiervoor wordt een aantal mogelijkheden geschetst.

Conclusie

In de *Rijn op termijn* wordt een visie gepresenteerd voor de rivierwaterhuishouding de komende tijd. Hoewel dit slechts een discussiestuk is, wordt duidelijk dat ingrijpende maatregelen nodig zijn om toekomstige hoogwatergolven verantwoord af te voeren.

Ruimte voor Rijntakken - H. Havinga

Oorzaak verkleining doorstroomprofiel

Decennia lang zijn in Nederland de aanzandingen en opslibbingen in de uiterwaarden onvoldoende verwijderd. Op veel plaatsen zijn uiterwaarden in de natuurlijke staat teruggebracht zonder compenserende waterstandverlagende maatregelen. Ook de andere functies van de rivier zoals scheepvaart, natuur, landbouw, recreatie en grondstoffenwinning eisen ruimte tussen de bandijken op. Dit leidt tot een vertraging in de afvoer van de hoogwatergolf en daarmee tot hogere waterstanden.

Maatregelen

Om de veiligheid tegen overstromen te behouden zijn steeds nieuwe dijkverhogingsrondes nodig. Als meest recente ronde is de uitwerking van het *Deltaplan Grote Rivieren* te beschouwen. Ondanks het op hoogte en sterkte brengen, moet voor de toekomst rekening worden gehouden met meer en hogere hoogwaters, zo blijkt uit de hoogwaterstatistieken. Extra maatregelen zijn daarom nodig, zoals het project *Ruimte voor de Rijntakken*, dat voorziet in verlaging van de hoogwaterstanden op de Nederlandse boven- en middenlopen van de Rijntakken door uiterwaardverlaging en wegnemen van knelpunten. Het projectgebied beslaat de Bovenrijn, de IJssel, de Nederrijn/Lek tot Schoonhoven en de Waal tot Gorinchem.

Maatregelen bestaan o.a. uit de aanleg van retentiebekkens (polders die bij extreem hoge afvoerpieken gecontroleerd kunnen vollopen) in de bovenlopen. Daarnaast wordt aangestuurd op verruiming van het doorstroomprofiel in de benedenlopen, geformuleerd in de Beleidslijn *Ruimte voor de Rivier*.

Rivierverruiming

Voor de rivierverruiming zijn diverse maatregelen mogelijk:

1. verlagen van rivierkribben
2. baggeren sediment
3. verwijderen zomerkade
4. aanleg nevengeul
5. uiterwaardeverlaging (ontkleien/ontzanden)
6. verwijderen obstakels voor waterafvoer
7. dijkverlegging
8. aanleg retentiebekken
9. tijdelijke stillegging pompwerken
10. dijkverhoging

Alternatieven

Er zijn verschillende combinaties van maatregelen mogelijk. Combinaties van maatregelen worden gepresenteerd als alternatieven. Daarnaast is actief beheer nodig. In de *Vierde Nota Waterhuishouding* wordt de veilige afvoer van ijs, sediment en water vooropgesteld. Natuur en scheepvaart moeten verder ontwikkeld worden, terwijl landschappelijke en cultuurhistorische waarden zoveel mogelijk ontzien en ingepast worden. Riviergebonden recreatie zal zich verder ontwikkelen, terwijl bewoning, industrie en landbouw worden gezien als niet-riviergebonden functies en derhalve in de uiterwaarden niet verder uitgebreid mogen worden en zonodig verminderd moeten worden.

Alle alternatieven moeten ertoe leiden dat de waterstand bij hogere maatgevende afvoeren niet omhoog gaat. In een alternatief wordt binnen de veiligheidsvoorwaarden een bepaald accent gelegd. Hierbij kan gedacht worden aan extra kansen voor versterking van de Ecologische Hoofdstructuur, minimale kosten door beperking van de hoeveelheid vrijkomende verontreinigde specie, een minimale realisatietermijn enz. Waar onvoldoende ruimte kan worden gecreëerd, vormt dijkverhoging het sluitstuk van de set maatregelen.

Rivierdijkverbetering kan minder ingrijpend - Ir. M. Geense

Aanleiding

Naar aanleiding van de adviezen van de commissie Boertien I (zie 0 Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen. (Boertien I) om bij het aanleggen of versterken van rivierdijken rekening te houden met LNC-waarden, is onderzocht welke mogelijkheden geokunststoffen bieden om de aantasting van waarden zoveel mogelijk te beperken. Aan de hand van de faalmechanismen van een dijk is voor elk van de belastingen onderzocht of een alternatief met geokunststoffen een aantrekkelijke oplossing kan bieden.

Grondwapening met geokunststoffen geeft een verbetering van de macrostabiliteit, indien ze het potentiële glijvlak doorsnijden. Door wrijving en interlocking worden in de lengterichting krachten overgebracht, waardoor het weerstandsbiedend moment en de stabiliteit worden vergroot. Ook kunnen geokunststoffen gebruikt worden als filter, drain, drainagemat of kwelscherm (ter voorkoming van piping). Er zijn twee praktijksituaties bestudeerd en uitgewerkt, uitgaande van de bestaande kennis.

1. Ophoging met gewapende grond ter beperking van het ruimtebeslag

In de beschouwde situatie moest een dijk met 0,55m worden verhoogd. Aan de buitenzijde liggen hoge natuurwaarden die niet mogen worden aangetast en aan de binnenzijde staat een woning die niet mag worden gesloopt. Om een vergelijking mogelijk te maken, wordt de buitenteenlijn gelijk gehouden aan het ontwerp met een damwandscherm. De hellingen bij de oplossing met geokunststoffen zijn een stuk steiler, het buitentalud kent een helling van 1:1 in plaats van 1:2,5. Dit geeft meer golfoploop, waardoor de kruinhoogte 0,1m hoger moet komen te liggen. Bij gebruik van een geogrid zijn enkele berekening uitgevoerd, handmatig, met twee computerprogramma's en met een eindige-elementenmethode. De keuze viel op basis hiervan op een omslagmethode met geogrid SR 55 in zeven 6,50 m lange wapeningslagen. In deze situatie bleek de damwandconstructie 30 tot 50% duurder dan de oplossing met geokunststoffen.

2. Gefaseerd ophogen

De tweede proef moest afrekenen met het probleem van de grote samendrukbaarheid en consolidatiegevoeligheid van de ondergrond van een dijkverbreding. Bij de conventionele methode wordt de dijk opgebouwd met ophooglagen van 1 à 2 m. Door de ophoging ontstaat in het onderliggende slappe pakket een wateroverspanning, waardoor de schuifweerstand wordt verlaagd en dus de stabiliteit van de ophoging. Met geokunststoffen wordt de stabiliteit in verschillende stadia van uitvoering verbeterd. Dit kan met een weefsel met hoge sterkte en kleine rekpercentages bij hoge belastingen, zoals polyester. Dit leidt tot een verkorting van de wachtperioden per laag, waardoor de totale uitvoerperiode aanzienlijk kan worden verkort (bijv. van 6 naar 2 jaar). De meerkosten voor de snelle aanleg bedragen 5 tot 10% van de totale uitvoeringskosten.

Conclusies

Geokunststoffen bieden goede alternatieven en soms zelfs goedkopere oplossingen voor de traditionele wijze van dijkverbetering. Daar waar ze extra kosten met zich meebrengen, worden die vaak door een snellere aanleg weer terugverdiend. Voor een brede toepassing van geokunststoffen in dijken moet nog wel een standaard rekenmethode worden ontwikkeld.

Bestaande leidraden zijn vaak niet toereikend - Ing. J. Dekker

Uitgekiend ontwerpen

De mogelijkheden van uitgekiend ontwerpen worden vaak niet optimaal benut. Dit blijkt uit de analyse van rivierdijken en de huidige ontwerppraktijk. Door gebruik te maken van uitgekiend ontwerpen is het mogelijk meer landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden (LNC-waarden) te sparen.

Onder uitgekiend ontwerpen wordt zowel het, onder toepassing van traditionele constructiemethodes, optimaliseren van het ontwerp als het toepassen van bijzondere constructies en constructiemethodes verstaan. Bij het optimaliseren van het ontwerp wordt gebruik gemaakt van meer grondonderzoek en de nieuwste rekenmethodes. Het vergelijken van belasting en sterkte is belangrijk bij het beoordelen van bestaande dijken, het aanbrengen van dijkverbeteringen en het ontwerpen van nieuwe dijken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van faalmechanismen.

Optimalisatie

Het doel is een dijkversterking te ontwerpen die beter is ingepast in de bestaande situaties, waarbij LNC-waarden zoveel mogelijk worden gespaard. Optimalisatie van het grondprofiel vanuit de LNC-visie wil zeggen een minder hoge, smallere kruin en zo beperkt mogelijke bermafmetingen. Vanuit landschappelijke invalshoek wordt vooral gepleit voor steilere taluds. Uit natuurhistorisch oogpunt is een soortenrijke begroeiing van het talud van grote waarde. Uit de studie zijn enige mogelijkheden tot optimalisatie naar voren gekomen: kruinhoogte, helling binnentalud, binnenberm, bebouwing of beplanting.

Er kan een lagere kruinhoogte worden toegelaten als de sterkte van het binnentalud kwalitatief hoogwaardig is en meer overslag kan worden toegestaan. De helling van het binnentalud kan steiler worden, door de bijdrage aan de erosiebestendigheid van de begroeiing op het binnentalud mee te nemen. Voorwaarde hiervoor is wel dat er hogere eisen aan het onderhoud worden gesteld. Binnenbermen, voor zover nodig vanuit het oogpunt van stabiliteit, kunnen scherper gedimensioneerd worden, door rekening te houden met het niet-stationaire karakter van grondwaterstromen. Dankzij het gebruik van het theoretisch profiel kan bestaande bebouwing en beplanting tot een zeker niveau geaccepteerd worden.

Soms kan een optimaal ontworpen grondlichaam de LNC-waarden niet sparen en moet een bijzondere constructie worden toegepast. Voorbeelden van kansrijke toepassingen zijn erosieschermen ter vervanging van buiten- en/of binnentalud of kistdammen ter vervanging van buiten- en/of binnentalud en steunbermen.

Conclusie

Concluderend kan worden vastgesteld dat voor de nog te ontwerpen dijkverbeteringen het grondlichaam meestal minder omvangrijk kan zijn dan de tot dan toe ontworpen lichamen. Als hierdoor LNC-waarden kunnen worden gespaard, liggen er mogelijkheden. Indien een optimaal ontworpen grondlichaam de LNC-waarden niet kan sparen, is er de mogelijkheid tot het toepassen van bijzondere constructies.

Brede rivieren vragen om brede visie - Ing. T. van Bruchem en Ir. P Werksma

Ontwikkelingen

In de Nederlandse Rijndelta zijn bij de hoogwaterbeheersing ingrijpende veranderingen aan de orde. Eeuwenlang stond daarbij alleen dijkverhoging centraal. Door 'Becht', 'Ooievaar' en 'Boertien' kregen ook andere betrokken belangen expliciet aandacht.

Mondiaal neemt de bevolkingsgroei in een aantal laaggelegen delta's sterk toe. Daardoor is er een groeiende aandacht voor intensief, multifunctioneel ruimtegebruik bij een hoog veiligheidsniveau tegen overstromingen. Kenmerken hierbij zijn: de strijd tegen hoogwaters (veiligheid), historische vestigingen en grote steden langs rivieren en sterk aan de grote rivieren gebonden landschap en natuur.

Eeuwenlang stond de dijkversterking centraal, later kreeg men ook aandacht voor andere betrokken belangen. Dijkversterking werd daardoor integraler en het resultaat waardevoller: **veiligheid met meerwaarde**. Reeds vóór Boertien werden de eerste resultaten daarvan zichtbaar, bij 'groene dijken' (landschappelijke meerwaarde) en nog meer bij waterkeringen in riviersteden. Daar groeide tevens het inzicht dat waterkeringen best gezien mogen worden, bijvoorbeeld als stedelijke elementen met nog andere levensvatbare functies (multifunctionaliteit).

Voorbeelden van veiligheid met meerwaarde in riviersteden van na Boertien zijn: Dordrecht (Dordtse Wand), Doesburg (combinatie van waterkering met wandelpromenade en woningbouw) en Kampen (combinatie van waterkering met wandelpromenade en herstel functie stadsmuur).

De huidige omslag bij de hoogwaterbeheersing naar het nieuwe *Ruimte voor de Rivier*-beleid vraagt eveneens om nieuwe beleidsontwikkelingen. In de 4^e *Nota Waterhuishouding* zijn de hoofdlijnen gepresenteerd. In de beleidslijn *Ruimte voor de rivier* wordt het kader geschapen. Met name in riviersteden zal het de nodige moeite kosten om daadwerkelijk de win-win situatie te creëren, zoals gewenst in *Ruimte voor Rivier*.

Conclusie

De aanpak van een integralere rivierbeheersing, met daarin opgenomen de resultaten van de studies en oplossingen van de afgelopen periode, is mogelijk indien er voldoende financiële ruimte voor geschapen wordt. De beleidslijn *Ruimte voor de rivier* schept het benodigde wettelijke kader.

'Ruimte voor Rijntakken' zinvol of juist onzinnig - Ing. B.G de Bruijn

Ruimte voor de Rijntakken

In april 1999 is de nota *Ruimte voor de Rijntakken* verschenen. In de nota wordt op een vrij hoog abstractieniveau aangegeven op welke wijze een hogere afvoer van de Rijn veilig door het riviersysteem kan worden geleid zonder dat opnieuw een dijkverbeteringoperatie nodig zal zijn. In dit artikel wordt ingegaan op de nota en de daarin beschreven effecten. Daarnaast wordt stilgestaan bij de omvang van de maatgevende afvoeren.

Waterbeheer in de volgende eeuw

De beleidsnota's van de betrokken overheden over het waterbeheer in de 21^e eeuw nemen toe in aantal en omvang. Op meerdere niveaus is er sprake van internationaal overleg. Ook voor de hoogwaterbescherming is gelukkig het nodige in beweging. Na het verschijnen van het advies van de commissie *Boertien II* en de nota *Integrale Verkenning van de Rijntakken* zijn de betrokken overheden hard aan het werk gegaan. In april verscheen *Ruimte voor de Rijntakken*, waarin op een nog vrij hoog abstractieniveau wordt aangegeven op welke wijze een hogere afvoer van de Rijn (16.000 m³/s) bij Lobith veilig door het riviersysteem kan worden geleid. Dit moet gebeuren zonder dat opnieuw een, in verhouding weer redelijk omvangrijke, dijkverbeteringoperatie nodig is. Eén van de wenselijke maatregelen is rivierverruiming door dijkverlegging.

Onzekerheden

Nadenken over toekomstige ontwikkelingen is lastig. Aan de orde is dan of ons klimaat werkelijk gaat veranderen en in welke mate er sprake zal zijn van zeespiegelrijzing. Een mogelijke verschuiving naar extremere zomers en winters heeft grotere rivierafvoeren tot gevolg. Dit betekent dat we vooruit moeten gaan denken. Geaccepteerd is dat de nu reeds vastgestelde hogere afvoeren van de Maas en de Rijn pas in 2015 door de riviersystemen kunnen worden verwerkt. Dit is dus pas nadat de rivierverruimingplannen zijn uitgevoerd. Pas dan zal de wettelijke veiligheid inzake hoogwaterbescherming weer worden bereikt. Dit is alleen acceptabel indien intussen oplossingen bedacht worden voor een mogelijk en realistisch scenario van nog hogere afvoeren en waterstanden.

Keuzemogelijkheden

In de nota is een aantal keuzemogelijkheden uitgewerkt. Meer ruimte creëren kan bijvoorbeeld door het verlagen van uiterwaarden, de aanleg van nevengeulen, het verwijderen van zomerkaden, het afgraven van hoogwatervrije terreinen, het verwijderen van obstakels, het verlagen van kribben in het zomerbed of door het terugleggen van dijken. Keuzen hierin zijn afhankelijk van de belangen en/of taken van de betrokkenen. Alle meningen moeten uitkristalliseren in een goed gewogen masterplan met een ketting van maatregelen voor de gehele rivier met zijn zijtakken. Een ruimtelijk visie per riviertak is dan een belangrijk hulpmiddel bij het vinden van een balans.

Ondanks alle discussiepunten en onzekerheden, moet op de ingeslagen weg verder worden gegaan. De reikwijdte van de plannen is beperkt, zodat voldoende flexibiliteit ingebouwd moet worden en samenhangende effecten goed in beeld moeten worden gebracht.

Conclusies

- De betrokken overheden dienen in een open planproces verder te werken aan *Ruimte voor de Rijntakken*, zodat een afvoer van 16.000 m³/s kan passeren zonder aantasting van het hoogwaterbeschermingsniveau.
- Een gezamenlijk gedragen communicatietraject is belangrijk.
- Er moet een realistisch tijdpad worden uitgezet voor beleidsvorming, besluitvorming, procesgangen en uitvoeringstermijnen.

- De studies en discussies over de waterhuishouding en rivierbeheer in het bijzonder voor de lange termijn moeten voldoende aandacht en middelen krijgen, zodat preventief besluiten en handelen mogelijk wordt.

Waterbeheer anno 2100 - P. Huisman

Geschiedenis waterbeheer

Ooit lagen onze veen- en kleigebieden enkele meters boven gemiddeld zeeniveau. Om landbouw mogelijk te maken, heeft de mens in het laatste millennium de grondwaterstand in die gebieden verlaagd. Het gevolg was bodemdaling. Het land werd kwetsbaar voor overstromingen. Lokale aanleg van dijken was de eerste maatregel om dit tegen te gaan. Daarmee is een onomkeerbaar proces op gang gekomen.

Toekomstveranderingen

Door opwarming van de aarde kan het broeikaseffect versterkt worden en het klimaat zich wijzigen. Aan het einde van de volgende eeuw kan de gemiddelde wereldtemperatuur met 1 tot 3,5°C zijn toegenomen. Door de verschillen zullen de neerslag- en verdampingspatronen zich wijzigen en de winterafvoeren van de rivieren in West-Europa toenemen. In de zomer zullen echter perioden met lage afvoeren vaker optreden en langer duren. De klimaatverandering heeft derhalve een belangrijke invloed op de waterhuishouding. De opwarming resulteert naar verwachting in een zeespiegelstijging van 0,35m tot 0,85m rond 2100.

Bij de stijging van het zeeniveau komt nog de bodemdaling, die wel 0,5 m kan bedragen. Dit betekent dat vele zeewaterkeringen in belangrijke mate verhoogd moeten worden en dat de beweegbare stormvloedkeringen vaker dicht moeten. Door de relatieve zeespiegelstijging neemt de capaciteit van de uitwateringssluizen en gemalen af. Om droge voeten te houden zijn meer en grotere gemalen nodig. Een minimale capaciteit van 1.000 m³/s lijkt dan wenselijk.

Ondanks het vaker sluiten van de Stormvloedkeringen, dringt de invloed van de zeespiegelstijging door in het benedenrivierengebied tot Gorinchem en Hagestein. Om hier de veiligheid op peil te houden zullen de waterkeringen omhoog moeten en zal de afwatering moeten worden aangepast.

Proefproject dijkverbetering Sliedrecht - ir. J.C. Huis in 't Veld

Dit rapport gaat in op problemen met de waterkering op een specifieke locatie (Sliedrecht). Hoewel het in dit opzicht niet doorslaggevend is voor het onderhavige project, kan uit de benadering en alternatieven wel enige informatie worden gehaald.

Huidige toestand

De Sliedrechtse dijk kent in de huidige toestand (ten tijde van het rapport) de volgende functies:

- waterkering;
- verkeersweg;
- vestigingsplaats voor wonen en werken.

Bij deze multifunctionele waterkering spelen de volgende problemen:

- Er is bebouwing aan weerszijden van de dijk.
- Er is sprake van opvulling van het Sliedrechtse grondgebied met woningbouw.
- Er is afwisselend sprake van woningbouw en bedrijven.

Bepalend voor de woonsatisfactie zijn:

- bouwkundige kwaliteit van de woning
- ruimtelijk beeld van de buurt
- uitzicht en ligging aan het water
- nabijheid van voorzieningen
- buurtgebondenheid
- hinderlijke situaties (verkeer, binnenkijkende voetgangers en bus)

Deze factoren bepalen voor een groot deel het woonplezier. Wordt een van deze factoren aangetast, dan zal er dus compensatie op een ander vlak voor moeten volgen.

Proeflocaties

In het proefproject zijn twee locaties onder de loep genomen: Sliedrecht-West, langs de Baanhoek en Sliedrecht-Oost, langs de Rivierdijk. Voor beide locaties is de huidige situatie opgenomen op het gebied van Stedenbouw, Volkshuisvesting, Werkgelegenheid, Stedelijk Landschap en Verkeer. Er is getracht oplossingen te vinden, waarbij het ruimtebeslag van de waterkeringen hoegenaamd niet is gewijzigd. Dit betekent dat gebruik is gemaakt van uitgekende ontwerpen, zoals kistdamconstructies, damwanden, diepwanden, oppompbare of uitklapbare constructies, klepkeringen, L-muren enz. Er is ook gekeken naar buitendijkse en binnendijkse verzwaringen.

Uiteindelijk is een selectie gemaakt uit de alternatieven. Deze zijn nader afgewogen op de eerder genoemde gebieden. Dit wordt gepresenteerd in een gevoeligheidsanalyse.

Project Waterkering Kampen - RWS Bouwdienst

Aanleiding

De waterkering in Kampen voldoet niet aan de gestelde veiligheidsnormen. Verhoging en versterking van de huidige waterkering, waarvan het tracé langs c.q. door het karakteristieke oude stadsfront loopt, stuit op grote technische en maatschappelijke problemen. Uit een studie naar andere maatregelen bleek, dat deze zo'n f 130 miljoen zouden kosten en nadelige milieueffecten zouden hebben. Op basis hiervan is besloten toch de mogelijkheden van een waterkering in Kampen nader te onderzoeken. De doelstelling was het genereren van een aantal integrale oplossingen, welke technisch haalbaar en maatschappelijk aanvaardbaar worden geacht om in het tracé van de waterkering te worden toegepast.

Kansrijke tracés

Uit de beoordeling van diverse tracés is gebleken, dat er twee tracés in aanmerking komen voor realisatie:

1. Het voorkeurstracé ligt langs de IJssel. Buiten het stedelijk gebied wordt de bestaande waterkering van grond versterkt. In het zuiden van de stad wordt een vaste waterkering tussen de bebouwing voorgesteld, met twee roldeurconstructies bij kruisingen met de rijbaan. De sluis moet aangepast worden, vanaf de sluis tot aan de havenbrug zal een beweegbare kering toegepast worden, met uitzondering van de brug waaromheen een vaste waterkering mogelijk is. Voor de beweegbare kering is een aantal principeoplossingen uitgewerkt, waaruit een voorkeur voor een kleppenkering of hefschuifconstructie naar voren kwam. Ook de haven zal aangepast moeten worden, hetzij met een vaste kering erachter, hetzij met een keersluis. De investeringskosten zijn geraamd op f 85 à 90 miljoen en de exploitatie- en onderhoudskosten op f 6,5 miljoen.
2. Het alternatieve tracé langs de Ebbingestraten wordt in hoofdzaak gekenmerkt door een keerwand constructie. Op plaatsen waar de kering de rijbaan kruist wordt voorgesteld om het kruispunt enigszins te verhogen of een roldeur toe te passen. Bij het stadspark worden zoveel mogelijk de bestaande hoogten in het park gevolgd. Buiten de stad wordt de bestaande kering versterkt. De investeringskosten worden op f 51 miljoen geraamd en de exploitatie- en onderhoudskosten op f 2,5 miljoen.

Conclusies

Een waterkering door Kampen met een beweegbaar gedeelte langs de IJsselkade is technisch mogelijk. De binnen de studie aangedragen modellen en oplossingen bevatten voldoende positieve elementen om tot een maatschappelijk acceptabel ontwerp te komen. De kosten worden geraamd op f 40 miljoen meer dan bij realisatie van een vaste kering

Waterkering Dordrecht - Afstudeerverslag S. van 't Verlaat

Probleembeschrijving

De hoofdwaterkering van Dordrecht, waarvan de Voorstraat een belangrijk onderdeel vormt, is vanaf het eind van de jaren zeventig onderwerp van studie geweest. De kering voldeed niet aan de eisen van de Deltawet en moest hieraan aangepast worden. Ondanks de aanleg van de Stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg, waardoor de studie tijdelijk stil is komen te liggen, is de toekomstige verwachte maatgevende hoogwaterstand zo hoog, dat er behoefte is aan een oplossing voor de hoofdwaterkering in Dordrecht.

De gehele binnenstad van Dordrecht heeft de status van beschermd stadsgebied. Het huidige tracé over de Voorstraat, loopt dwars door een druk winkelgebied. Gezien deze factoren vereist het zoeken naar een oplossing veel aandacht voor de inpassing van de waterkering in het stadsbeeld. Een veelbelovend alternatief uit eerdere studies is een keermuur geïntegreerd in de buitendijkse huizen van de Voorstraat. Deze oplossing is door de hoge kosten en protesten van bewoners en ondernemers nooit gerealiseerd.

Alternatieven en uitwerking

In deze studie zijn vijf alternatieve tracés opgesteld. Op elk tracé komen bepaalde karakteristieke profielen voor. Voor elk profiel is de constructie gekozen die hierbij het beste past. Bij de keuze hebben de criteria die afgeleid zijn van de stedenbouwkundige en cultuurhistorische aspecten de meeste waarde gekregen.

De constructies die op het gekozen tracé worden toegepast zijn: een keermuur geïntegreerd in de panden en een schuifkering geïntegreerd in de kaden. Beide constructies combineren een waterkerende functie met een bestaande functie. Hierdoor besparen ze schaarse ruimte, wat ze uitermate geschikt maakt voor waterkeren in stedelijk gebied. De inpassing van de keringen in het stadsgezicht is goed, omdat ze onder dagelijkse omstandigheden nauwelijks zichtbaar aanwezig zijn.

Op een representatief deeltraject is de verticale schuifkering, geïntegreerd in de kademuur, uitgewerkt. De kering bestaat uit secties van 20 m. Het bewegingssysteem bestaat uit twee hydraulische vijzels per sectie. De afsluiting met de betonconstructie bestaat uit een tubeafdichting en tussen de schuiven uit een flexibele slab. De geraamde kosten bedragen f 28.000,-/m¹.

Conclusies

Uit het onderzoek is geconcludeerd, dat de waterkering van Dordrecht niet zonder vergaande en kostbare ingrepen kan worden versterkt. Uitgaande van een planperiode van 100 jaar, biedt het gekozen alternatief een duurzame oplossing voor de toekomst. Een algemene conclusie is, dat constructies die hun waterkerende functie integreren met een bestaande functie het meest geschikt zijn voor waterkeren in gebieden waar weinig ruimte beschikbaar is, zoals in steden.

Woningfundering als dijkversterking (Dordtse Wand)

In Dordrecht wordt een "stukje" Deltawerken gerealiseerd. De Noordendijk gelegen langs de Beneden-Merwede moet versterkt worden. Langs de dijk verrijst een 500 meter lange L-vormige keerwand, die met 398 betonnen heipalen wordt onderheid. De dijkversterking wordt gecombineerd met de bouw van 120 huizen. Dertig daarvan komen op de fundering van de keerwand.

Huidige situatie

De Noordendijk, gelegen in het Noorden van Dordrecht, is een smalle verkeersstraat, waar langs beide zijden bebouwing aanwezig is. Deze dijk bezweek in 1953 op twee plaatsen. Daarna heeft de gemeente een nieuwe waterkering geconstrueerd in samenhang met een verticale damwand. Een deel van de dijk, tussen de Groenedijk en Riedijkshaven, voldoet echter niet aan de veiligheidseisen zoals vastgelegd in de Deltawet van 1958. De dijk is hoog genoeg, maar de stabiliteit van het dijkdeel is onvoldoende.

Er is een aantal plannen gemaakt om dit probleem op te lossen. De gemeente heeft er uiteindelijk voor gekozen de "Zuidvariant" uit te voeren. Dit plan bestaat uit de aanleg van een 500 meter lange L-vormige keerwand. De dijkverbetering wordt gecombineerd met de bouw van 120 woningen. Aan de zuidzijde van de dijk wordt de waterkering geïntegreerd in de fundering van dertig huizen. De huidige bebouwing aan de noordkant kan behouden blijven.

Levensduur

Volgens gebruikelijke, landelijke beginselen geldt voor een waterkering een levensduur van minimaal 100 jaar. De levensduur van de woningen zal circa vijftig jaar bedragen. Bij herbouw of verbouw van de panden dient het waterschap de kering eventueel aan te passen.

Hoogte

De kerende hoogte wordt uitgesplitst naar de situatie A, waarin de verticale zijde van de L-wand deel uitmaakt van de voorgevel van de panden en naar de situatie B, waarin de verticale zijde van de L-wand vooruitgeschoven is t.o.v. de voorgevel van de panden. In situatie A is de ontwerphoogte afgestemd op een levensduur van 100 jaar (MHW + zeespiegelrijzing + waakhoogte + zetting). In situatie B bedraagt de levensduur 50 jaar met een mogelijk dijkverhoging voor nog eens een periode van 50 jaar (zeespiegelrijzing voor 50 jaar is zo'n 0,65 meter lager dan voor 100 jaar).

Waterdichtheid

De L-vormige keerwand moet waterdicht en erosiebestendig zijn. Dilatatievoegen zoals de stortnaad tussen vloer en voorwand moeten worden gedicht met voegprofielen en/of voegplaten.

Onder- en achterloopsheid

De kwallengte, aan de hand van de formule van Bligh en Lane bepaald, bedraagt $L \geq 7 \times H$. Het kwelscherm, dat aan de rivierzijde van de waterkering komt, wordt onder de L-vormige wand geplaatst die reikt tot zes meter onder N.A.P., zodat onderloopsheid wordt voorkomen. De kans op achterloopsheid is niet aanwezig.

Eigendom, beheer en onderhoud

De toekomstige bewoners zijn eigenaar van de grond. Het waterschap is eigenaar van de L-wand en heeft een eeuwigdurend opstalrecht voor de kering. Uiteraard is het waterschap ook verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van de bijzondere waterkering. Overigens zal het onderhoud miniem zijn, vanwege de toegepaste constructie.

Interviews

In het kader van het literatuuronderzoek, zijn er enkele gesprekken geweest met medewerkers van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat, welke allen betrokken zijn, of waren, bij dijkversterkingprojecten. Van deze gesprekken zijn korte samenvattingen gemaakt die in deze paragraaf verzameld zijn.

Verslag gesprek met dhr. ir. J.B.A. Weijers

De heer Weijers is projectmanager Steenzettingen bij de afdeling Waterkeren van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.

datum: 4-10-1999

onderwerp: Knelpunten dijkversterkingen Zuid-Holland

Probleemgebied

De grootste problemen zitten in de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard. De bebouwing staat daar veelal direct op of aan de dijk. De bebouwing is daar vaak al oud. Dit zorgt voor extra problemen, omdat het vaak monumentale dijkhuisjes betreft. De dorpen zelf zijn te karakteriseren als borden met hoge randen. Uitbreidingen van de dorpen vonden in het verleden plaats door de bebouwing langs de dijk voort te zetten, en niet de laag gelegen polder in.

Oplossingen dijkverhogingen.

1. Kijk alleen naar de dijk en probeer die zo goed mogelijk tussen de bestaande bebouwing door te leggen.
2. Kijk niet naar de dijk, maar naar de MHW standen. Indien die verlaagd kunnen worden, zijn dijkverhogingen voorlopig niet nodig. Er zijn een aantal manieren voor een MHW verlaging:
 - De uiterwaarden verlagen, zodat er meer m^3 berging beschikbaar komt tussen de bandijken.
 - Dijken naar achteren verleggen, zodat de uiterwaarden groter worden en er meer water opgeslagen kan worden in de uiterwaarden.
 - Water uit de Waal versneld afvoeren naar de Biesbosch en het daar bergen, in plaats van in de rivier.
 - Het instellen van bassins waar tijdens het passeren van de piekafvoer een gedeelte van de hoogwatergolf geborgen kan worden. Met deze methode is een afvlakking van $500 m^3/s$ gedurende 2 dagen mogelijk.
 - Instellen van calamiteitenpolders. Dit zijn polders die in principe gewoon gebruikt worden voor landbouw en bewoning, maar die in het geval van nood, onder water gezet kunnen worden om de top van de afvoergolf af te vlakken.

Dijkverlegging

In opdracht van de politiek is er onderzoek verricht naar de dijkverlegging. Dit bleek een haalbare kaart. Er zijn naar mening van Joop Weijers alleen wel enkele essentiële punten vergeten, waardoor het totaalplaatje niet meer klopt. Er is naar de riviertechnische aspecten gekeken, zoals de MHW verlagingen en de morfologische stabiliteit van de rivier. Er is niet gekeken naar de landelijke en maatschappelijke effecten. Indien deze ook meegenomen worden, dan is dijkverlegging zeer waarschijnlijk geen haalbaar alternatief.

Uiterwaardverlaging

Plaatselijke uiterwaardverlagingen in combinatie met dijkverhogingen zijn wel mogelijk. De dijkverbeteringen kunnen dan beperkt blijven.

Langs de Waal is dit niet echt een oplossing, omdat op veel plaatsen de uiterwaarden al ontkleid zijn voor de baksteenfabricage. De steenfabrieken zelf vormen wel een probleem, omdat ze, samen met de ontsluitingsweg naar de dijk, een puist in de uiterwaard zijn. Hierdoor ontstaat er enige opstuwing tijdens hoogwater.

Langs de Lek is het verdiepen van de rivier ook een probleem, omdat de Lek meer een grote sloot is, dan een rivier. De Lek heeft nauwelijks uiterwaarden en deze kunnen dus ook moeilijk verdiept worden. Naar de versnelde afvoer van water naar de Biesbosch wordt nog onderzoek gedaan.

Knelpunten

Enkele knelpunten in Nederland, die opgesteld zijn in het kader van het IRMA-project zijn bijgevoegd in de bijlagen. Deze knelpunten hebben voornamelijk betrekking op doorstroom beperkende objecten in de rivier, zoals dammen naar bruggen en veren, bebouwing in de uiterwaarden en dergelijke.

Alblasserwaard

De Alblasserwaard heeft het probleem dat veel oudere plaatsen op en langs de dijk liggen. Het zuidelijke deel van de polder heeft zeer slappe grond.

Indien uitgegaan wordt van een MHW-verhoging van één meter, dan wordt het hele zuiden van de Alblasserwaard een probleem. Enerzijds vanwege de bebouwing, anderzijds vanwege de slappe ondergrond. Door deze slappe ondergrond is het moeilijk om grote dijkverhogingen uit te voeren. De wateroverspanningen blijven tot wel 30 jaar aanwezig.

Verslag gesprek met dhr. ing. R.J. Termaat.

De heer Termaat is projectmanager en onderzoekscoördinator Grondmechanica bij de afdeling (Milieu) Geotechniek van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat

datum: 14-10-1999

onderwerp: Knelpunten dijkversterkingen Zuid-Holland m.b.t. de ondergrond

Probleemgebieden

Binnen het Zuid-Hollandse rivierengebied zijn twee grote probleemgebieden te onderscheiden, met betrekking tot een slappe ondergrond. Het eerste gebied is de Alblasserwaard, het tweede gebied de Krimpenerwaard. Beide gebieden hebben een zelfde soort probleem met de slappe ondergrond, alleen is de aanpak in het verleden in beide gebieden duidelijk verschillend geweest. Er is per dijkkringgebied een algemene indruk weer te geven.

Krimpenerwaard

Bij dijkversterkingen in het verleden is er voor gekozen gebruik te maken van het minimaal vereiste profiel. De dijken zijn allemaal voldoende versterkt en verhoogd om aan de normen te voldoen, maar er is geen overhoogte aangebracht, er is geen extra breedte beschikbaar en er zijn geen bermen aanwezig. Voor dijkversterkingen op de traditionele manier zijn de mogelijkheden uitgeput, dat wil zeggen voor die locaties waar er slechts een beperkte hoeveelheid ruimte ter beschikking is (ten gevolge van bebouwing, ontbreken van voorland enzovoort).

Oplossingen, waarbij de ondergrond niet extra wordt belast, bestaan uit diverse mogelijkheden in het ophogen met lichtere materialen. Oplossingen die in dit kader al worden toegepast, zijn bijvoorbeeld het ontgraven van een deel van de dijk en tevens het verplaatsen van de verkeersweg van de kruin naar een binnenberm, waardoor het aandrijvend moment kleiner wordt en de stabiliteit dus toeneemt of het steiler maken van het talud, waardoor het ruimtebeslag kleiner wordt.

Het is ook mogelijk gebruik te maken van zogenaamde uitgekiende constructies, zoals glazen keermuren (voorgesteld bij Lekkerkerk) of een muur van een pand waarin de waterkering is geïntegreerd (restaurant in Gorinchem).

Voor eerder genoemde problemen is men op zoek naar iets nieuws, een oplossing die onderhoudsvrij is (of tenminste onderhoudsarm) en voldoende hoog om het rivierwater voor langere tijd te keren, zodat verdere dijkversterkingen voorlopig uit kunnen blijven.

Alblasserwaard

De Alblasserwaard kent een ander soort problemen dan de Krimpenerwaard. Op veel plaatsen is in het verleden al een dijkversterking toegepast, waarbij er gekozen is voor een ruim profiel. Daardoor is de beschikbare ruimte voor dijkversterking groter dan in de Krimpenerwaard. Een probleem dat wel speelt, is de nog steeds aanwezige wateroverspanning, die veroorzaakt is door versterkingen in het verleden. Ook zijn er nog steeds wel knelpunten aan te wijzen, waar wel gewerkt is met het minimaal benodigde profiel en waar versterking dus voor problemen zorgt in ruimtelijke zin.

Verdekt probleem

De dijken worden steeds zwaarder, door de vele dijkversterkingrondes, die nodig zijn om de maaiveldverlaging te compenseren en de hogere afvoeren op te vangen. Elke verhoging brengt wateroverspanningen met zich mee, die enige tijd (soms wel 30 jaar) nodig hebben om te verdwijnen. Dankzij de vele dijkversterkingen is op veel plaatsen de wateroverspanning van de vorige dijkversterking nog niet verdwenen. De dijken voldoet dus niet aan de veiligheidsnorm, terwijl een verdere ophoging toch al gewenst is. Dit probleem speelt bijvoorbeeld in Alblaserdam-Noord en Nieuw-Lekkerland.

Nieuwe Leidraden

Er is behoefte aan nieuwe leidraden op het gebied van veiligheidsfactoren. Zo is de waterspanning mogelijk te beschouwen als proefbelasting voor de dijk. Verder moet in de veiligheidsfilosofie ook de levensduur worden verwerkt. Er moet ook gekeken worden naar de nog steeds aanwezige wateroverspanningen, die veroorzaakt worden door een veranderde oriëntatie van de kleiplaatjes, waardoor een kleiner contactoppervlak ontstaat. Ook kan in de berm misschien wel gewerkt worden met verticale drains.

Uitdagingen

Binnen de waterkeringen liggen nog vele uitdagingen. Zo kan er gekeken worden naar flexibele constructies (b.v. kistdammen) in plaats van de nu gebruikte diepwand, een vrij stijve en zware constructie. Ook moet er gekeken worden naar vervangingen voor dijklichamen, in de vorm van alternatieve constructies. Gedacht wordt aan vreemde vormen en alternatieve keerwanden.

Verslag gesprek met mw. ir. A.M. de Leeuw

Mevrouw de Leeuw is productgroepleider Inundatierisico bij de afdeling Waterkeren van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat

datum: 18-10-1999

onderwerp: Risicobenadering in afstudeerproject

Werkplan

Mevrouw de Leeuw heeft het werkplan doorgelezen en enkele op- en aanmerkingen geplaatst. De aantekeningen zijn gemaakt uit het oogpunt van een niet geïnformeerde lezer. Deze kunnen doorgenomen worden en gebruikt worden.

Ze heeft wel een idee voor de keuze van de casestudies. Deze kunnen geselecteerd worden in overleg met de provincie Zuid-Holland. Mogelijke contacten (veel gebruikt door mevrouw de Leeuw): Jan Westerhoven (leidinggevend) of René Piek (werkvloer)

Te volgen strategie voor inundatierisico's

Momenteel is er bij het inschatten van inundatierisico's een punt bereikt waarbij er daadwerkelijk schade- en risicoberekeningen uitgevoerd kunnen worden.

Er moet afgestapt worden van het ultieme veiligheidsgevoel annex benadering. De benadering gebaseerd op risico's moet ingeburgerd raken. Als er dan wat gebeurt, wordt tenminste bereikt dat niet het ministerie van V&W aansprakelijk gesteld wordt.

Risico's

Risico is gedefinieerd als kans maal gevolg. De risico's worden eigenlijk constant groter, door de economische groei, omdat de mogelijke gevolgen hiermee toenemen. Risico's kunnen groter worden bij functiecombinaties, zoals bij multifunctionele waterkeringen. Vergroting van het risico kan anders gecompenseerd worden dan door wat aan de dijk te doen. Door bijvoorbeeld betere vluchtwegen kan het risico beperkt worden. Bij multifunctionele waterkeringen is dit vrijwel onmogelijk.

Veldonderzoeken

Er zijn enkele excursies geweest, waarin de projectgebieden zijn geobserveerd en fotografische vastleggingen zijn uitgevoerd, alsmede enkele grove metingen. Van deze excursies zal kort verslag worden gedaan.

Excursie I: Globale gebiedsverkenning Alblasserwaard

Datum: 14 oktober 1999
Deelnemers: afstudeerders en mw. Nurmohamed
Object: Alblasserwaard

Inleiding

Om een indruk te krijgen van het mogelijke projectgebied is er een tocht gemaakt langs de dijken van de Alblasserwaard. Hierbij zijn zowel de Lekdijken als de Waaldijken bekeken. Van een aantal karakteristieke punten zijn fotografische opnamen gemaakt. Deze locaties zullen hieronder worden beschreven. Er is een duidelijk onderscheid te maken tussen de rivierkenmerken van de Waal en de Lek. De Waal is een brede rivier met, over het algemeen brede uiterwaarden. Hoewel de waterkering niet op alle locaties op hoogte en op sterkte is, is er meestal wel een breed voorland (uiterwaard) aanwezig. De Lek is een rivier die vrijwel permanent tegen de winterdijken aan staat. Het onderscheid tussen zomerkades en winterdijken, zoals bij de Waal, is dan niet te maken.

De rondgang langs de dijken is begonnen in Alblasserdam bij de rivier de Noord. Deze werd gevolgd richting Kinderdijk, waarna de loop van de Lek is gevolgd tot aan Lexmond. Hierna is de Alblasserwaard doorgestoken naar Gorinchem. Van hieruit werd de Waal gevolgd tot aan Hardinxveld-Giessendam. De opvallendste locaties worden hieronder kort weergegeven.

Alblasserdam-Noord

Op deze locatie werd een dijkvak aangetroffen dat door middel van hekken afgesloten was voor passanten. Opvallend was dat de dijk hoger leek dan de dijken aan weerszijden van het dijkvak. Een verklaring hiervoor zou de aanwezigheid van overspannen water kunnen zijn. De ontoegankelijkheid van dit dijkvak versterkte deze opinie. Verder kan het dijkvak gekenmerkt worden als een robuuste dijk, met een lage, brede teen van stortsteen, een steil overgangsgebied van zetsteen en een redelijk steil grastalud (1:2) tot aan de vrij liggende kruin. Binnendijks is een verkeersweg aanwezig op gemeentelijk niveau. Tevens werden binnendijks enkele woningen aangetroffen, welke deels in de waterkering werden opgenomen door dijkversterkingen na bouw ervan. (foto 1-5)

Kinderdijk

De ingang van Kinderdijk, West-Kinderdijk genaamd, werd gekenmerkt door een duidelijk herkenbaar wiel. Op die locatie was de waterkering buitendijks van de dijkdoorbraak aangebracht. Het binnendijkse gebied is nu een waterpartij met enige recreatie. (foto 6-7) De dijk bij Kinderdijk wordt gekenmerkt door een intensieve tweezijdige bebouwing. Buitendijks zijn enige bedrijven gevestigd, waaronder IHC en een scheepswerf. Deze bedrijven liggen half voor, half in de dijk. Binnendijks is een groot aantal typische dijkhuizen aanwezig. Het is duidelijk zichtbaar, dat dijkversterkingen in het verleden invloed hebben gehad op de hoogteligging van de huizen ten opzichte van het straatniveau. (foto 8-12)

Lekdijk-West

De waterkering die vanuit Kinderdijk stroomopwaarts langs de Lek loopt, de Lekdijk-west, kan beschouwd worden als een typische Lekdijk. De kering kent vrij steile taluds (1:2) en heeft permanent een waterkerende functie. Op de kruin is de verkeersweg gelegen. Binnendijks liggen huizen en boerderijen, buitendijks ligt direct de rivier. Dit betekent dat de dijk ingesnoerd ligt en geen mogelijkheid heeft om naar welke kant dan ook uitgebreid te worden ten behoeve van versterking. De opnames zijn gemaakt nabij Streefkerk. (foto 14-15)

Verbetering tussen Langerak en Tienhoven

Tijdens de excursie werd ter hoogte van Langerak een dijkvak aangetroffen waar men bezig was de dijk aan de zijanten te versterken. Hiervan is een opname gemaakt. (foto 16) Over de lengte van zo'n 2 km werden nog een enkele verbeteringsprojecten aangetroffen. Er was een stuk waarbij buitendijks zand was gestort en op enkele plaatsen ook zinkstukken. Hiervan is een opname gemaakt (foto 17), evenals van de noodzaak tot versterking, zichtbaar in de scheuren in het wegdek en in de steilte van het talud (minder dan 1:2) (foto 18).

Tienhoven

In Tienhoven staat de St. Nicolaaskerk, een Nederlands Hervormde kerk, eigenlijk midden in de dijk. Deze kerk is echter al zo'n acht eeuwen oud en een erkend monument, waardoor afbraak nooit een optie is geweest. Ter compensatie van het ontbreken van een waterkering op die locatie, is de dijk er a.h.w. omheen gelegd. Dit geeft vreemde beelden, vooral door niveauverschillen links en rechts van de kerk (foto 19-21).

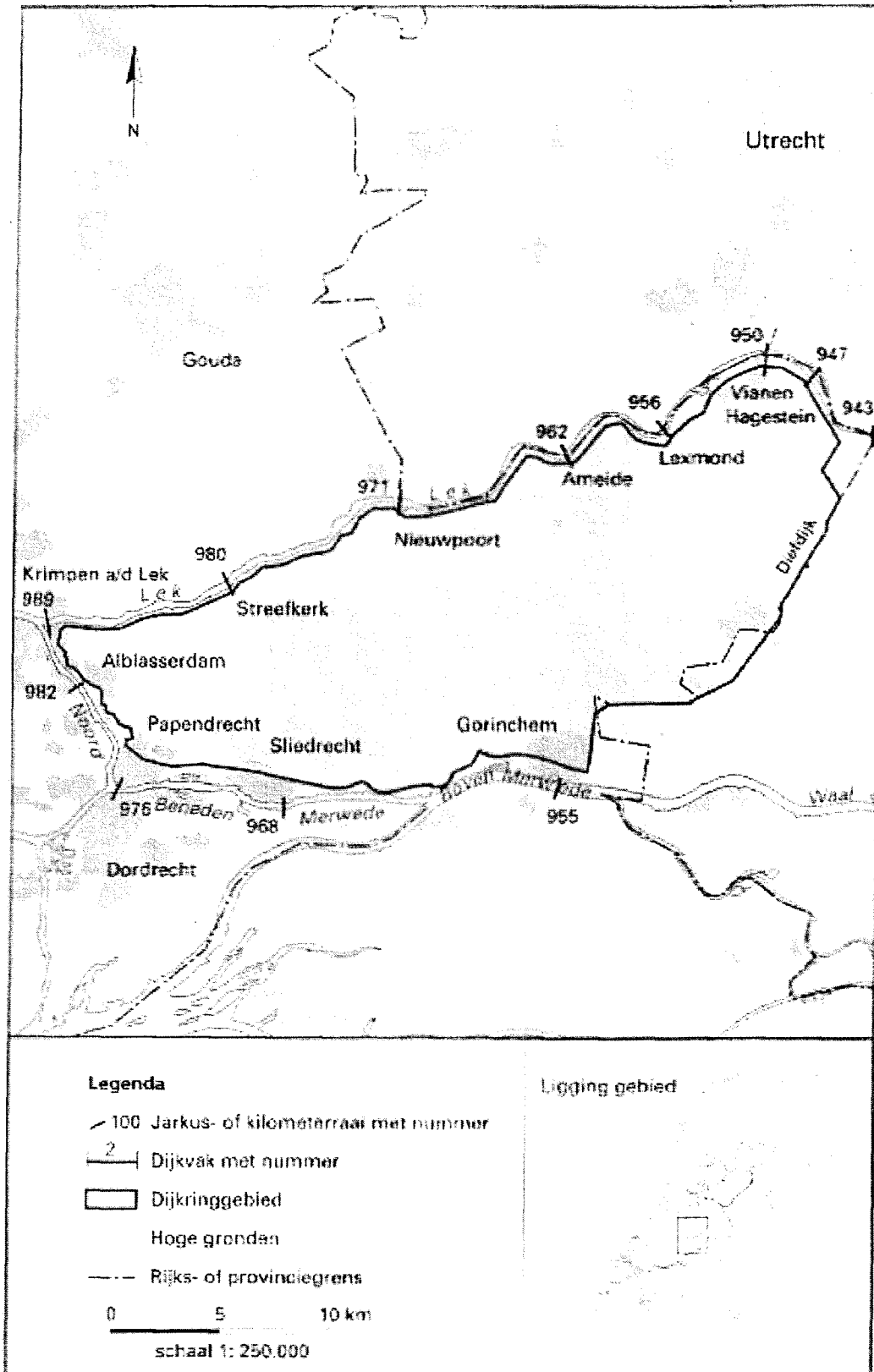
Boven-Hardinxveld

In Boven-Hardinxveld wordt aan de dijk gewerkt. In opdracht van de directie Zuid-Holland wordt er een asfaltverharding op het dijktaalud aangebracht, over zetsteen heen (foto 22). Goed zichtbaar is vlak achter de dijk waar enkele problemen zitten, er zijn scheuren zichtbaar en er zijn veel leidingen aanwezig (foto 23). Daarnaast is te zien wat de invloed is van slappe grond op bestaande bebouwing. Opgenomen is een monumentaal achttiende-eeuws pand, waar scheuren in te zien zijn en er ook duidelijk sprake is van verzakking van delen van het pand (foto 24 en 25)

Hardinxveld-Giessendam

Op de dijk van Hardinxveld-Giessendam is zichtbaar wat te problemen zijn als de dijk aan twee zijden bebouwing heeft. Dit ruimtegebrek zorgt ervoor dat niet traditioneel kan worden opgehoogd. Als oplossing van het knelpunt hier, is een diepwand, met een lengte van 24 meter, aangelegd. Tijdens de opname was deze diepwand nog gedeeltelijk in aanbouw. De bovenzijde van de diepwand ligt op straatniveau, hetgeen duidt op niet zozeer een verhoging, als wel een vergroting van de standzekerheid. (foto 26 en 27) Vlak achter de diepwand is te zien dat de binnendijkse bebouwing niet naast of op de waterkering ligt, maar er in. Uiteraard is dit problematisch en zeker één van de aanleidingen voor de aanleg van de diepwand. (foto 28)

Dijkkringgebied 16: Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden
 frequentie=1/2000



figuur 2: Alblasserwaard

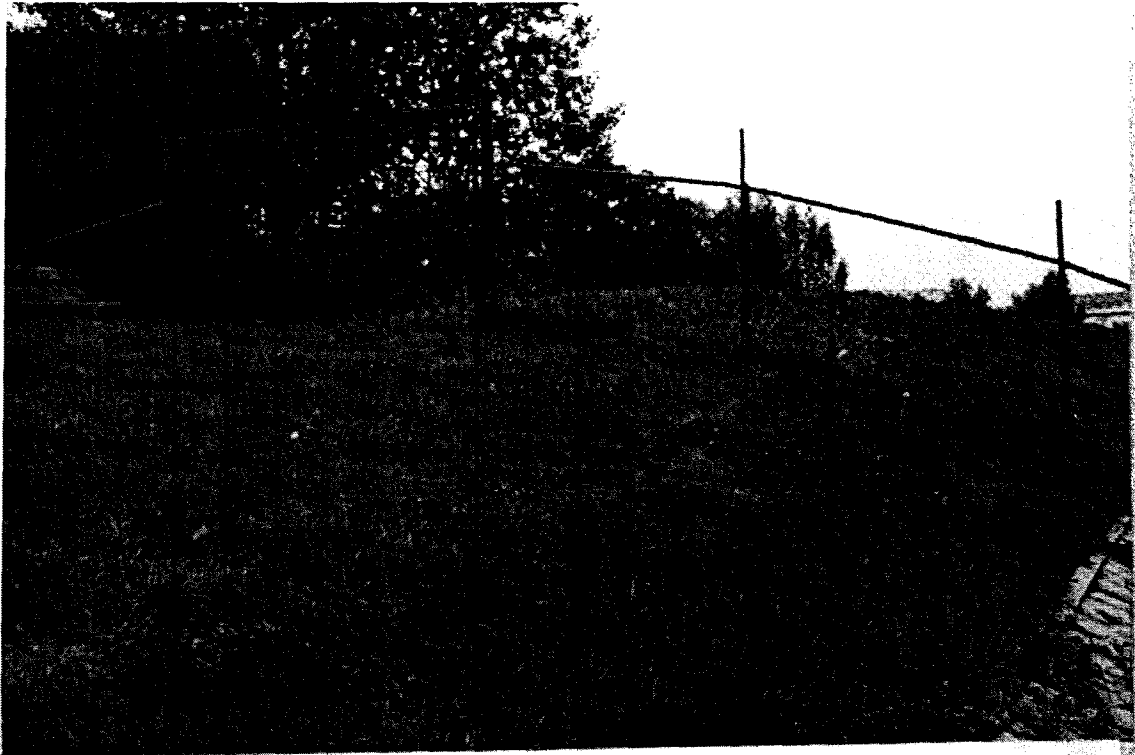


foto 1: Kruin van de dijk in Alblaserdam



foto 2: Teen van de dijk in Alblaserdam



foto 3: Afsluiting verlegde dijk in Alblasserdam

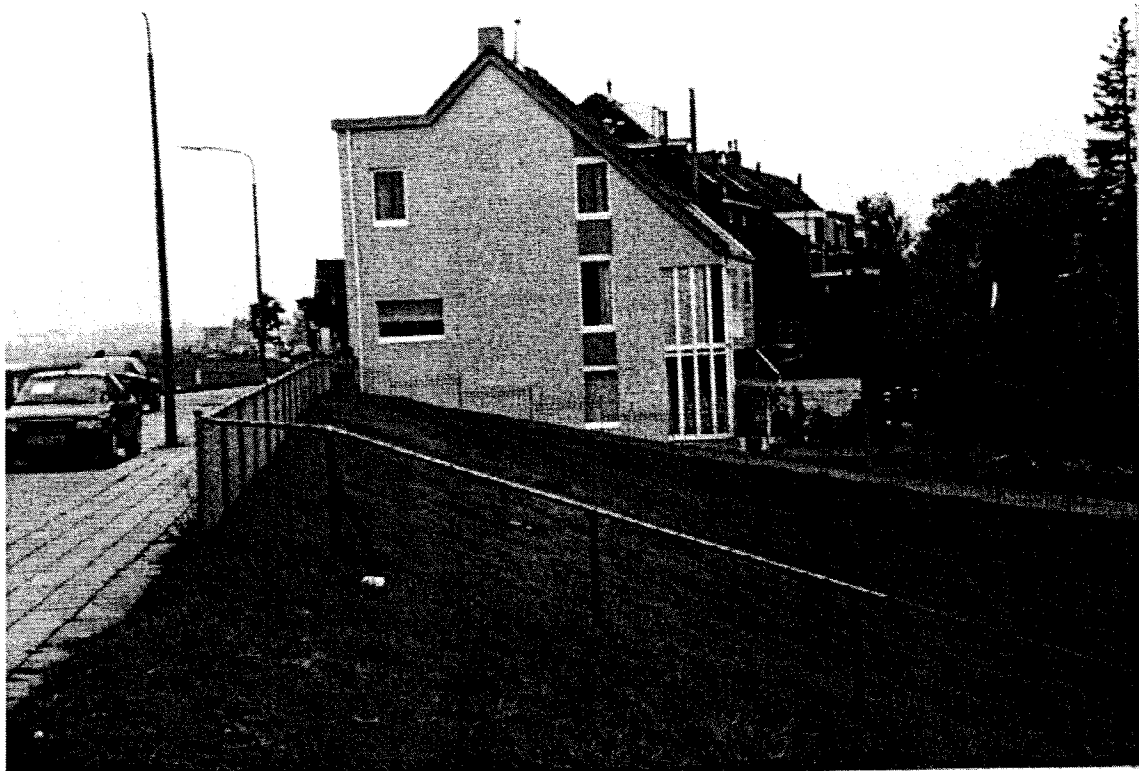


foto 4: Binnentalud dijk in Alblasserdam met dijkwoningen



foto 5: Wiel bij Kinderdijk



foto 6: Wiel bij Kinderdijk



foto 7: Gemeentegrens Alblasterdam



foto 8: Gemeentegrens Kinderdijk



foto 9: Gezicht op Kinderdijk vanuit Alblasterdam



foto 10 Buitendijkse dijkverhoging in Kinderdijk



foto 11: Scheuren in dijkwoning in Kinderdijk



foto 12: Dijkwoningen op het binnentalud in Kinderdijk



foto 13: Lekdijk nabij Streefkerk



foto 14: Steile taluds van de Lekdijk nabij Streefkerk



foto 15: Dijkversterking bij Langerak



foto 16: Zinkstukken voor dijkversterking bij Langerak



foto 17: Steil talud (minder dan 1:2) bij Tienhoven



foto 18: St. Nicolaaskerk in Tienhoven

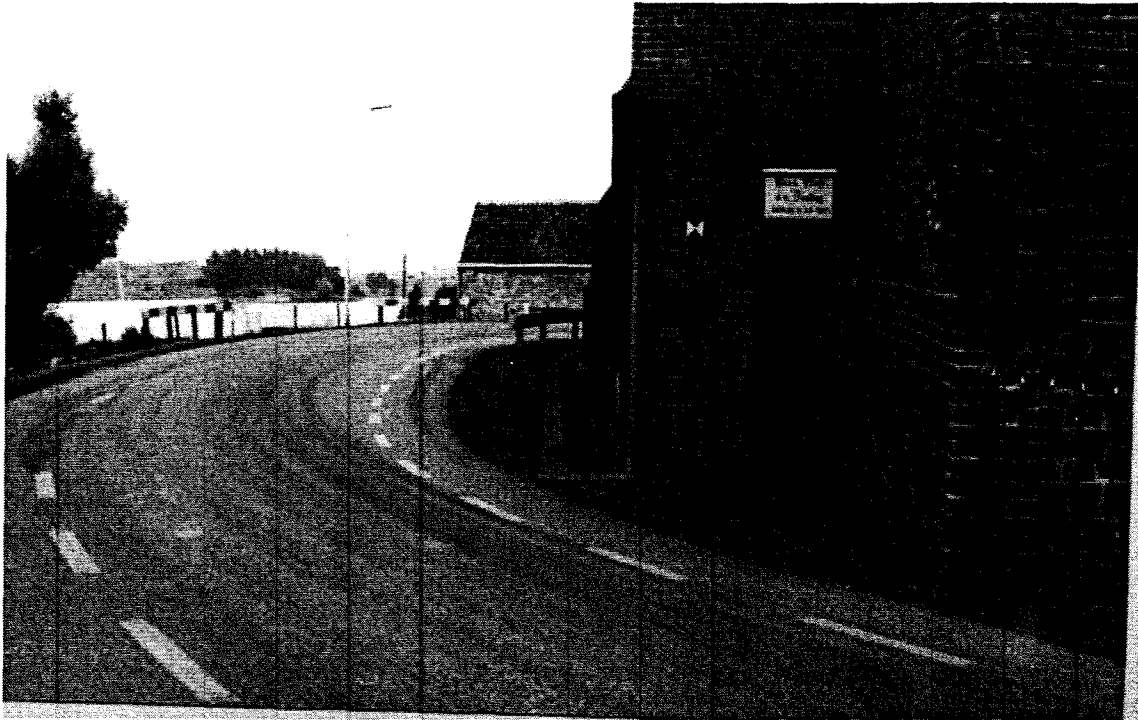


foto 19: St. Nicolaaskerk in Tienhoven



foto 20: Toelichting bij St. Nicolaaskerk in Tienhoven

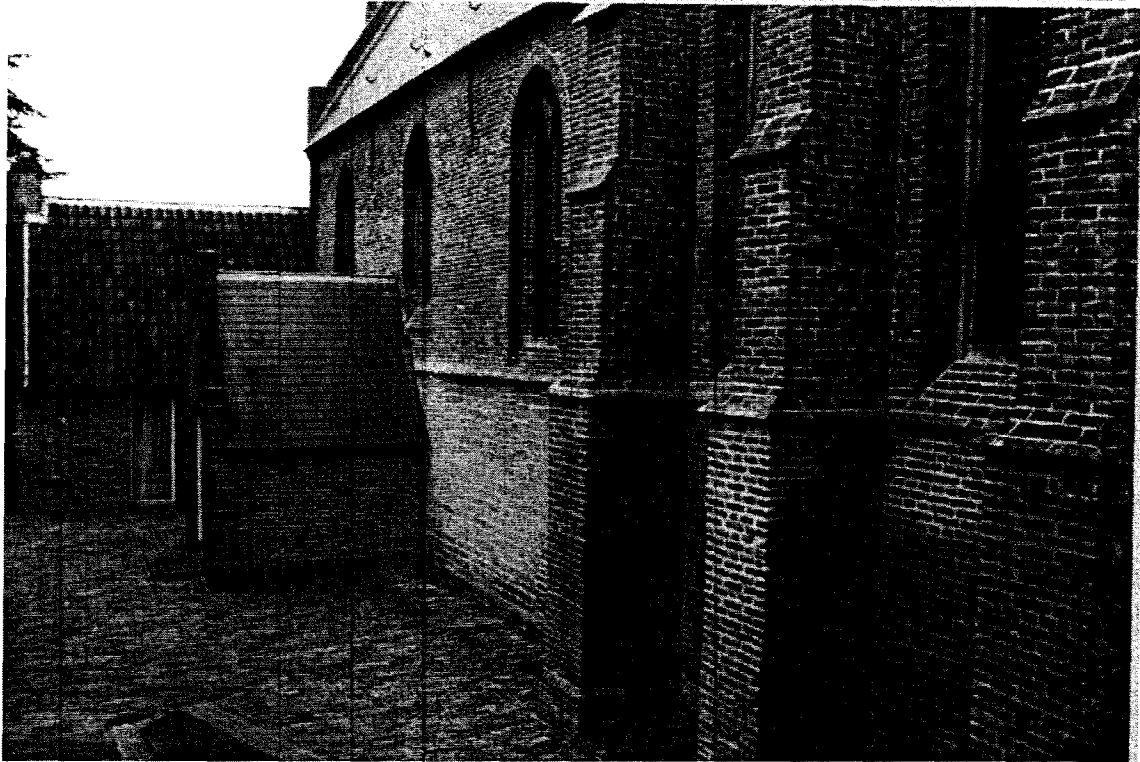


foto 21: Achterkant van de St. Nicolaaskerk in Tienhoven



foto 22: Aanbrengen Asfaltverharing op buitentalud bij Boven-Hardinxveld



foto 23: Leidingen die problematisch zijn bij dijkversterking in Boven-Hardinxveld

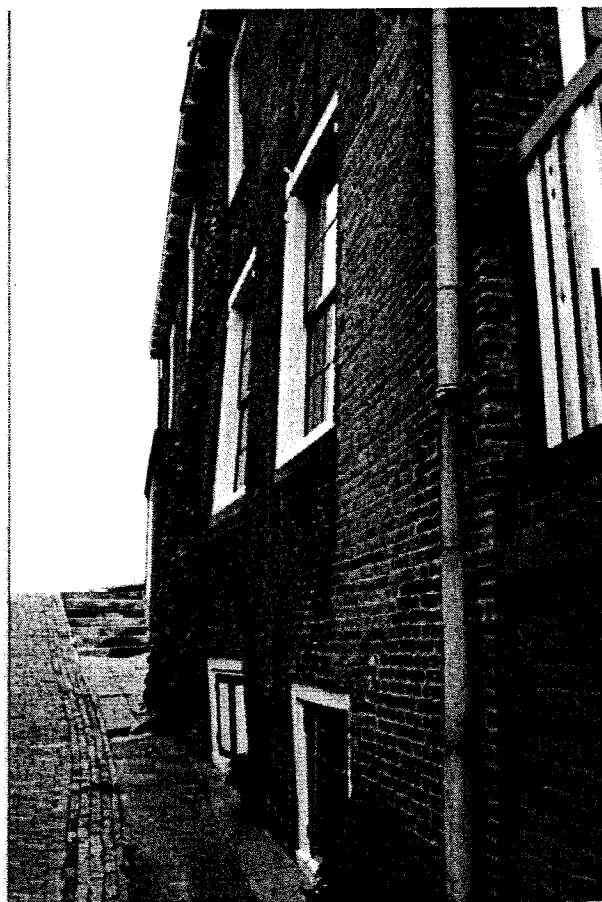


foto 24: Deels verzakte monumentale woning in Boven-Hardinxveld



foto 25: Aankondiging dijkversterking in Hardinxveld-Giessendam d.m.v. diepwand



foto 26: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam



foto 27: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam



foto 28: Aanleg diepwand in Hardinxveld-Giessendam met links dijkwoning in het binnentalud

Excursie II: Bestudering Krimpenerwaard en locaties casestudies.

Datum: 14 maart 2000

Deelnemers: Mathijs en Floris

Object: Krimpenerwaard, Ammerstol, Alblasserdam

Inleiding

Teneinde een betere indruk te krijgen van de locaties waar de casestudies uitgevoerd dienen te worden, is een speciale excursie naar deze gebieden georganiseerd. Tijdens deze excursie zijn de mogelijke locaties waar de casestudies kunnen worden uitgevoerd fotografisch vastgelegd. Tevens zijn enkele markante locaties in de Krimpenerwaard gefotografeerd.

Ammerstol

Eén van de mogelijke locaties voor een casestudy is het stadje Ammerstol. In dit stadje liggen zowel binnendijks als buitendijks woningen. Buitendijks liggen deze op een verhoogd voorland, binnendijks liggen deze overwegend aan de teen van het binnentalud, met name de monumentale woningen. Er zijn talrijke woningen te vinden die zodanig geplaatst zijn dat dijkversterking tot problemen kan leiden. (foto 30-39)

Ten westen van Ammerstol is een dijkvak op een innovatieve manier verbeterd (zie ook het rapport van Grondmechanica Delft over Bergambacht, Lekdijk-oost, Proefvak TAW). Deze innovatief verbeterde dijk is vanuit verschillende posities vastgelegd. (foto 40-43)

Krimpenerwaard

Rijdend vanuit Ammerstol naar het westen, richting Krimpen a/d Lek, ligt er in de buurt van Opperduin een proefvak, waarbij een bochtafsnijding is gerealiseerd en het vrijgekomen gebied gebruikt kan worden voor proeven. (foto 43).

Bij Lekkerkerk is een nieuwe dijk aangelegd, waarbij de bestaande bebouwing gesloopt is. Er is een waterkering aangelegd met flauwe taluds (1:4), een binnenberm en ontlastsloten. (foto 44-46)

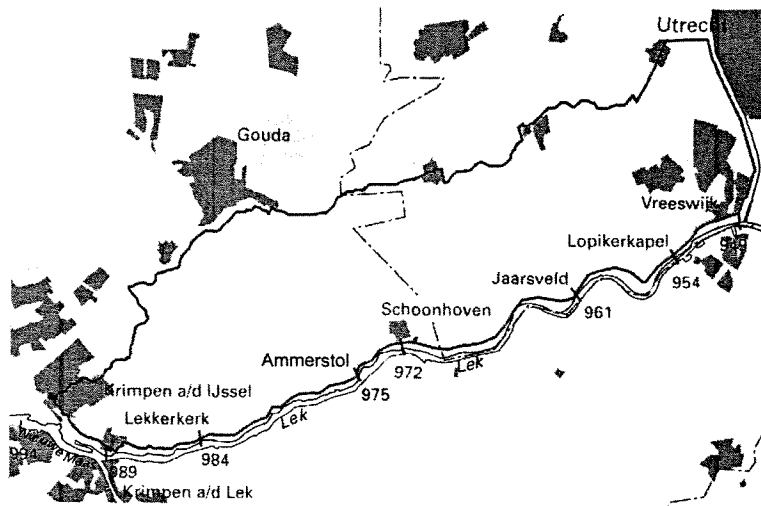
In Lekkerkerk zelf zijn enkele woningen op het buitentalud aangelegd op palen, die voor een deel verhoogd boven het voorland zijn geplaatst (foto 47-49)

Alblasserdam

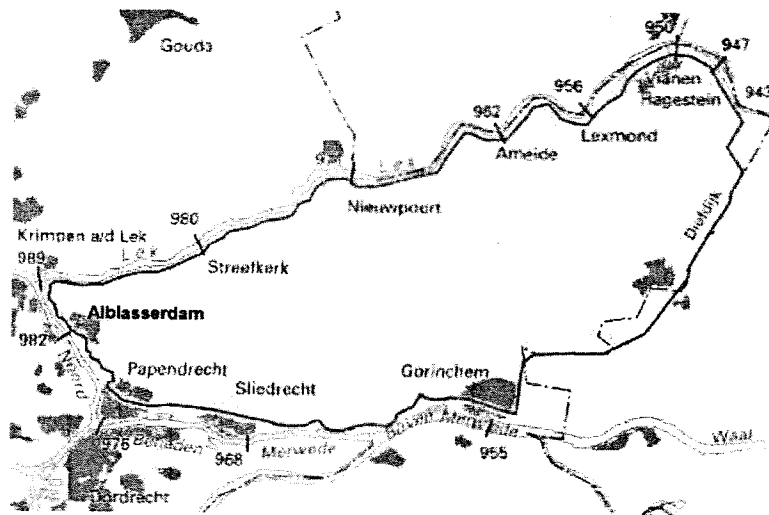
In Alblasserdam zijn enkele foto's gemaakt die de verlegde waterkering weergegeven (foto 50 en 54) en de oude (bebouwde) waterkering (foto 51-53). Daarnaast is ook de bebouwing gefotografeerd die tussen de oude en de nieuwe dijk ligt, omdat deze misschien gesloopt kan worden in het kader van een nieuwe dijkverbetering. (foto 55)



figuur 3: Ligging projectgebieden.



figuur 4: Krimpenervaard



figuur 5: Alblasterwaard



foto 29: Gemeentegrens Ammerstol



foto 30: Woningen aan de teen van het binnentalud in Ammerstol



foto 31: Woningen aan de teen van het binnentalud



foto 32: Monumentale woning aan de teen van het binnentalud



foto 33: Dijk net buiten Ammerstol, bebouwd binnentalud, geen voorland



foto 34: Gezicht op Ammerstol vanuit het oosten (links de Lek)



foto 35: Oprit naar de dijk vanuit de polder, links monumentale woning

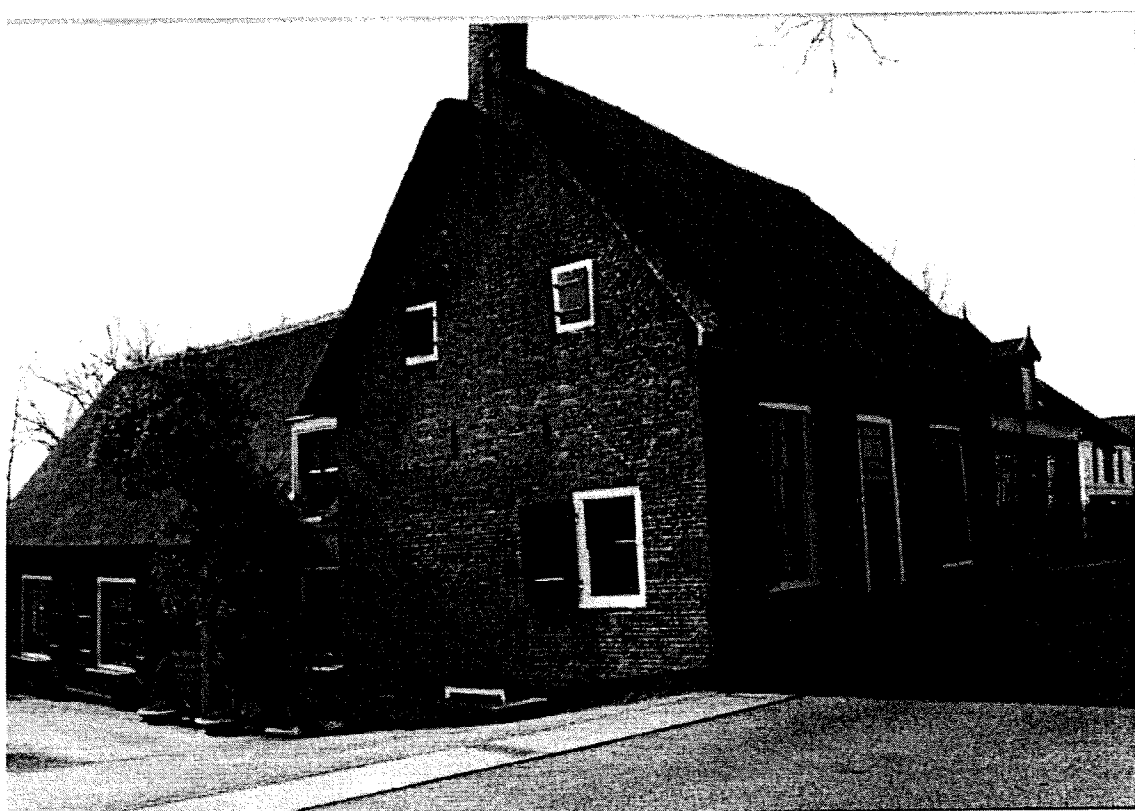


foto 36: Buitendijkse woning met sponningen voor schotbalken

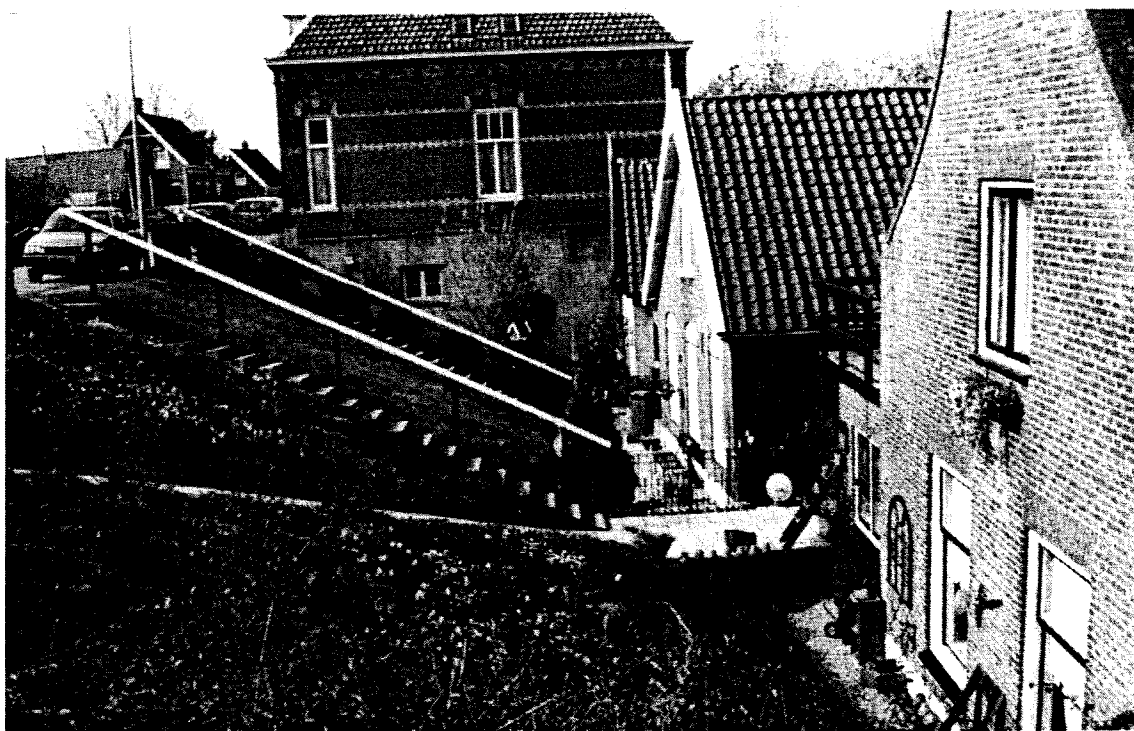


foto 37: Monumentale woningen aan de teen van het binnentalud



foto 38: Woning aan de teen van steil binnentalud (1:2)



foto 39: Trap langs het binnentalud, illustratief voor de steilheid (1:2)



foto 40: Overgang van nieuwe naar oude dijk ten westen van Ammerstol

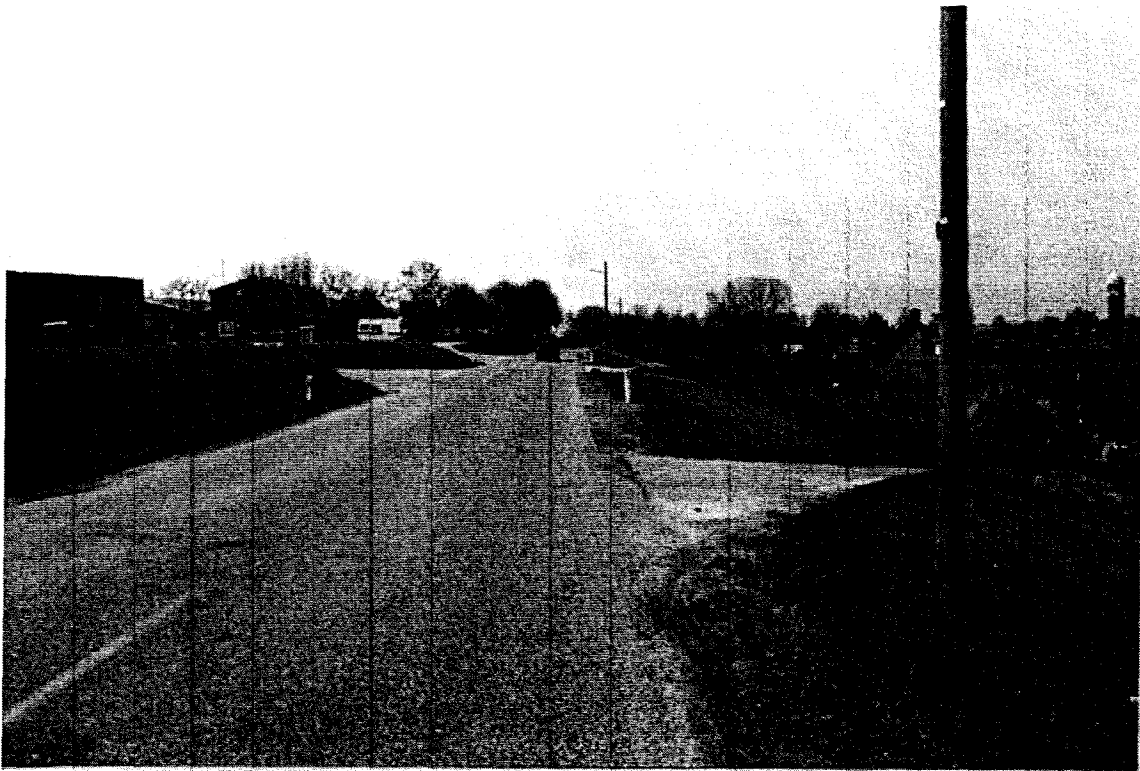


foto 41: Gezicht op innovatief verbeterde dijk buiten Ammerstol



foto 42: Innovatief verbeterde dijk



foto 43: Proefvak Lekdijk-West



foto 44: Nieuwe dijk met binnenberm

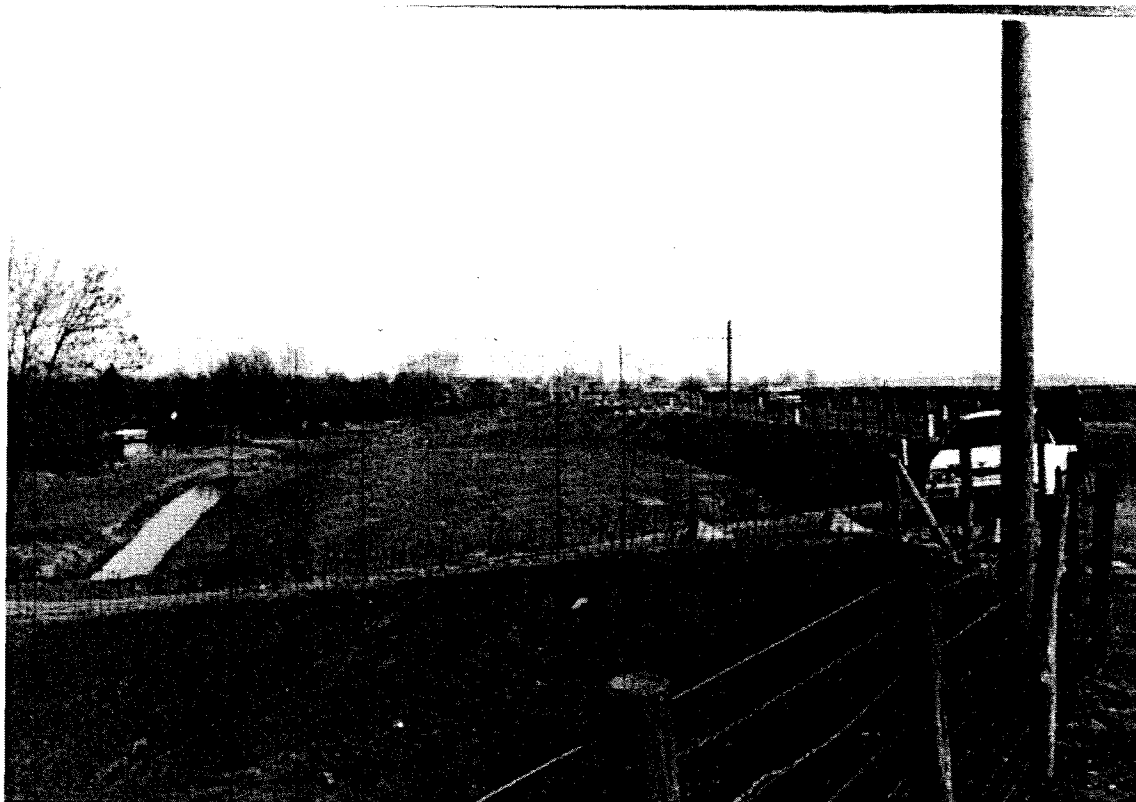


foto 45: Nieuwe dijk met binnenberm



foto 46: Binnenberm met ontlastsloot achter nieuwe dijk

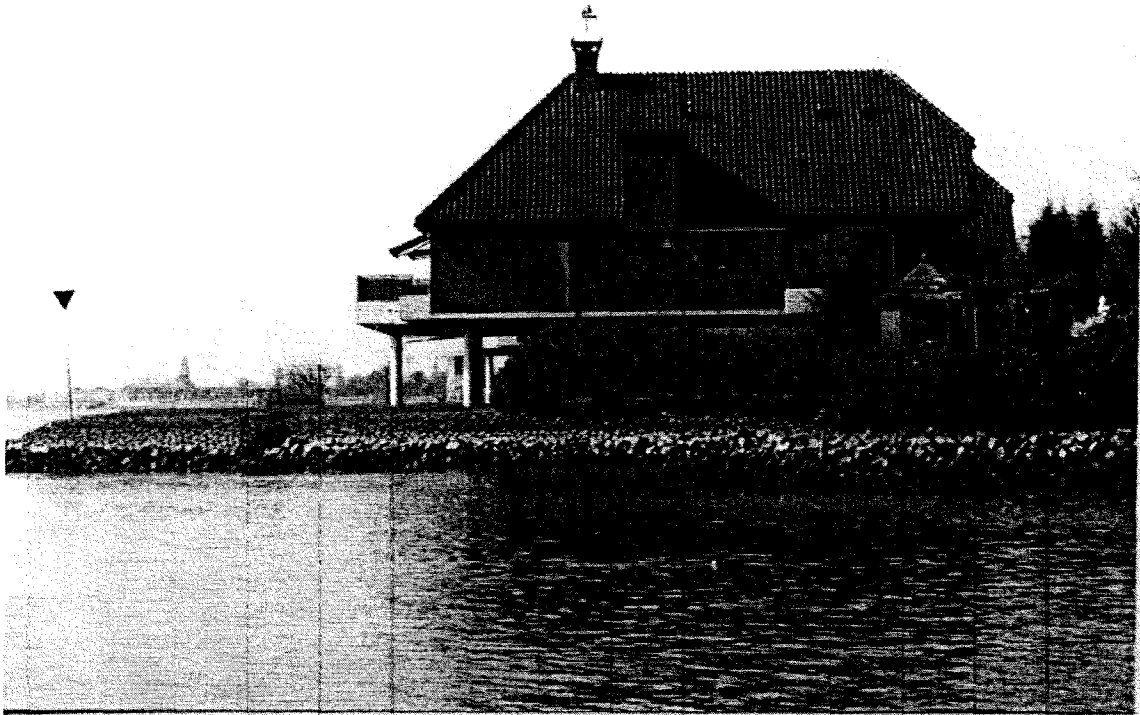


foto 47: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk

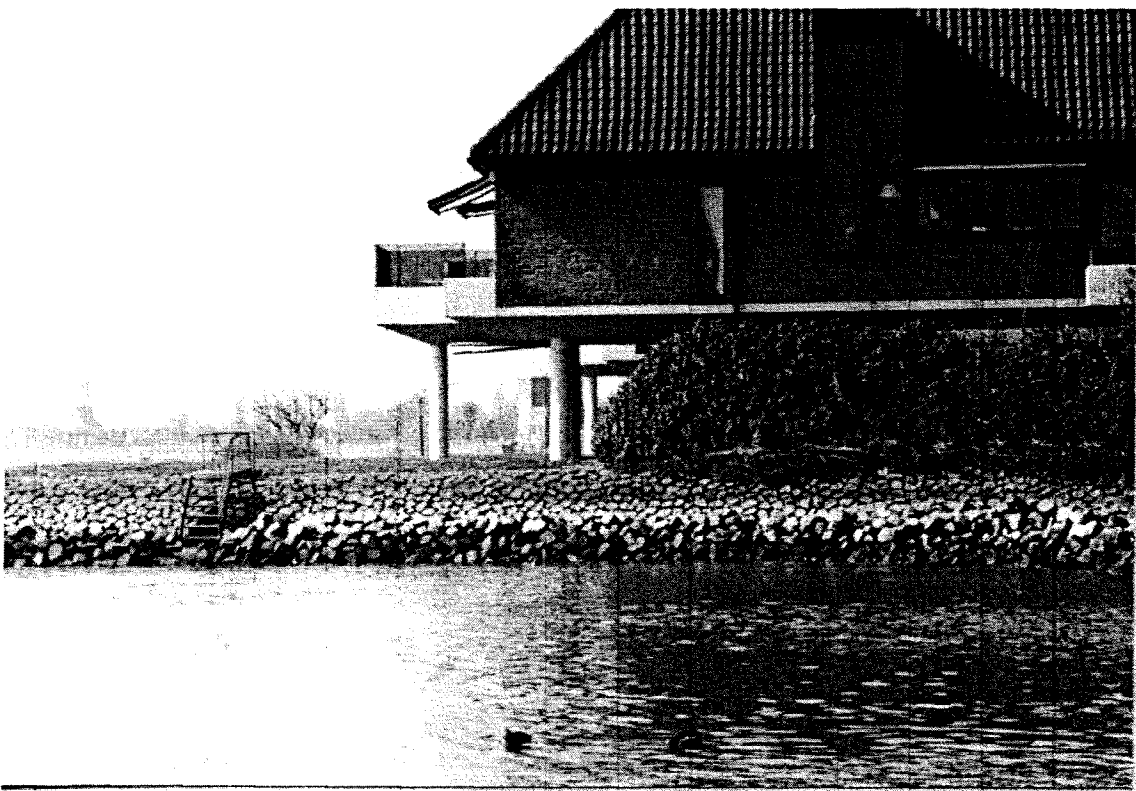


foto 48: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk



foto 49: Buitendijkse palenwoning bij Lekkerkerk



foto 50: Nieuwe dijk bij Alblasterdam

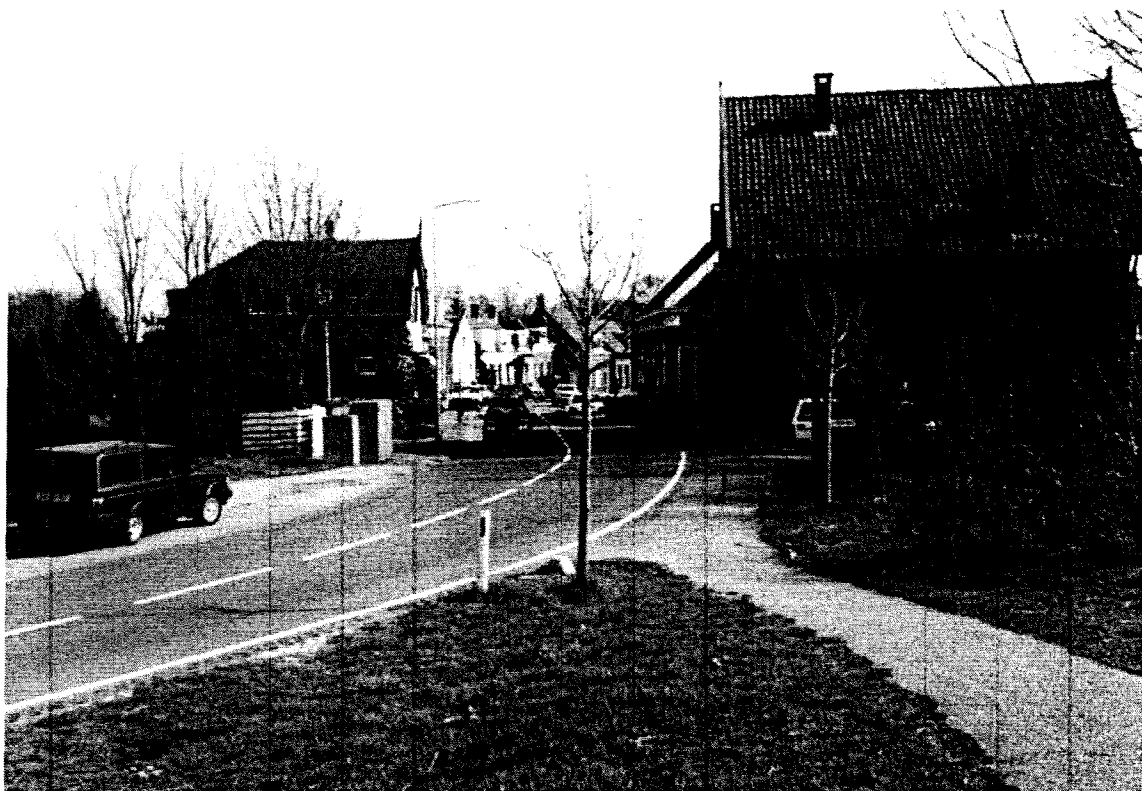


foto 51: Gezicht op de oude dijk bij Alblasterdam vanuit het westen



foto 52: Gezicht op de oude dijk bij Alblasterdam vanuit het oosten



foto 53: Gezicht op de oude dijk bij Alblasterdam vanuit het oosten



foto 54: Nieuwe dijk bij Alblasterdam vanuit het oosten



foto 55: Huidige bebouwing bij Alblasserdam tussen oude en nieuwe dijk

Excursie III: Globale metingen locaties casestudies.

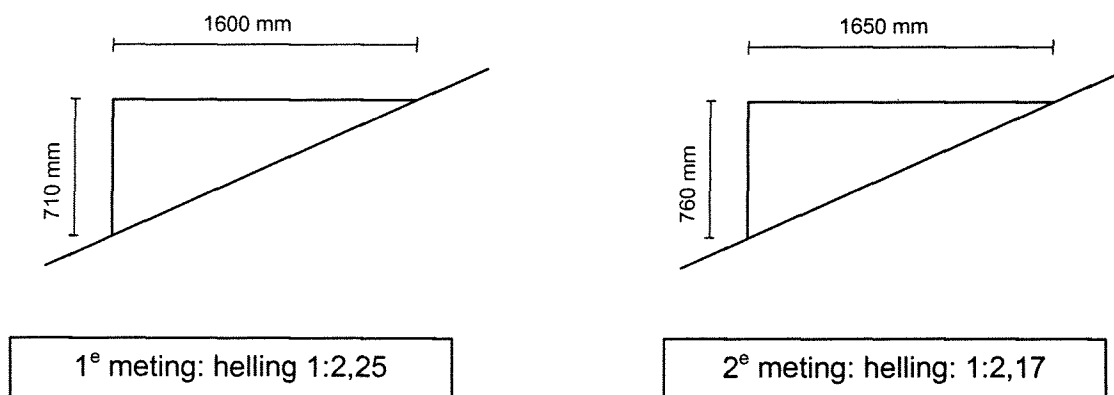
Datum: 23 mei 2000
 Deelnemers: Mathijs en Floris
 Object: Ammerstol, Alblasserdam

Inleiding

De meetgegevens uit de rapporten zijn voor de afmetingen in de dwarsprofielen ontoereikend. Om deze aan te vullen is er een aparte meetexcursie georganiseerd. Tijdens dit onderzoek zijn de taluds, kruinbreedtes en andere essentiële maten van de huidige waterkeringen opgemeten. Deze metingen worden gebruikt om de karakteristieke profielen op te stellen of aan te passen, al naar gelang de gegevens reeds bekend zijn of nog open liggen. De metingen zijn uitgevoerd met behulp van een meetlint, twee bakens, een lange lat en een waterpas. Deze gereedschappen zijn toereikend om een grove meting uit te voeren.

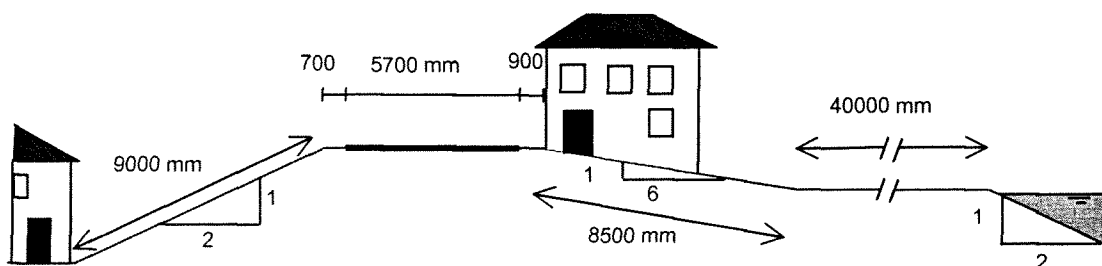
Ammerstol

Als eerste is het binnentalud opgemeten. Er zijn twee metingen uitgevoerd (zie figuur 6). Hieruit kan de taludhelling voor Ammerstol worden bepaald, deze ligt rond de 1:2.



figuur 6: Meting binnentalud Ammerstol (schaal 1:40)

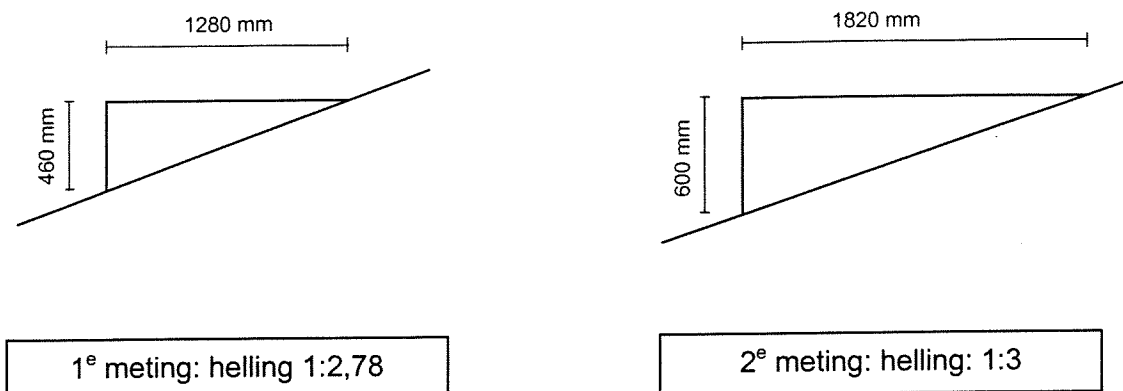
Daarnaast is het profiel opgemeten. De maten die hieruit volgen zijn opgenomen in onderstaande figuur (figuur 7). Hieruit volgt dat de kruinbreedte 7,30m is en de weg zelf zo'n 5,70m (Categorie VII dus). Verder is een schatting gemaakt van het voorland, dat zo'n 40 m diep is. Hoogtemetingen zijn niet uitgevoerd, omdat die maten in de literatuur reeds goed beschreven stonden.



figuur 7: Afmetingen maatgevende doorsnede Ammerstol (schaal 1:250)

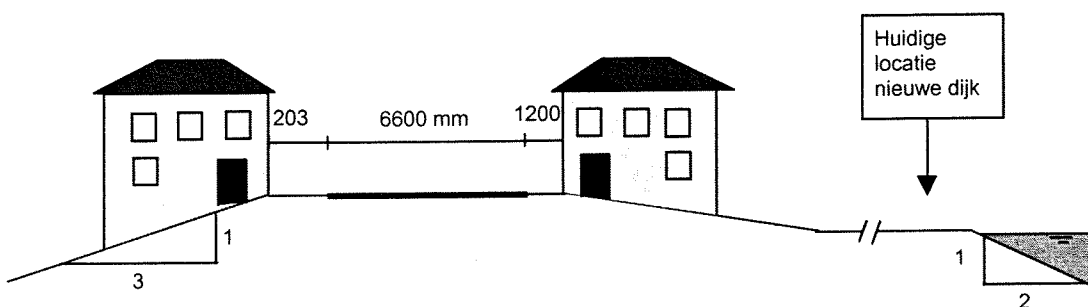
Alblasserdam

In Alblasserdam is ook het binnentalud opgemeten. Er zijn twee metingen uitgevoerd (zie figuur 8). Hieruit kan de taludhelling voor Alblasserdam worden bepaald, deze ligt rond de 1:3



figuur 8: Meting binnentalud Alblasserdam (schaal 1:40)

Daarnaast is het profiel opgemeten. De maten die hieruit volgden zijn opgenomen in onderstaande figuur (figuur 9). Hieruit volgt dat de kruinbreedte 9,80m is en de weg zelf zo'n 6,60m (Categorie VI dus). Hoogtemetingen zijn niet uitgevoerd, omdat die maten al goed vermeld stonden in de literatuur.



figuur 9: Afmetingen maatgevende doorsnede Alblasserdam (schaal 1:250)

Daarnaast is er van een aantal specifieke situaties een opname gemaakt. Tijdens de laatste excursie zijn alleen de locaties van de casestudies bezocht. Kenmerken stukken zijn fotografisch vastgelegd.



foto 56: Gezicht op de oude dijk bij Alblasterdam vanuit het oosten



foto 57: Oude dijk en binnendijks gebied bij Alblasterdam vanuit het westen



foto 58 Binnendijks gebied bij Alblasterdam vanuit het westen



foto 59: Oude dijk bij Alblasterdam vanuit het westen



foto 60: Oude dijk bij Alblasterdam vanuit het oosten



foto 61: Oude dijk bij Ammerstol vanuit het oosten

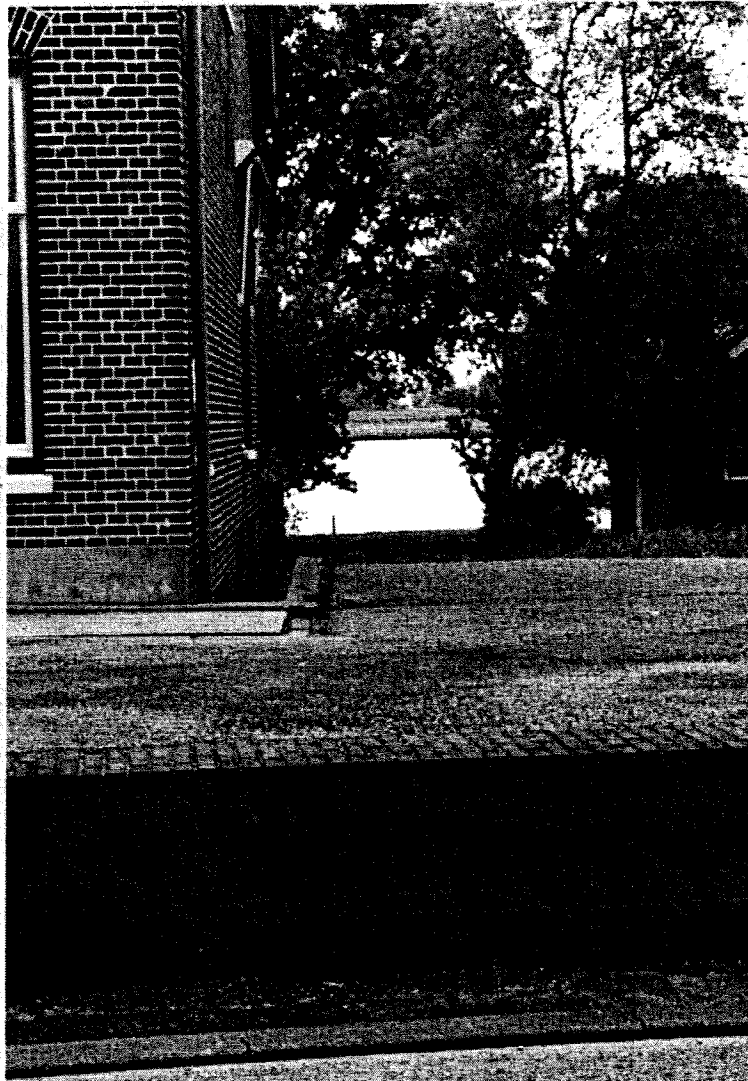


foto 62: Gezicht op de Lek vanuit Ammerstol, vanaf de weg is de keermuur zichtbaar

Conclusies

Uit het literatuuronderzoek kan een aantal conclusies getrokken worden:

- Volgens de huidige inzichten zal er de komende 100 jaar sprake zijn van toename van de neerslaghoeveelheid en van zeespiegelrijzing. Tezamen leidt dit tot een stijging van het MHW van de Nederlandse rivieren, in de orde van grootte van 60-100 cm. Daarnaast vindt in de veengebieden een daling plaats van dezelfde orde. Op deze effecten zal in het waterbeheer ingespeeld moeten worden.
- Aan de belastingkant is niet zoveel winst te boeken. Bij een waterstandsverlaging van één meter, moeten er ook nog steeds grote stukken dijk verbeterd worden. Bij de sterkteberekeningen is er winst te boeken door veelal te beperken tot het minimale profiel. Door deze berekeningswijze kunnen veel objecten op en langs de dijk gespaard worden.
- Door het op grote schaal toepassen van constructies is het mogelijk bijna alle LNC-waarden te behouden. De aanlegkosten worden ongeveer verdubbeld ten opzichte van de normale kosten.
- Er is nog geen goed beeld van de huidige stand van de dijken met betrekking tot LNC-waarden, kosten voor dijkverhoging en technische, planologische of maatschappelijke problemen.
- In het kader van *Ruimte voor de Rivier* is men hard bezig de mogelijkheden voor rivierverruiming te onderzoeken en zo mogelijk al uit te voeren. Onderdelen hiervan zijn *Ruimte voor de Rijntakken* en *Integrale Verkenning Benedenrivieren*, welke beide een specifiek gebied behandelen.
- Naar aanleiding van de conclusies van de Commissie Boertien, verwoord in *Toetsing uitgangspunten rivierdijkversterkingen* is de aanpak van de leidraden losgelaten en wordt en voorlopig volgens de TAW-handreikingen gewerkt. Deze stellen een benadering voor vanuit de ontwikkelingen van een visie, met inachtneming van de LNC-aspecten. Er wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd beoordelingsprofiel, waarbuiten niet-waterkerende objecten mogen worden toegestaan. Verder wordt gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten en technieken, teneinde de overlast van dijkversterking, waaronder functieverlies, te minimaliseren.
- Geokunststoffen bieden goede alternatieven en soms zelfs goedkopere oplossingen voor de traditionele wijze van dijkverbetering. Daar waar ze extra kosten met zich meebrengen, worden die vaak door een snellere aanleg weer terugverdiend. Voor een brede toepassing van geokunststoffen in dijken moet nog wel een standaard rekenmethode worden ontwikkeld.
- Er kan worden vastgesteld dat voor nog te ontwerpen dijkverbeteringen het grondlichaam meestal minder omvangrijk kan zijn dan de tot dan toe ontworpen lichamen. Als hierdoor LNC-waarden kunnen worden gespaard, liggen er mogelijkheden. Indien een optimaal ontworpen grondlichaam de LNC-waarden niet kan sparen, is er de mogelijkheid tot het toepassen van bijzondere constructies.
- De aanpak van een integralere rivierbeheersing, met daarin opgenomen de resultaten van de studies en oplossingen van de afgelopen periode, is mogelijk indien er voldoende financiële ruimte voor geschapen wordt.
- Door de relatief zeespiegelstijging neemt de capaciteit van de uitwateringssluizen en gemalen af. Om droge voeten te houden zijn meer en grotere gemalen nodig. Een minimale capaciteit van 1000 m³/s lijkt dan wenselijk. Ondanks het vaker sluiten van de SVK's, dringt de invloed van de zeespiegelstijging door in het benedenrivierengebied tot Gorinchem en Hagestein. Om hier de veiligheid op peil te houden zullen de waterkeringen omhoog moeten en zal de afwatering moeten worden aangepast.
- Er zijn in Sliedrecht, Kampen en Dordrecht waterkeringen ontworpen, die multifunctioneel zijn en aansluiten op de waardering van De LNC-aspecten. De projecten kunnen als leidraad dienen voor nieuwe projecten.

- Uit gesprekken bleek dat met name de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard probleemgebieden zijn. Er is hier sprake van een slappe ondergrond, intensieve bebouwing en grote invloed van zeespiegelrijzing en bodemdaling.



Innovatieve waterkeringen



Bijlage B: Probleem- en functieanalyse waterkeringsversterkingen

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage B: Probleem- en functieanalyse waterkeringsversterkingen

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Inhoudsopgave Bijlage B

1	Probleemanalyse	3
1.1	Inleiding	3
1.2	Te beschrijven gebieden.....	3
1.3	De Alblasserwaard.....	3
1.4	Krimpenerwaard	5
2	Waterkeringsanalyse	7
3	Ruimtelijke conflictsituaties	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Bebouwing.....	9
3.3	Verkeer.....	11
3.4	Historisch.....	13
3.5	Infrastructuur	15
3.6	Constructies	16
3.7	Omgeving	18
3.8	Natuur	20
4	Modellering karakteristieke conflictsituaties	23
4.1	De Bebouwing	23
4.2	Transport.....	24
4.3	Historie	24
4.4	Constructies	25
4.5	Omgeving.....	25
4.6	Natuur	25
5	Karakteristieke functiecombinaties	26
5.1	Functiecombinatie I: Waterkeren en wonen.....	26
5.2	Functiecombinatie II: Waterkeren en transport.....	26
5.3	Functiecombinatie III: Waterkeren en natuur	26
5.4	Functiecombinatie IV: Waterkeren en historie	26
5.5	Overige.....	26

1 Probleemanalyse

1.1 Inleiding

Een goede probleemanalyse is essentieel voor het project "Innovatieve waterkeringen". In de literatuurstudie is duidelijk geworden tot welk punt men momenteel gekomen is met het toepassen van constructies bij waterkeren. Eén van de conclusies die uit het literatuuronderzoek getrokken kan worden, is dat er altijd uitgegaan wordt van de functie waterkeren. Geprobeerd wordt om die functie in ieder geval zeker te stellen en pas daarna wordt er gekeken naar andere functies van de waterkering. De centrale benadering van de functie waterkeren levert nog al eens problemen op met de overige functies. De verschillende nevenfuncties van een waterkering zullen achterhaald moeten worden, alsmede de reden van een conflict. Indien duidelijk is welke functiecombinaties botsen en waarom, kan begonnen worden met het zoeken naar een oplossing.

Er moet nagegaan worden welke functiebotsingen er plaatsvinden, indien in de beschouwde gebieden een dijkverzwaring of -verhoging uitgevoerd moet worden. De uit te voeren verbeteringen zullen significant zijn, omdat er uitgegaan wordt van een MHW-verhoging van één meter. Een aantal van de geïnterpreteerde functies zal komen te vervallen bij uitvoering van een traditionele dijkverbetering. Naast de functiebotsingen zullen de technische kanten van de dijkverbetering beschouwd moeten worden. Wat voor technische problemen (ondergrond, piping, overslag e.d.) zijn er te verwachten bij een MHW-verhoging van één meter?

1.2 Te beschrijven gebieden

De gebieden die in de probleemanalyse onder de loep genomen worden, moeten een afspiegeling zijn van de probleemgebieden die er in Zuid-Holland voorkomen (zie opdrachtformulering).

In Nederland komen voornamelijk drie soorten riviersystemen voor:

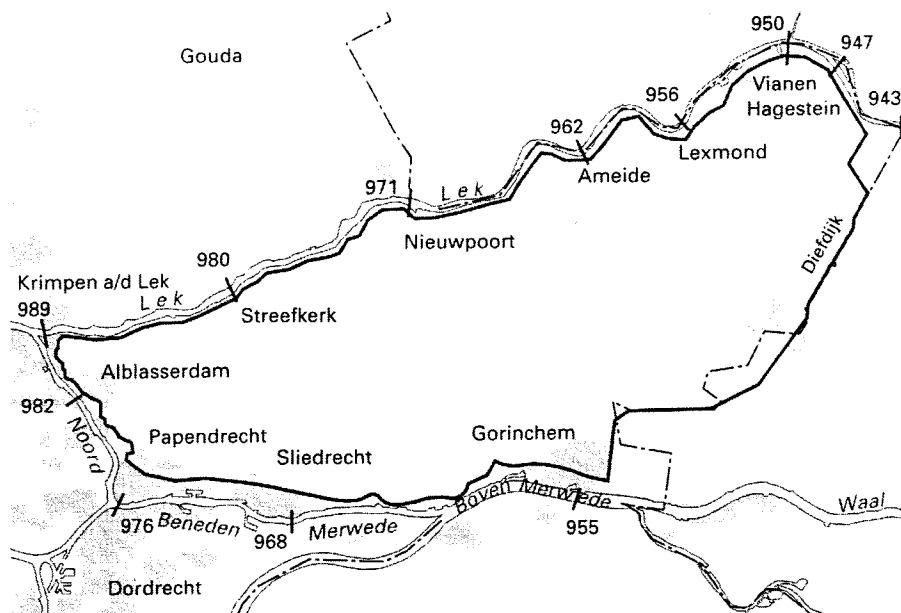
- onbedijkte rivier
- bedijkte rivier met stroomvoerende geul, uiterwaarden en bandijken
- bedijkte rivier met bandijken langs de stroomvoerende geul

De Maas in Limburg is een voorbeeld van een onbedijkte rivier, maar is niet relevant voor het project "innovatieve waterkeringen" en zal ook niet verder in beschouwing genomen worden. De Waal (benedenstrooms: Boven en Beneden Merwede) is een rivier, die over grote lengte voldoet aan het Nederlandse beeld van een rivier: stroomvoerende geul, kade, uiterwaarden en bandijken. De Lek is over grote lengte meer te vergelijken met een sloot. De stroomvoerende geul wordt ingesloten door de bandijken. Er zijn langs de rivier geen uiterwaarden.

De gebieden die in ieder geval bekeken worden, zijn de Alblasserwaard en Krimpenerwaard. De Alblasserwaard grenst aan de zuidkant aan de Boven en Beneden Merwede en aan de noordkant aan de Lek. De Krimpenerwaard grenst aan de zuidkant aan de Lek en de Nieuwe Maas. De Alblasserwaard en de Krimpenerwaard zijn dus redelijke afspiegelingen van de gezochte probleemgebieden.

1.3 De Alblasserwaard

De Alblasserwaard is een polder, die ligt tussen de Beneden/Boven Merwede en de Lek (zie figuur 1.1). De Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden vormen samen één dijkkringgebied. De polder ligt in het benedenrivierengebied, in de provincie Zuid-Holland. Het gemiddelde maaiveldniveau ligt op N.A.P. -2 tot -1 m.



figuur 1.1: Polder Alblasserwaard.

Infrastructuur

De Alblasserwaard wordt doorkruist door twee grote verbindingswegen. Parallel aan de Beneden Merwede en de dijk loopt de A15 (Rotterdam-Nijmegen). De A15 is één van de achterlandverbindingen van de Rotterdamse haven. Van noord naar zuid wordt de polder doorkruist door de A27 (Breda-Hilversum). Deze autosnelweg dient voornamelijk als verbinding tussen Utrecht en Noord-Brabant. Behalve deze twee autosnelwegen lopen er nog enkele regionale verbindingswegen door de Alblasserwaard.

Bebouwing

Grote bebouwingsconcentraties zijn te vinden langs de Waaldijk en de dijk langs de Noord. Langs de Waaldijk (van oost naar west) liggen de plaatsen Gorinchem, Boven-Hardinxveld en Beneden-Hardinxveld en Papendrecht. Aan de dijk langs de Noord liggen Alblasserdam en Kinderdijk. In het noordoosten, langs de Lek, ligt Vianen. In de rest van de polder zijn veel dorpen en gehuchten aanwezig, maar geen grote steden. De bebouwingsconcentraties langs de dijken zijn karakteristiek voor de polders in het benedenrivierengebied. Deze vorm van bebouwen wordt aangeduid met de term lintbebouwing. De lintbebouwing komt niet alleen voor op de grotere schaalniveaus. Veel dorpen en steden zijn ontstaan langs de dijk en hebben zich later landinwaarts uitgebreid. Deze ontginningmethode is ontstaan in de beginperiode van de dijkenbouw. Het wonen op en langs de dijk had het voordeel dat men bij een dijkdoorbraak (niet uitzonderlijk in die periode) direct bij de hoge gebieden, de dijk, zat. Tegenwoordig is het wonen op en langs de dijk vooral aantrekkelijk vanwege het uitzicht of het woongevoel. Het wonen in een dijkhuis geeft veel mensen extra woongenot.

Grondgebruik

Het grondgebruik in de polder is voornamelijk agrarisch. De belangrijkste agrarische activiteit is veeteelt. Het grootste deel van de landbouwgrond is dan ook in gebruik als weiland.

Waterhuishouding

De waterhuishouding in de polder wordt geregeld met een aantal gemalen en uitwateringssluizen. Karakteristieke peilen zijn het polderpeil, het zomerpeil en het winterpeil. Voor de waterhuishouding in de polder is gebruik gemaakt van een aantal natuurlijke waterstromen. Deze waterstromen zijn oude riviertakken en zij lopen op verschillende

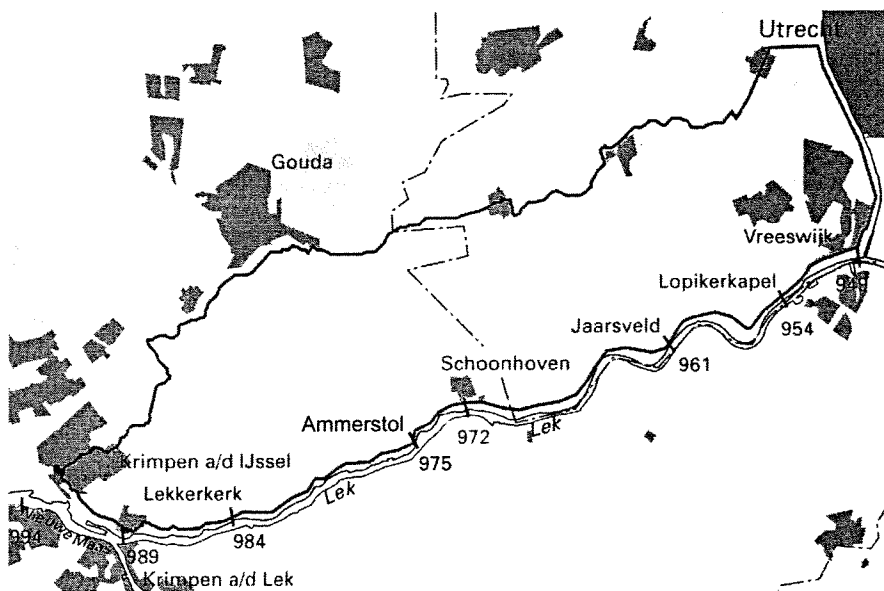
plaatsen door de polder. Het netwerk is verder verfijnd met allerlei kunstmatige watergangen.

Waterkeringen

Afgezien van de Diefdijk, die een scheidingsdijk tussen twee dijkringgebieden vormt, zijn de waterkeringen van de Alblasserwaard primaire waterkeringen. Voor de Alblasserwaard geldt een overstromingsrisico van 1/2000 per jaar. Voor de dijken langs de Beneden/Boven Merwede, de Noord en de Lek is dit om te rekenen naar een MHW, dat veilig gekeerd moet kunnen worden. De drie waterlopen hebben ieder een eigen karakteristiek voor de vorm, frequentie en hoogte van de hoogwatergolf. Door deze verschillen zijn de maximaal te keren waterhoogte en -duur verschillend en dus verschillen ook de eisen die aan de waterkeringen gesteld moeten worden. De hoogwatergolf in de Beneden/Boven Merwede geeft de grootste belasting op de waterkering rond de Alblasserwaard.

1.4 Krimpenerwaard

De Krimpenerwaard is een stuk kleiner dan de Alblasserwaard. De Krimpenerwaard vormt samen met de Lopikerwaard een dijkringgebied. De Krimpenerwaard grenst in het zuiden aan de Lek en de Nieuwe Maas, in het westen aan de Hollandsche IJssel (zie figuur 1.2). De Hollandsche IJssel is in tegenstelling tot de Lek geen buitenwater en daardoor worden er andere eisen gesteld aan de waterkering



figuur 1.2: Polder Krimpenerwaard.

Infrastructuur

De hoofdinfrastructuur in de Krimpenerwaard bestaat uit twee grote regionale verbindingswegen. De N210 loopt van west naar oost door de polder en de N207 loopt van noord naar zuid. Verder is er nog een aantal wegen van lokaal belang.

Bebouwingsconcentraties

In de Krimpenerwaard zijn drie grotere bebouwingsconcentraties aanwezig. Lang de Lek liggen Schoonhoven en Krimpen aan de Lek, Krimpen aan den IJssel ligt langs de Hollandsche IJssel, vlak bij de samenvloeiing met de Nieuwe Maas. De overige plaatsjes liggen her en der verspreid langs de dijk en in de polder. De grote bebouwingsconcentraties liggen langs de dijk, net als in de Alblasserwaard. Ook in de Krimpenerwaard is de bebouwingsvorm te karakteriseren als lintbebouwing.

Grondgebruik

Het grondgebruik van de Krimpenerwaard komt overeen met dat van de Alblasserwaard. Het is voornamelijk agrarisch met een zwaartepunt bij de veeteelt. De belangrijkste vorm van grondgebruik is weiland.

Waterhuishouding

De waterhuishouding in de polder wordt kunstmatig geregeld. De grondwaterstand wordt met behulp van een aantal gemalen en uitwateringssluizen op peil gehouden. In de polder is één natuurlijke waterstroom aanwezig, de Vlist. Voor de ontwatering zijn veel kunstmatige watergangen aangelegd, die zich kenmerken door lange rechte stukken en rechthoekige aansluitingen.

Waterkeringen

De Krimpenerwaard heeft alleen in het zuiden, langs de Lek en de Nieuwe Maas, primaire waterkeringen. Bij Krimpen aan de Lek is de Hollandse IJssel door een stormvloedkering afgesloten van het buitenwater en daardoor zijn de dijken langs de Hollandse IJssel geen primaire waterkeringen. De waterkeringen langs de Lek van de Krimpenerwaard en de Alblasserwaard blijken onderling verschillen te vertonen, ondanks dat ze te maken hebben met dezelfde hoogwaterbelasting. De kans op overstromen van het dijkinggebied is vastgesteld op 1/2000 per jaar.

2 Waterkeringsanalyse

Een waterkering heeft als functie het veilig keren van een bepaalde waterstand. Ten behoeve van deze functie moet de waterkering aan een aantal eisen voldoen. Deze eisen gelden ook voor de nieuw te ontwikkelen oplossingen voor een multifunctionele waterkering. De eisen die gesteld worden aan een waterkering hebben betrekking op:

1. de hoogte van de waterkering
2. de sterkte van de constructie
3. stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig
4. waterdichtheid
5. levensduur
6. inspectiemogelijkheden
7. onderhoudsmogelijkheden
8. uitvoeringseisen

ad 1: Hoogte

De hoogte van de waterkering wordt bepaald door de maximaal te keren waterhoogte (MHW), de golfoploop en de verwachte bodemdaling. Hier bovenop wordt nog een extra hoogte meegenomen t.b.v. de veiligheid, de waakhoogte genoemd. Al deze elementen worden uitgedrukt in hoogte en gesommeerd. De waterkering moet minimaal de som van deze waarden hebben, de kruinhoogte genoemd.

ad 2: Sterkte

De waterkering dient een zodanige sterkte te hebben, dat de belastingen die er op de waterkering komen te staan, kunnen worden weerstaan. De belastingen op de waterkering zijn te verdelen in drie groepen:

1. De belastingen veroorzaakt door het water en de wind. Deze bestaan deels uit statische belastingen zoals afkomstig uit de waterstand, deels uit dynamische belastingen zoals de golfaanval, stromingen en windvlagen.
2. De belastingen veroorzaakt door calamiteiten zoals verzakkingen, aanvaringen, onbedoeld nevengebruik enz.
3. De belastingen veroorzaakt door het gebruik van de waterkering. Hierbij wordt gedacht aan belastingen door verkeer, gebouwen enz., maar ook aan belastingen die voortkomen uit het gebruik van de waterkering, zoals water- en grondspanningen.
4. De belastingen die optreden door chemische belastingen. Bij staal kan dat corrosie zijn, bij hout rotting enz.

In sommige gevallen zullen de randvoorwaarden die afkomstig zijn van punt 2 (De belastingen ...nevengebruik) , hoge eisen stellen aan de constructie.

ad 3: Stabiliteit

Voor een waterkering is het van belang, dat naast de sterkte ook de stabiliteit gewaarborgd is. Een waterkering mag onder invloed van de belastingen die er op uitgeoefend worden niet verplaatsen, afschuiven of kantelen. Naast de externe stabiliteit moet ook naar de interne stabiliteit gekeken worden, omdat een constructie ook intern stabiel moet zijn (microstabiliteit).

ad 4: Waterdichtheid

Een voor de hand liggende functie van de waterkering is de waterdichtheid. Afhankelijk van de hoeveelheid lekwater en kwelwater die er opgevangen kan worden, worden er eisen gesteld aan de hoeveelheden water die er door, over en onder een waterkering door mag komen. Een waterkering is natuurlijk nooit helemaal waterdicht, maar de mate waarin het water wordt gekeerd kan verschillen.

ad 5: Levensduur

Elke constructie wordt ontworpen voor een bepaalde periode waarin deze normaal gesproken mee moet gaan. De levensduur van een constructie wordt bepaald door de opdrachtgevers en ontwerpers. Gebruikelijk is om voor een waterkering een langere levensduur te nemen (bijv. 100 jaar) dan voor een woning (bijv. 50 jaar). De levensduur bepaalt de periode waarin het object zijn functie moet vervullen. De levensduur van materialen kan langer zijn, dan van de complete constructie, waardoor een constructie soms aangepast kan worden, in plaats van gesloopt en vervangen (bijv. grondlichamen hebben een vrijwel onbeperkte levensduur, hoewel ze als waterkering niet meer voldoen vanwege nieuwe eisen m.b.t. hoogte)

ad 6: Inspectiemogelijkheden

Voor een goede controle van een waterkering is het noodzakelijk dat er regelmatig een inspectie uitgevoerd kan worden, om te controleren of er onverwachte schade aan de waterkering is. Dit betekent dat de waterkering relatief eenvoudig bereikbaar moet zijn, of dat er alternatieven gevonden worden om metingen daaraan te verrichten.

ad 7: Onderhoudsmogelijkheden

Eventuele schade aan een waterkering, die naar voren komt bij een inspectie, moet hersteld kunnen worden, zodat het functioneren van de kering gewaarborgd kan worden. Voor het uitvoeren van reparaties is het noodzakelijk dat de waterkering bereikbaar is.

Ook zal er met enige regelmatig klein onderhoud moeten plaatsvinden, afhankelijk van de constructie kan dit bestaan uit maaien van het gras, verven van het hout of metaal of soortgelijk onderhoud. De locatie van de waterkering, op de grens van nat naar droog, zorgt voor een grote chemische belasting.

ad 8: Uitvoeringseisen

Tijdens het uitvoeren van verbeteringswerken aan een waterkering, zijn er eisen aan de minimale veiligheid die er geboden moet worden tegen overstromingen. Indien een waterkering geheel vervangen wordt, dient er een noodkering aanwezig te zijn. In de periode 15 oktober tot 15 april mogen er geen werkzaamheden aan de waterkering uitgevoerd worden en moet deze de in de wet vastgelegde veiligheidsnorm hebben.

3 Ruimtelijke conflictsituaties

3.1 Inleiding

Van belang voor het onderkennen van conflictsituaties is de afbakening van het functieconflict. In deze studie wordt de volgende definitie aangehouden:

Functieconflicten: Een functieconflict is een situatie waarbij door een dijkversterking één of meerdere van de huidige gebruiksmogelijkheden van de waterkering geheel of gedeeltelijk verloren gaan.

Uit deze definitie valt op te maken dat bij een functieconflict in de nieuwe situatie dus niet meer dezelfde invulling aan de functie gegeven kan worden als voorafgaand aan de verandering.

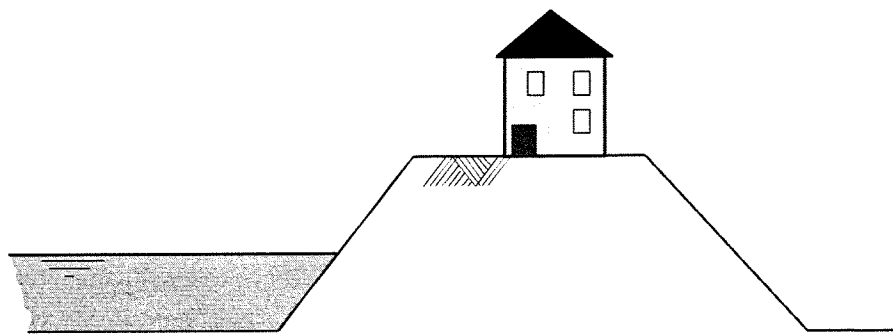
In de ruimtelijke ontwerpfase zal er gezocht worden naar algemene oplossingen voor bepaalde functieconflicten. Voor het maken van deze algemene ontwerpen zal het nodig zijn de functieconflicten die optreden bij een dijkversterking te karakteriseren. Om het overzicht te behouden op de vele unieke situaties, zullen de problemen teruggebracht moeten worden tot een beperkt aantal karakteristieke schematisaties.

Er is een inventarisatie gemaakt van mogelijke conflicten. Deze conflicten zijn geordend per soort conflict. Elke conflictsituatie heeft een code gekregen bestaande uit een letter en een cijfer. Er wordt een korte omschrijving van het conflict gegeven, aangevuld met een schets.

3.2 Bebouwing

B1 Bebouwing op de dijk (de kruin of bovenaan talud).

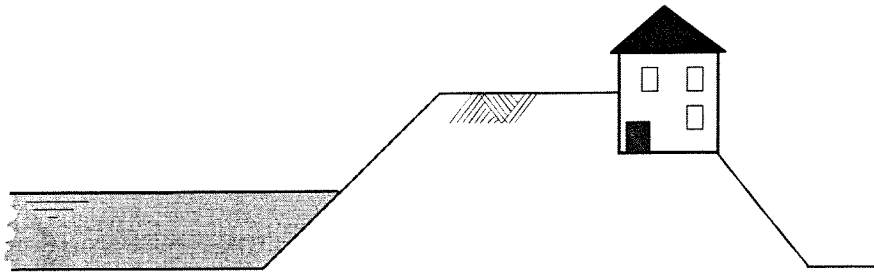
De bebouwing geeft een groot probleem bij een dijkverhoging, omdat de kruin niet omhoog kan, zonder de bebouwing aan te tasten. Voor het verhogen van de dijk zal de bebouwing gesloopt moeten worden.



B1 Bebouwing op de dijk

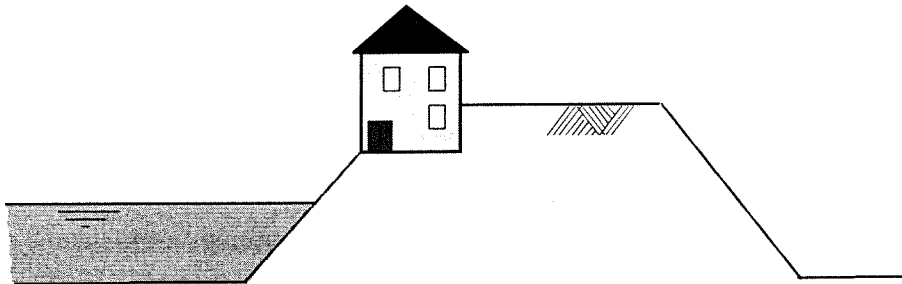
B2 Bebouwing op het binnentalud.

Bij dijkversterkingen mag er eigenlijk niet meer buitendijks verzwaard worden, waardoor de activiteiten zich richten op het binnentalud. Indien er bebouwing op het binnentalud staat, levert dit problemen op met aanleggen van bijvoorbeeld een berm of binnendijkse versterking



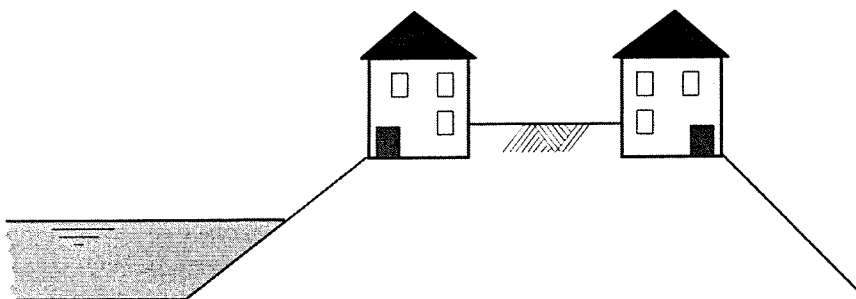
B2 Bebouwing op het binnentalud

- B3** Bebouwing op het buitentalud.
 Bebouwing op het buitentalud levert vaak problemen op, omdat een dijkversterking meestal gepaard gaat met een verflauwing van het talud, of de aanleg van een nieuwe beschermende laag ter voorkoming van erosie. Bebouwing op het buitentalud vormt ook een aangrijppunt voor erosie door bijvoorbeeld stroming of golven en maakt het beheer van het buitentalud lastiger.



B3 Bebouwing op het buitentalud

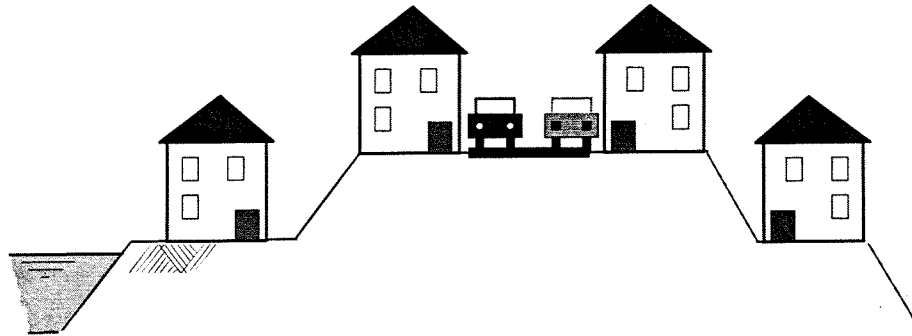
- B4** Tweezijdige bebouwing.
 Bebouwing op/aan twee zijden van de waterkering is een probleem, omdat de waterkering opgesloten is. Er kunnen geen werkzaamheden uitgevoerd worden, zonder invloed op de aanwezige bebouwing, noch binnendijks, noch buitendijks.



B4 Tweezijdige bebouwing

- B5** Waterkering in de stad.
 De waterkering in de stad vertoont grote overeenkomsten met de tweezijdige bebouwing, alleen is de waterkering nu meestal niet meer als waterkering te onderscheiden. De waterkering is volledig opgenomen in de stadsontwikkeling en is daardoor eigenlijk ook niet meer te veranderen. Een verhoging van enkele centimeters kan nog door wat extra zand te gebruiken bij een renovatie van de

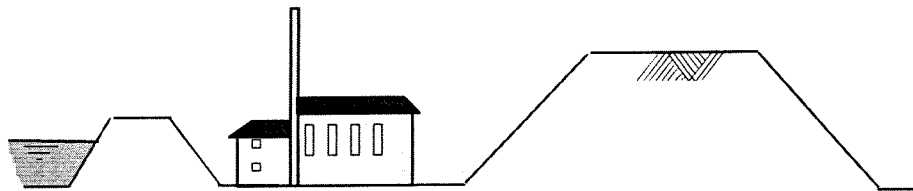
straat, maar meer is er niet mogelijk zonder ingrijpende gevolgen.



B5 Waterkering in de stad

B6 Bebouwing in de uiterwaard.

Een aantal soorten industrie, zoals scheepswerven en steenfabrieken ligt buitendijks en soms direct tegen de dijk aan. Deze bebouwing kan een probleem vormen bij erosie, piping of buitendijkse versterking.

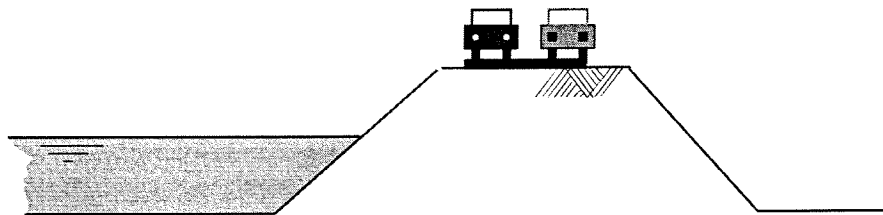


B6 Bebouwing in de uiterwaard

3.3 Verkeer

V1 Verkeersfunctie over de kruin.

Het handhaven van de verkeersfunctie over de kruin kan eisen stellen aan de breedte van de kruin, die weer problemen op kan leveren met het ruimtebeslag van de dijk. Een belangrijke verkeersfunctie over de kruin kan ook in gevaar komen bij hoge waterstanden, of stelt extra zware eisen aan de waterkering, bijvoorbeeld door trillingen in een met water verzadigde dijk.

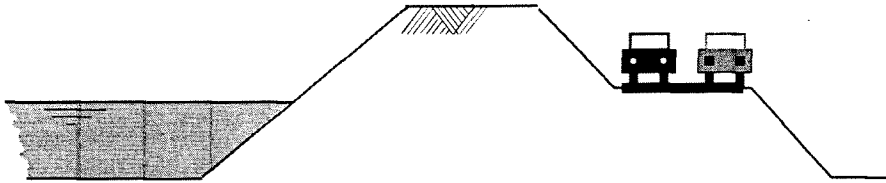


V1 Verkeersfunctie over de kruin

V2 Verkeersfunctie binnendijs op de berm of bij de teen.

Een verkeersfunctie op de binnenberm hoeft eigenlijk niet tot problemen te leiden, zij

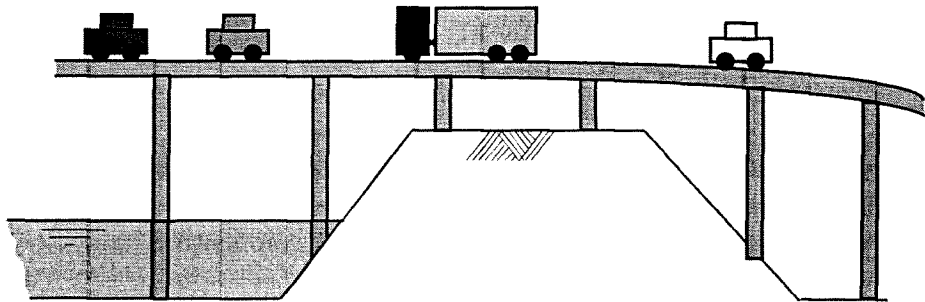
het dat er misschien extra ruimte nodig is. Een verkeersfunctie aan de teen van de dijk levert problemen op met het beheer, omdat tijdige signalering van zandvoerende kwel moeilijk waar te nemen is door de wegverharding.



V2 Verkeersfunctie binnendijks op berm of bij teen

V3 Verkeersstroom dwars over de dijk heen.

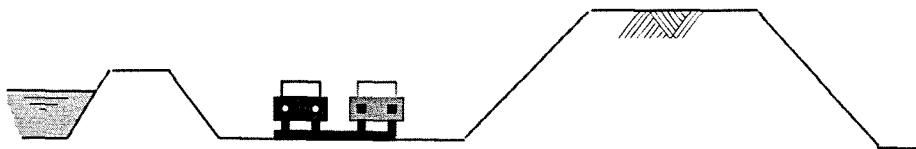
Op veel plaatsen kruist een weg, vaak een belangrijke verbinding (autosnelweg) een rivier en bijbehorende dijken. De constructie naar een brug toe bestaat uit landhoofden of aanbruggen. Deze kruisingen met de dijk moeten ook verhoogd en/of versterkt worden, wat ingrijpende gevolgen kan hebben voor de rest van het wegtracé. Op- en afritten naar een brug hebben een bepaald maximaal stijgingspercentage, dat in gevaar kan komen door een dijkverhoging.



V3 Verkeersstroom dwars over de dijk heen

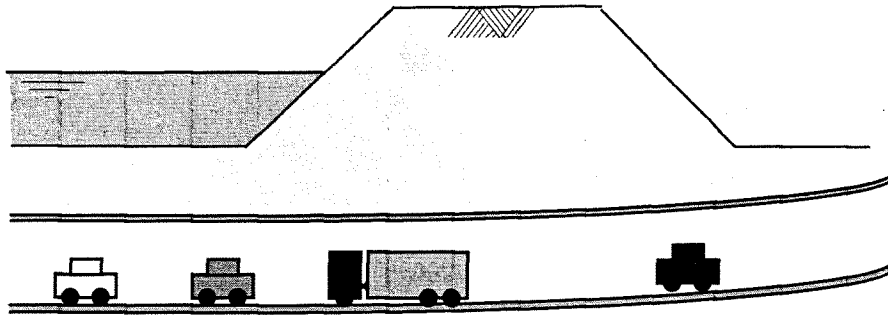
V4 Verkeer buitendijks.

Verkeer in de uiterwaard hoeft in principe geen probleem op te leveren met de waterkering, anders dan dat er een paar op- en afritten van de dijk zijn of kruisingen met de waterkering.



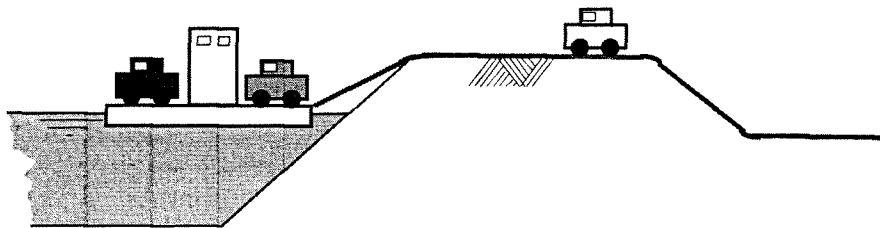
V4 Verkeer buitendijks

- V5 Verkeer dwars onder de waterkering door.
Een tunnel onder een dijk is geen probleem, totdat er met speciale constructies als damwanden of diepwanden gewerkt zou moeten worden. Deze kunnen door de aanwezigheid van de ondergrondse infrastructuur niet gebruikt worden.



V5 Verkeersstroom dwars onder de dijk door

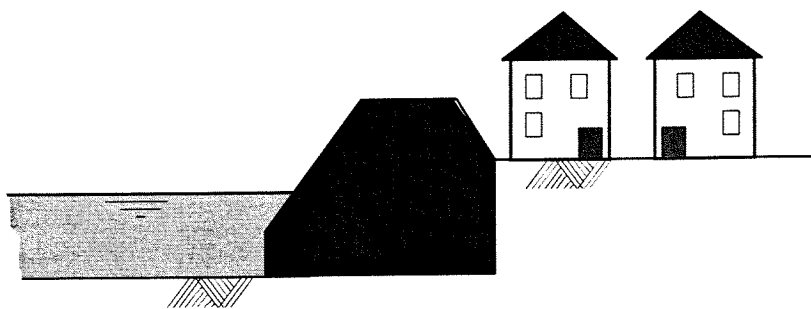
- V6 Pontje
Op veel plaatsen kruist een lokale verkeersstroom de rivier, maar is het financieel niet haalbaar om een brug aan te leggen. Voor deze verkeersstroom is er dan een pontje, waarmee het verkeer van de ene naar de andere kant gebracht wordt. De op- en afritten voor deze pontjes liggen op en aan de dijk. Door eventuele dijkverhogingen kunnen de opritte dusdanig steil worden, dat ze het verkeer hinderen.



V6 Pontje

3.4 Historisch

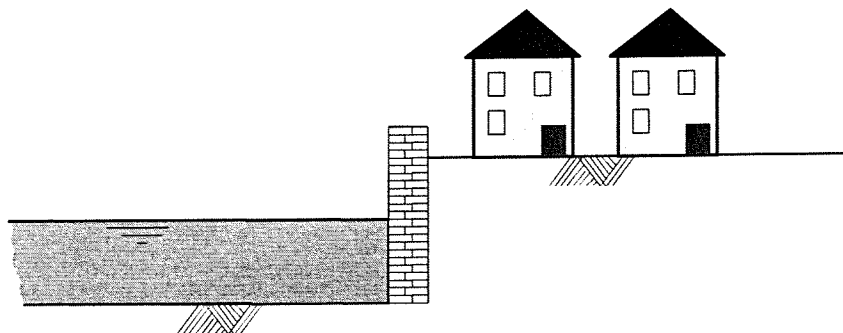
- H1 Vestingwal als waterkering.
In oude vestingsteden is vaak een combinatie gemaakt van de verdediging tegen de vijandelijke legers en tegen het water. De vestingwal doet in een aantal van deze steden nog steeds dienst als waterkering. Probleem bij de wallen is dat deze steil opgezet zijn en aan de stadskant vaak direct aan de bebouwing grenzen. Veel vestingwallen maken deel uit van een stadsgezicht of zijn een monument, waardoor aanpassingen zeer moeilijk uit te voeren zijn.



H1 Vestingwal als waterkering

H2 Vestingmuur als waterkering.

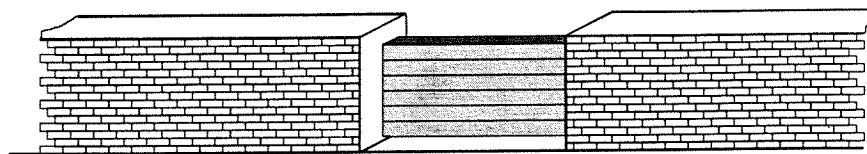
Naast de vestingwal is er soms ook sprake van een vestingmuur. De vestingmuur is ook een deel van de vestingwerken rondom een stad en maakt soms ook deel uit van de waterkering. Bij de vestingmuur is het probleem dat er doorgaans bebouwing op de muur staat of vlak erachter. De muur vormt een grondkering en is daardoor moeilijk te vervangen, zonder de bebouwing te schaden. Aanpassingen aan de vestingmuur zijn, net als bij de wal, moeilijk vanwege het monumentale karakter.



H2 Vestingmuur als waterkering

H3 Coupure.

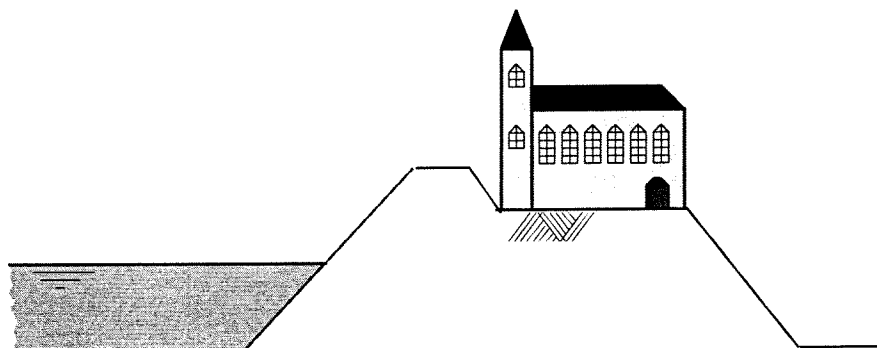
Een coupure is een toegangspoort in de vestingwerken, die nog dikwijls in gebruik is als toegangsmogelijkheid voor het verkeer. In de coupures zitten meestal handbediende waterkeringswerken (schotbalken), die nauwelijks waterdicht zijn. Bovendien vertonen de coupures bij hoogwater dikwijls onder- en achterloopsheid. Deze elementen in combinatie met het monumentale karakter geven problemen bij een dijkversterking.

*H3 Coupure*

H4

Historische bebouwing.

Op of in de nabijheid van een waterkering is soms monumentale bebouwing aanwezig. Deze monumenten zijn bij wet beschermd en moeten bij een dijkverzwaring dus gespaard worden. Het gevolg is dat er rondom een dergelijk monument een bijzondere constructie toegepast moet worden, om het gewenste veiligheidsniveau voor de waterkering te halen.

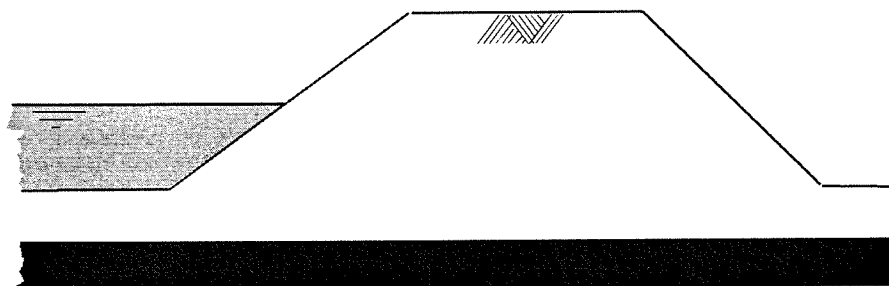
*H4 Historische bebouwing*

3.5 Infrastructuur

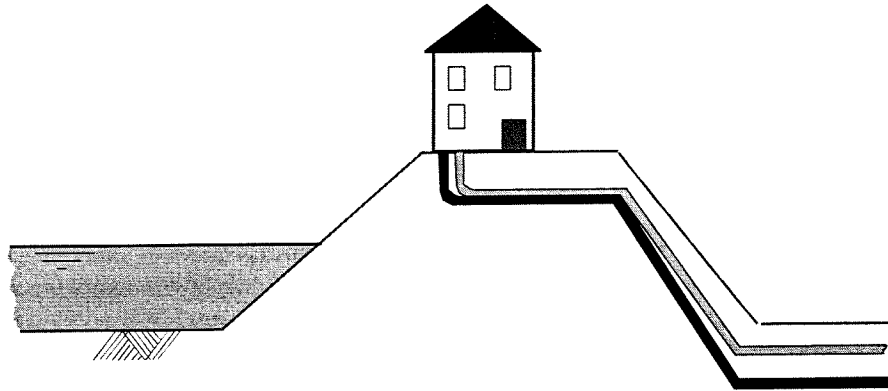
I1

Hoofdtransportleidingen dwars op de dijk.

Er is in Nederland een leidingnetwerk van o.a. aardgas, dat op diepte onder de waterkeringen en rivieren door gaat. Door dit netwerk is het niet op alle plaatsen mogelijk om bij een dijkversterking gebruik te maken van bijzondere constructies als damwanden of diepwanden.

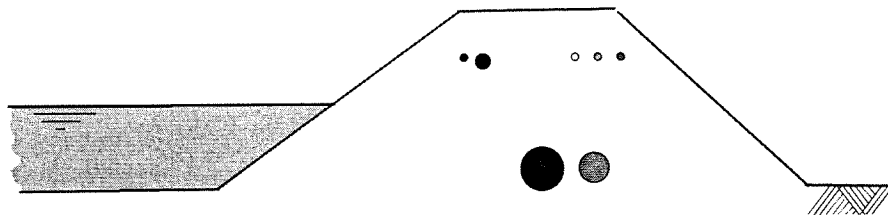
*I1 Hoofdtransportleiding dwars onder de dijk*

- 12 Distributieleidingen dwars op de dijk.
 Ten behoeve van, de bebouwing op of aan de dijk kunnen er leidingen voor gas, water, licht, kabel, telefoon, riolering e.d. aanwezig zijn. Indien deze leidingen dwars op de lengte van de dijk liggen, kunnen ze problemen opleveren m.b.t. piping. Een ander probleem is, dat ze na een dijkverzwaring te diep onder het maaiveld komen te liggen of met de verzwaring mee zakken en afknappen bij de aansluitingen.



12 Distributieleidingen dwars door de dijk

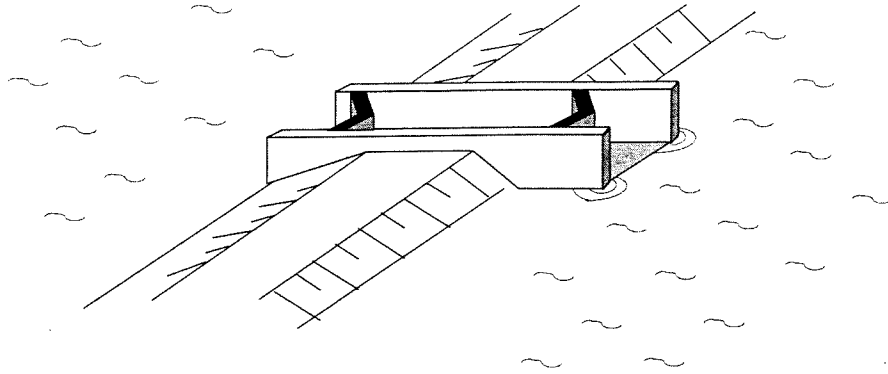
- 13 Leidingen in langsrichting in de dijk.
 Hoewel niet standaard, zullen er soms leidingen in langsrichting in de dijk liggen. Indien dit het geval is, zal een dijkverhoging voor problemen zorgen door gewijzigde belasting. Daarnaast beperken de leidingen, door hun inflexibiliteit, alternatieve oplossingen in hoge mate.



13 Leidingen in langsrichting in de dijk

3.6 Constructies

- C1 Schutsluis/keersluis t.b.v. bijvoorbeeld een haven.
 Voor een binnendijks gelegen haven of water wordt er vaak een doorgang gemaakt in de waterkering. Bij een dijkverhoging moet ook de sluis verhoogd/versterkt worden, met als gevolg grotere belastingen op de sluisconstructie. De sluisconstructie is er niet altijd op geconstrueerd om grotere belastingen te kunnen weerstaan, zodat dan een verbetering erg kostbaar kan worden. Een harde constructie in de waterkering zorgt voor een fixatie van het dijktracé, zodat oplossingen die betrekking hebben op een ander tracé niet meer in aanmerking kunnen komen.

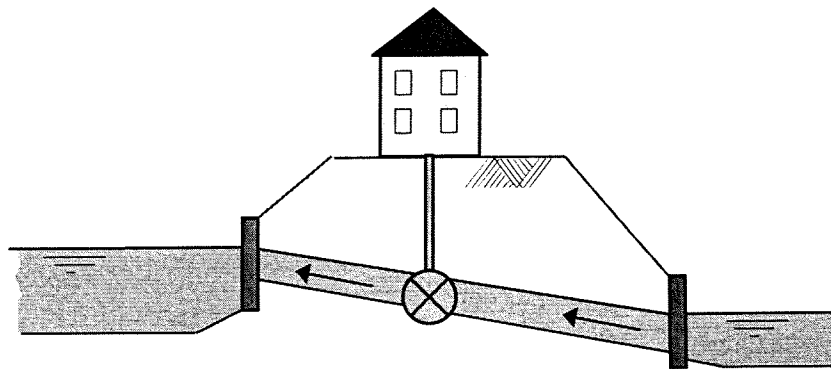


C1 Schutsluis/keersluis ten behoeve van bijvoorbeeld een haven

C2

Gemaal/uitwateringssluis.

Een gemaal of een uitwateringssluis is ook een harde constructie in de waterkering, maar vormt meestal zelf geen hoogwaterkering. De constructie maakt deel uit van de dijk. Het bedieningsgebouw van de sluis of het gemaal staat meestal op de dijk, wat dezelfde problemen geeft bij een verhoging als normale bebouwing. De waterdoorgang geeft dezelfde problemen als een leiding dwars door de dijk.

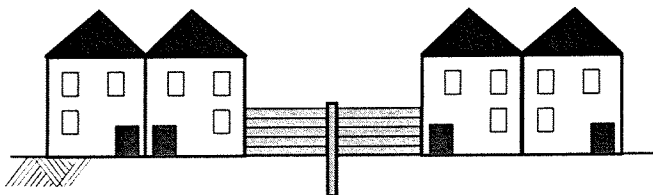


C2 Gemaal/uitwateringssluis

C3

Schotbalken.

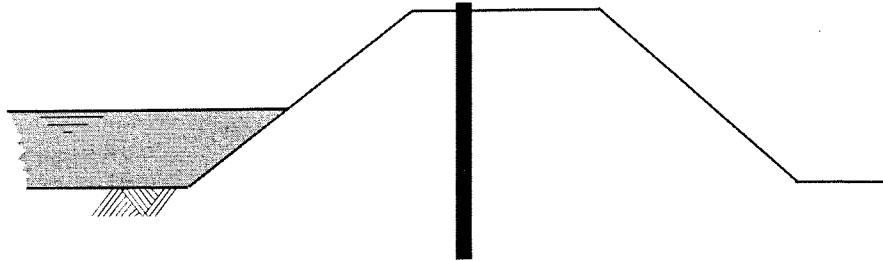
Schotbalken vormen een deel van de waterkering, maar worden pas operationeel als er een handeling voor uitgevoerd wordt (plaatsing van de balken). Schotbalken zitten meestal in sponningen in oude waterkeringen of monumenten en het gebruik ervan is min of meer een noodoplossing, die vaak wel als definitieve oplossing gebruikt wordt. Het probleem met de schotbalken is dat de veiligheid bij veelvuldig gebruik niet voldoende is. Ophogen van deze kering is erg moeilijk, doordat de sponningen vaak in monumentale gebouwen zitten, die niet ingrijpend gewijzigd mogen worden.



C3 Schotbalken

C4 Harde, vaste waterkerende constructies.

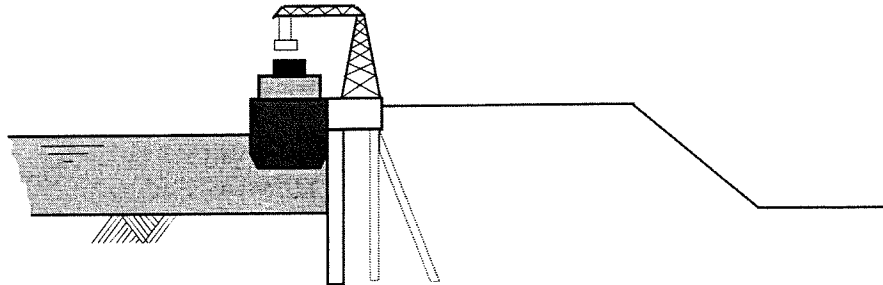
Op een aantal plaatsen is in de waterkering een harde, vaste constructie (damwand, diepwand, betonconstructie) toegepast. Het grote probleem met deze constructies is dat ze over het algemeen slecht aan te passen zijn aan nieuwe omstandigheden, zoals een aanzienlijke MHW verhoging. Deze constructies zijn dan ook een probleem bij de dijkversterkingsprojecten.



C4 Harde, vaste waterkerende constructies

C5 Kade.

Ten behoeve van de scheepvaart is er langs een waterkering vaak een laad- en losfaciliteit voor schepen. Op de kade staan vaak vaste constructies als loodsen en kranen, die een probleem op gaan leveren bij een versterking, met name een verhoging, van de waterkering.



C5 Kade voor binnenscheepvaart

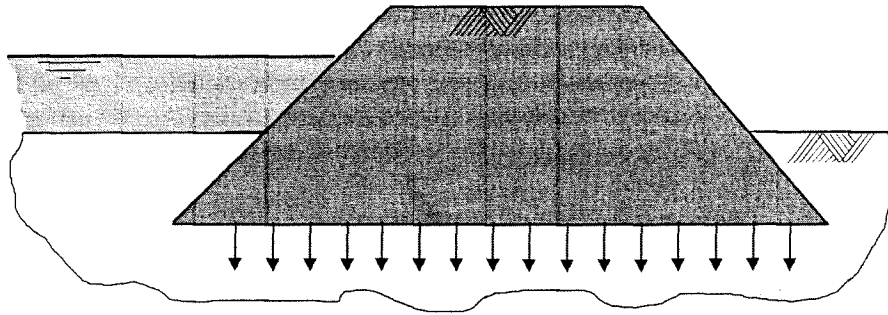
3.7 Omgeving

O1 Slappe ondergrond.

De slappe ondergrond vormt op een aantal manieren een probleem, waardoor de huidige dijk min of meer aan zijn maximale hoogte zit. Er zijn hier een aantal problemen te onderscheiden:

- Overspannen water in de ondergrond, veroorzaakt door eerdere ophogingen, kan leiden tot stabiliteitsverlies;
- De slappe ondergrond zorgt voor zakking van het maaiveld, waardoor de relatieve zeespiegelstijging vergroot wordt. Ook kan een verhoging van de waterkering door inklinking van de ondergrond ongedaan gemaakt worden.
- Verder is er sprake van ongelijkmatige zettingen, waardoor de waterkering zijn homogeniteit verliest in uiterlijk, hoogte en opbouw. Dit kan grote gevolgen hebben voor de andere functies

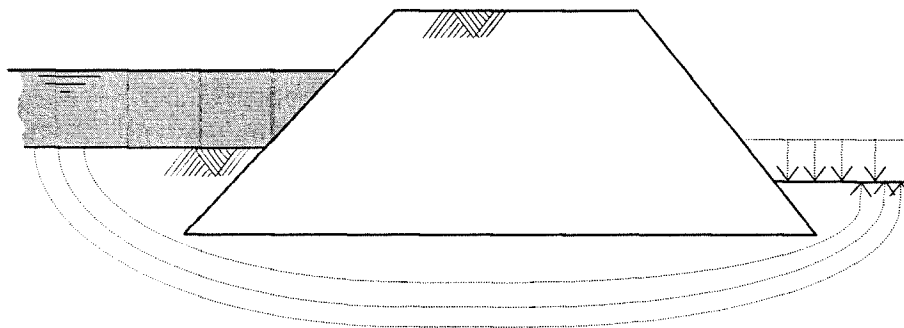
Door deze zettings- en instabiliteitsproblemen kan de dijk niet verder verhoogd worden, zonder drastische maatregelen (steunberm, verbetering van de ondergrond).



O1 Slappe ondergrond

O2 Bodemdaling van het binnendijkse gebied.

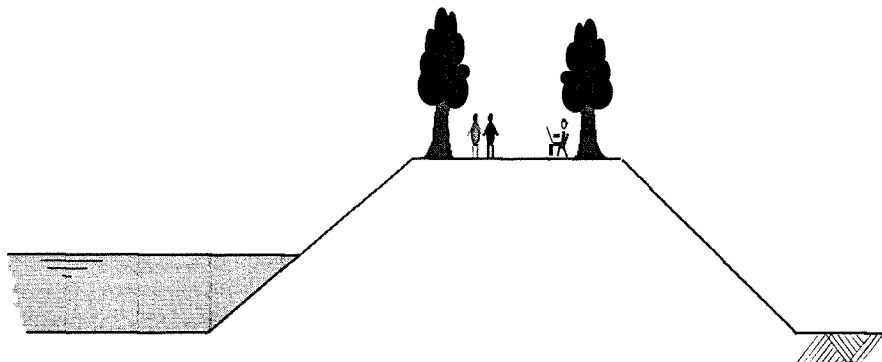
De bodemdaling geeft een groter potentiaal verschil tussen het water in de polder en het water buitendijks, omdat het polderpeil gehandhaafd moet blijven. Door dit grotere verschil neemt de kwel toe en ook de kans op piping. Bij verbeteringswerken moet hier dus rekening mee gehouden worden.



O2 Bodemdaling

O3 Wandelpromenade.

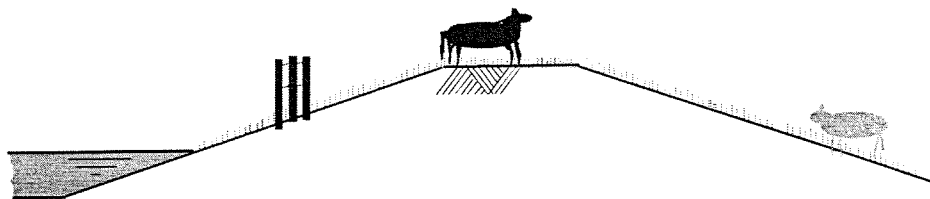
Een waterkering biedt een prima uitzicht over de rivier. In bebouwd gebied wordt een waterkering nog al eens ingericht als wandelpromenade, om zodoende een aantrekkelijk winkelgebied te creëren. Door de aanwezigheid van de promenade kan een versterking van de waterkering moeilijk uitgevoerd worden zonder die functie te schaden.



O3 Wandelpromenade

O4 Agrarisch gebruik/landbouw

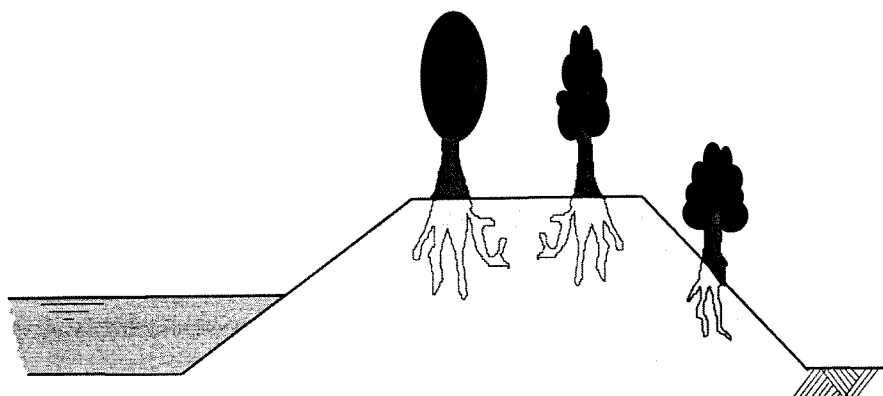
Veel stukken dijk worden verpacht aan boeren die extensieve veeteelt bedrijven op de dijk. Bij een versterking van de waterkering moet de grasmat opnieuw ingezaaid worden. Na het inzaaien zal het enige tijd duren voordat de grasmat weer begraasd kan worden. Daarnaast stelt het gebruik eisen aan de steilheid van de taluds, deze mogen niet te steil zijn.



O4 Agrarische gebruik/Landbouw

3.8 Natuur**N1** Dijk begroeid met bomen.

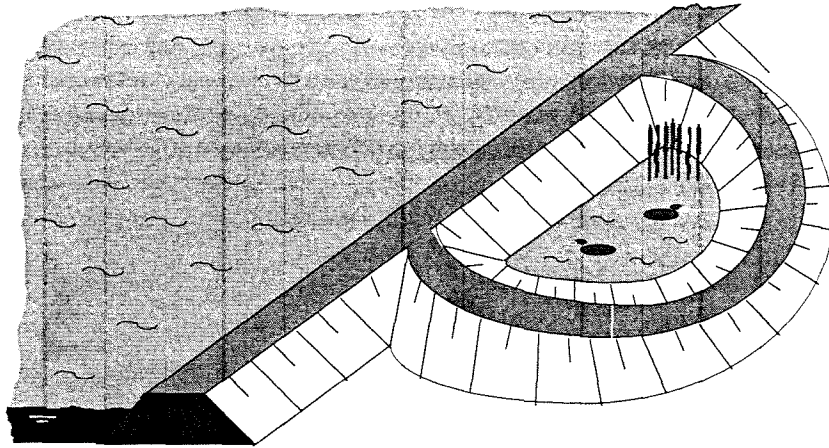
In een aantal gevallen is de dijk begroeid met bomen. Dit is over het algemeen een karakteristieke situatie, zodat deze gehandhaafd moet blijven. Afgezien van de technische bezwaren die er zijn tegen bomen op een dijk, is een dijkverzwaring in deze situatie een hachelijke zaak, zeker als het gaat om een grote aanpassing.



N1 Dijk begroeid met bomen

N2 Wiel achter waterkering.

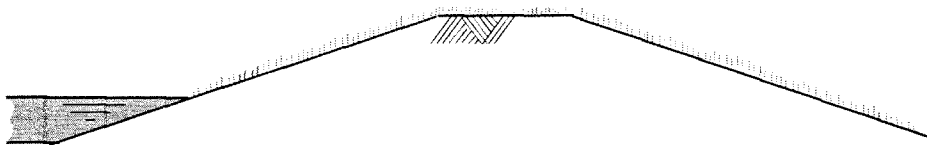
Op enkele plaatsen zijn er, door dijkdoorbraken in het verleden waterpartijen achter de waterkering ontstaan. Deze wielen zijn tegenwoordig vaak rijke stukken natuur. Bij een traditionele dijkverzwaring, waarbij het binnentalud aangepast wordt, gaan deze wielen geheel of gedeeltelijk verloren.



N2 Wiel achter waterkering

N3 Groene dijk.

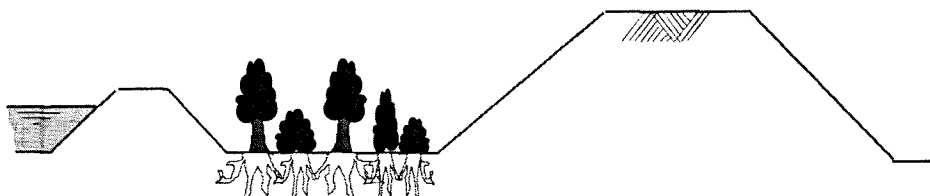
De groene dijk, zonder verkeersfunctie, met helling van 1:3 of daaromtrent zal geen problemen geven bij een eventuele verzwaring. De vorm van de dijk kan gehandhaafd blijven en er gaat niets verloren dat niet hersteld kan worden. Wel neemt het ruimtebeslag aanmerkelijk toe, waardoor binnen- of buitendijks functies verloren kunnen gaan.



N3 Groene dijk

N4 Waterkering met waardevolle uiterwaard.

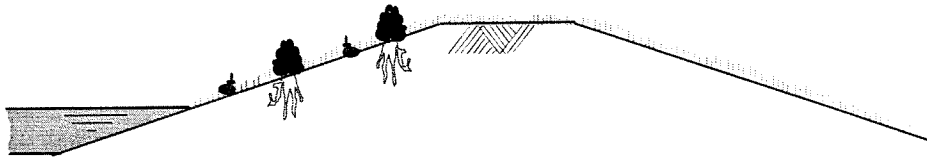
De uiterwaard voor een dijk kan soms een belangrijke natuurfunctie hebben en dient bij een verzwaring gespaard te worden. Dit zal over het algemeen geen probleem zijn, aangezien buitendijkse verzwaring niet gewenst is met het oog op ruimte voor de rivier.



N4 Waterkering met waardevolle uiterwaard

N5 Dijk met waardevolle taluds.

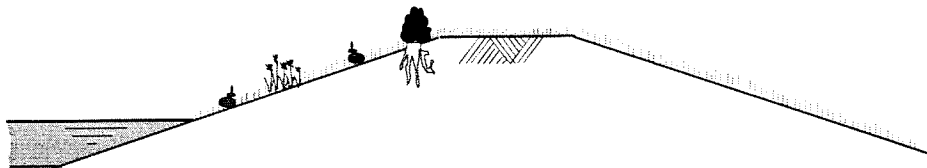
De taluds van een dijk kunnen waardevol zijn vanwege de aanwezige flora. Vooral een talud met stroomdalflora, wordt als waardevol aangemerkt. Het sparen van een dergelijk talud vraagt om het nemen van enkele extra maatregelen bij een traditionele verhoging.



N5 Dijk met waardevolle taluds

N6 Waardevolle, unieke, plaatsgebonden natuur.

Een dijk kan onderdeel uitmaken van een natuurgebied en daarmee erg verweven zijn. Indien voor, op en achter de waterkering waardevolle natuur (beschermde) aanwezig is, wordt het realiseren van een dijkversterking bijna onmogelijk.



N6 Waardevolle, unieke, plaatsgebonden natuur

4 Modelling karakteristieke conflictsituaties

Zoals duidelijk is geworden in de vorige paragraaf kunnen er veel conflictsituaties optreden bij een traditionele dijkversterking. Niet alle conflictsituaties zijn even belangrijk of ingrijpend. Voor een goede uitwerking is het van belang om de grote, ingrijpende conflictsituaties te selecteren en van deze een modellering te maken. Er wordt gestreefd naar ongeveer vier karakteristieke situaties. Uit de gepresenteerde lijst zullen meer conflictsituaties over blijven, zodat er gecombineerd zal moeten worden.

Voor het modelleren van de karakteristieke functieconflicten is het noodzakelijk de aangeduide conflictsituaties te vertalen naar functies.

4.1 De Bebouwing

De bebouwingsconflictsituaties die omschreven zijn in B1 t/m B6, kunnen door verschillende functies ingevuld worden. Een aantal functies zal niet in alle situaties relevant zijn. De niet relevante situaties zullen per functie aangegeven worden.

Woonfunctie

De bebouwing kan gebruikt worden voor bewoning. Bewoning komt in alle B-situaties voor.

Winkelfunctie

Een invulling van de bebouwing is vestiging van winkels. Situatie B5, uiterwaardbebouwing, zal waarschijnlijk niet relevant zijn, de andere B-situaties wel.

Kantoorfunctie

In de bebouwing die aan de waterkering staat kan ook een kantoorfunctie gehuisvest zijn. Dit kan in alle B-situaties zoals aangeduid in de conflictsituaties.

Tijdelijke verblijfsruimte

Er is nog een aantal andere functies, zoals geloof (kerk), onderwijs (school), recreatie (café) e.d. die niet onder de aangeduide functies vallen. Deze functies zullen niet apart genoemd worden, maar onder de tijdelijke verblijfsruimte-functie vallen. Ook deze kunnen in alle B-situaties voorkomen.

Industrie

Bij de functie industrie moet er onderscheid worden gemaakt tussen lichte en zware industrie. Deze twee functies zijn totaal verschillend en moeten dus ook verschillend behandeld worden.

Lichte industrie

Lichte industrie kan in principe in alle B-situaties van toepassing zijn. Lichte industrie is niet echt plaatsgebonden in de schematisaties.

Zware industrie

Zware industrie vraagt over het algemeen om grote gebouwen, met een goede fundering en goede aan- en afvoermogelijkheden voor de producten. De zware industrie zal in de meeste gevallen in de buurt van een grote haven zitten, in de schematisaties zijn dit situatie B3 en B6. Deze situatie in combinatie met de door ons gedetecteerde conflictsituaties zal dusdanig zeldzaam zijn, dat deze niet verder meegenomen hoeft worden in het project.

Watergebonden industrie

In de uiterwaard en op het buitentalud kan watergebonden industrie, met name scheepsbouw, voorkomen, dit zijn schematisatie B3 en B6. De overige situaties zullen niet relevant zijn voor de watergebonden industrie.

4.2 Transport

Verkeersfunctie in langsrichting

In de lengterichting van de waterkering is vaak een wegverkeersfunctie aanwezig, die eisen kan stellen aan de afmetingen van de waterkering. In de schematisaties zijn dit situatie V1 en V2.

Verkeersfunctie in de dwarsrichting

Dwars op de dijk zijn er vaak kruisingen met weg- en spoorwegfuncties, die bepalend kunnen zijn voor de vorm en het uiterlijk van de waterkering. Dit wordt weergegeven in de schematisaties V3, V4, V5 en V6.

Transportfunctie in langsrichting

In de langsrichting van de dijk is er vaak sprake van een transportfunctie. Deze wordt dan vormgegeven door middel van leidingen en kabels. Dit wordt geschematiseerd in I3.

Transportfunctie in de dwarsrichting

Dwars op de dijk zijn er vaak ook transporten door leidingen en kabels, vaak deel uitmakend van een hoofdtransportnetwerk, dit wordt weergegeven in I1

Distributie-/leveringsfunctie

Ten behoeve van de onder bebouwing aangeduide functies zijn er vaak leidingen en kabels aanwezig voor de levering van gas, electriciteit, water, telecom e.d. (I2)

4.3 Historie

Cultuurhistorische functie

Op en langs de waterkering zijn verscheidene bouwwerken te vinden die een afspiegeling zijn van de Nederlandse geschiedenis. Deze gebouwen moeten vanwege deze cultuurhistorische waarde gehandhaafd worden (H4).

Technisch-historische functie

De oude constructies van vestingwerken en civiele werken hebben duidelijk een functie in het bewaren van de ontwikkelingen in de bouwwereld. Dit kan gelden voor de situaties H1, H2, H3 en C4.

Toeristische/economische functie

Veel oude vestingsteden zijn economisch gezien afhankelijk van hun monumentale bebouwing, vanwege de toeristenindustrie die daaraan gekoppeld is. Dit kan worden weergegeven door alle H-situaties.

Landschappelijke functie

Oude constructies van vestingwerken die tevens waterkering zijn, zijn vaak bepalend voor de waardering van het landschap. De samenhang die er tussen de verschillende bouwweken is, is vaak in zijn geheel beschermd, als stads- of dorpsgezicht (H1 en H2).

Verkeersfunctie dwars op de waterkering

De oude toegangspoorten in de vestingwerken rond een stad of dorp hebben een verkeersfunctie die de waterkeringsfunctie doorsnijdt (H3).

4.4 Constructies

Waterverkeersfunctie

In enkele gevallen snijdt een waterweg een waterkering en dan is er een waterverkeersfunctie die dwars op de waterkering staat, terwijl deze twee normaal parallel lopen (C1).

Waterbeheersfunctie

Voor de waterbeheersing is het noodzakelijk dat enkele watergangen de waterkering kruisen, zodat overtollig water geloosd kan worden. De watergangen, al dan niet met gemaal, kruisen de waterkering altijd, zodat er een functiedoorsnijding ontstaat (C2).

Toeristische/economische functie

De kade heeft een duidelijke economische (kade t.b.v. scheepvaart) en/of toeristische (wandelpromenade) functie. Deze functie is mogelijk door de specifieke inrichting van de waterkering en is meestal een vaste constructie, die conflicteert met een verbetering van de waterkeringsfunctie, dit kan in situatie C5 en O3.

4.5 Omgeving

Dragende functie

De ondergrond onder de waterkering moet de constructie dragen. De dragende functie van de ondergrond kan in gevaar komen als de ondergrond te slap is of als de belasting te groot wordt (O1 en O2).

Funderingsfunctie

De ondergrond waar de waterkering op rust, moet ook de krachten die op de waterkering komen te staan tijdens MHW op kunnen nemen. De funderingsfunctie kan dus beperkingen aan de waterkering stellen. De situaties waarin dit van belang is zijn B1, B2, B3, B4, B5, V1, V2, C5 en O1.

4.6 Natuur

Ecologische functie

De dijk kan een ecologische functie hebben, als verbindingszone, als scheidingszone, leefomgeving e.d. Dit kan optreden in alle N-situaties.

Recreatieve functie

De waterkering en direct aansluitende gebieden hebben in een aantal gevallen een recreatieve functie door de aanwezigheid van een recreatieplas of veld. De recreatieve functie stelt eisen aan de waterkering die conflicterend kunnen zijn met de waterkeringsfunctie (N2).

Landschappelijke functie

De waterkering, en dan met name de dijk, neemt een prominente plaats in in het landschap en is in het vlakke polderland vaak al van verre waar te nemen. Een verandering aan de dijk kan grote gevolgen hebben voor de landschappelijke functie, deze wordt weergegeven in N3, N4, N5 en N6.

Agrarische functie

Een aantal dijken worden gebruikt voor extensieve veeteelt (schapen en geiten). Deze functie is expliciet verbonden met de groene dijk en stelt dan ook eisen aan de hellingen van taluds en de bekleding. Een verandering in één van beide kan de agrarische functie onmogelijk maken (O4).

5 Karakteristieke functiecombinaties

Een aantal functies hebben min of meer dezelfde invloed op de waterkering. Teneinde tot een aantal karakteristieke profielen te komen, zullen er functies gecombineerd worden. Enkele functies zijn duidelijk minder algemeen voorkomend dan andere en zullen niet nader bekeken worden. Na de combinatie en eliminatie zijn er vier karakteristieke functiecombinaties overgebleven, waar verder mee gewerkt wordt.

5.1 *Functiecombinatie I: Waterkeren en wonen*

In het huidige profiel is sprake van een waterkering met daarop bebouwing met de functie "wonen". In geval van een traditionele dijkversterking zou de bebouwing moeten worden gesloopt. Er zal in de gewenste situatie sprake zijn van een versterkte waterkering in combinatie met een "woonfunctie".

5.2 *Functiecombinatie II: Waterkeren en transport*

In het huidige profiel ligt over de waterkering een weg en lopen er kabels en leidingen door de dijk. Bij traditionele versterking zou deze moeten verdwijnen. Gewenste situatie is een waterkering gecombineerd met een transportfunctie.

5.3 *Functiecombinatie III: Waterkeren en natuur*

In het huidige profiel is de waterkering een belangrijke plaats voor flora en fauna. Bij een versterking zou deze, hetzij tijdelijk, hetzij permanent, moeten verdwijnen. Gewenst is een situatie waarbij de waterkering haar natuurfunctie kan behouden of zelfs versterken, zonder regelmatig verstoord te worden.

5.4 *Functiecombinatie IV: Waterkeren en historie*

In het huidige profiel is sprake van een waterkering die een historische/culturele functie heeft of waarop een monumentaal gebouw of kunstwerk aanwezig is. Bij een dijkversterking op de traditionele wijze zou ofwel waterkering en/of de bebouwing gesloopt moeten worden, ofwel gebruik moeten worden gemaakt van een bijzondere constructie. Wenselijk is een versterking waarbij de bebouwing intact kan blijven, zonder dat de eenheid van de waterkering behoeft te worden aangetast.

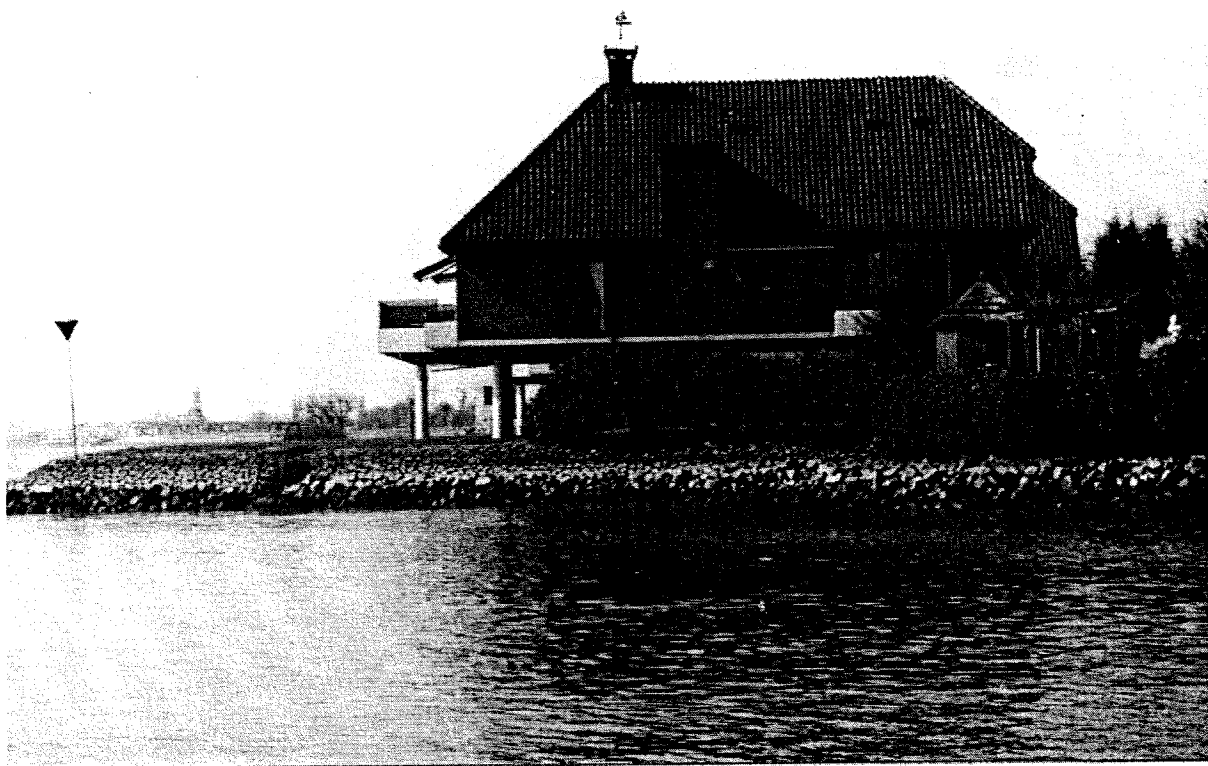
Ook de landschappelijke waarde valt hieronder, de huidige dijk heeft een belangrijke landschappelijke waarde en vormt een verbindend landschapselement. In de gewenste situatie zou dit ook moeten gelden. Een voorwaarde hiervoor is dat de waterkering één geheel vormt.

5.5 *Overige*

Er blijken twee functies te zijn die niet onder de functiecombinaties vallen, maar randvoorwaarden zijn. De bedoelde functies zijn dragende functie en funderingsfunctie van de ondergrond. Deze gelden voor alle situaties in Zuid-Holland en zijn dus opgenomen in de randvoorwaarden.

De functies die de waterkering in dwarsrichting doorsnijden, de dwarstransportfuncties, zullen naar verwachting een niet al te groot probleem opleveren, omdat het gaat om een afgebakend blok in de te verbeteren waterkering. Dit blok heeft weinig tot geen invloed op de rest van de waterkering. De functies die aangegeven zijn onder overige functies zullen ook niet meegenomen worden in de functiecombinatie, omdat het geen éénduidige, algemeen voorkomende situaties betreft.

Innovatieve waterkeringen



Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage C: Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Bijlage C

Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen

Inhoudsopgave Bijlage C

1	Inleiding	5
2	Groep I: Dijk met aangepaste ophoging	6
2.1	Opgekrikte huizen.....	6
2.2	Scherm met palen	6
2.3	Terpen van baggerspecie	7
2.4	Dijkwoning	7
2.5	Uitkragende woningen	8
2.6	Tunnel in de waterkering	8
2.7	Transportleiding door de waterkering	9
2.8	Transportkoker door de dijk.....	9
2.9	Gewapende grond	10
2.10	Grondvervanging	10
2.11	Tussen de bomen ophogen	11
2.12	Bomen verpakken in cilinders	11
2.13	Terrasdijk	12
2.14	Bomen liften	12
2.15	Vergroting van het wiel	13
2.16	Erosiebeschermende struiken aanbrengen	13
2.17	Monument opkrikken door onderhogen	14
2.18	Ondergrond bevroren en met lichter ophoogmateriaal injecteren	14
3	Groep II: Dijk met verbeterde ondergrond	15
3.1	Chemisch onderhogen.....	15
3.2	Opgevizelde dijk	15
3.3	Tunnelfundering	16
3.4	Ondergrond gouten	16
3.5	Geotextiel	17
3.6	Grondverbeteringkolommen	17
3.7	Vestingmuur opkrikken	17
4	Groep III: L-muur	18
4.1	Woningfundering als waterkering	18
4.2	Woning geïntegreerd in de waterkering	18
4.3	Wooncomplex als waterkering.....	19
4.4	L-muur met bebouwing	19
4.5	Deltaligger	20
4.6	Verkeer achter keermuur.....	20
4.7	Overdekte weg binnendijks.....	21
4.8	Natuurbehoud met dijkversterking door L-muur.....	21
5	Groep IV: Doos als waterkering	22
5.1	Doos als fundering voor woningbouw	22
5.2	Verkeersbuis als waterkering.....	22
5.3	Dijktunnel.....	23

5.4	Kokers als waterkering en fundering.....	23
6	Groep V: Folieconstructie	24
6.1	Woning als waterkering	24
6.2	Waterkeringflat.....	24
7	Groep VI: Diepwand.....	25
7.1	T-profiel kern	25
7.2	Verkeer over T-profiel.....	25
7.3	Vestingmuur met diepwand en verhoging.....	26
7.4	Monument met diepwand	26
8	Groep VII: Kistdam	27
8.1	Paalwoning buitendijks	27
8.2	Drijvende woning buitendijks	28
8.3	Hoogwatervrije woningen in de uiterwaarden	28
8.4	Verkeer over de versterkte dijk.....	29
8.5	Natuurbehoud met dijkversterking door kistdam.....	29
9	Groep VIII: Wand als waterkering.....	30
9.1	Losstaande kerende wand.....	30
9.2	Aquariumwoning.....	30
9.3	Waddenwoningen.....	31
9.4	Strijkijzer.....	31
9.5	Doorzichtige overkapping	32
9.6	Transportbuizen op de dijk, verkeer ertussen.....	32
9.7	Verticale cilinders	32
9.8	Holle boog op dijk.....	33
9.9	Vestingmuur met Plexiglas opzetplaat.....	33
9.10	Plaatsing van doorzichtige wand	34
9.11	Glazen stolp	34
9.12	Muur verhogen met opzetstukken.....	35
9.13	Coupure die standaard gesloten is	35
10	Groep IX: Klepkering als waterkering	36
10.1	Tunnelklapdak	36
10.2	Klapkruin	36
10.3	Vestingmuur met opzetkleppen	37
10.4	Coupure met draaibodem.....	37
11	Groep X: Hefconstructie als waterkering.....	38
11.1	Vijzelplaat	38
11.2	Drijvende kruin.....	38
11.3	Verkeer over flexibele waterkering.....	39
11.4	Drijvende bak	39
11.5	Vestingwal met flexibele waterkering.....	40
12	Groep XI: Balgkering als waterkering	41
12.1	Balgkelder onder een weg	41
12.2	Opblaasworst.....	41

1 Inleiding

Het ontwikkelen van een innovatieve waterkering gebeurt aan de hand van een functiecombinatie van waterkeren met een andere functie. In bijlage B: Probleem- en functieanalyse waterkeringversterkingen is aangegeven welke functiecombinaties het meeste voorkomen en in aanmerking komen om verder uitgewerkt te worden. In deze bijlage, Ruimtelijk-functionele conceptoplossingen, worden voor de volgende vier karakteristieke functiecombinaties via enkele brainstormsessies oplossingen gecreëerd:

- waterkeren-wonen/werken
- waterkeren-transport
- waterkeren-natuur
- waterkeren-historie

De eerste brainstormsessie bleef beperkt tot de twee samenstellers van dit rapport. Na de uitkomsten van deze sessie onderling vergeleken te hebben, is besloten een tweede brainstormsessie te organiseren, met twee medewerkers van het Waterbouwkundig Innovatief Steunpunt (WIS), twee medewerkers van de afdeling Geotechniek van DWW en een student Bouwkunde, onder leiding van de twee afstudeerders. De afdeling WIS is een samenwerkingsverband tussen de Bouwdienst en de Dienst Weg- en Waterbouwkunde, beide specialistische diensten van Rijkswaterstaat. De afdeling Geotechniek is een onderdeel van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat.

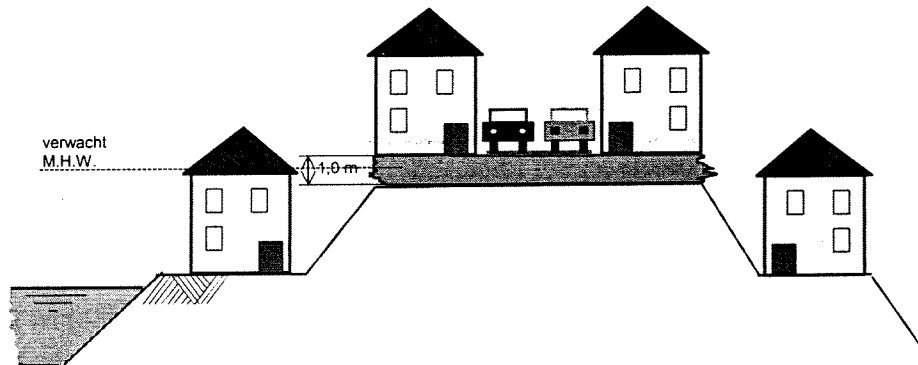
De oplossingen worden gepresenteerd, door deze te groeperen per oplossing die er voor de waterkering is bedacht. Deze indeling zal ook in het vervolg worden aangehouden.

2 Groep I: Dijk met aangepaste ophoging

Bij deze groep wordt in alle situaties de waterkering gevormd door de bestaande dijk die aan de bovenzijde wordt verhoogd, waarbij deze verhoging niet zorgt voor een extra belasting of de daarmee samenhangende zettingen.

2.1 Opgekrikte huizen

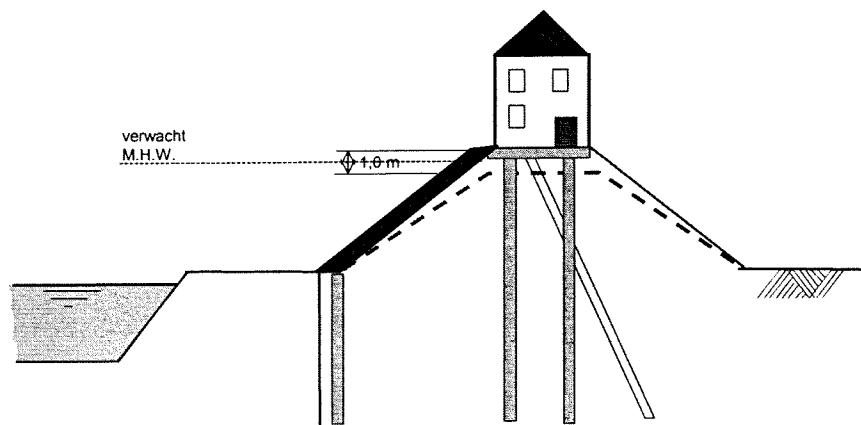
Als alternatief voor een traditionele ophoging kan een verhoging worden gerealiseerd, waarbij de huizen compleet met omgeving worden opgekrikt.



Huis en omgevingverhogen (opkrikken)

2.2 Scherm met palen

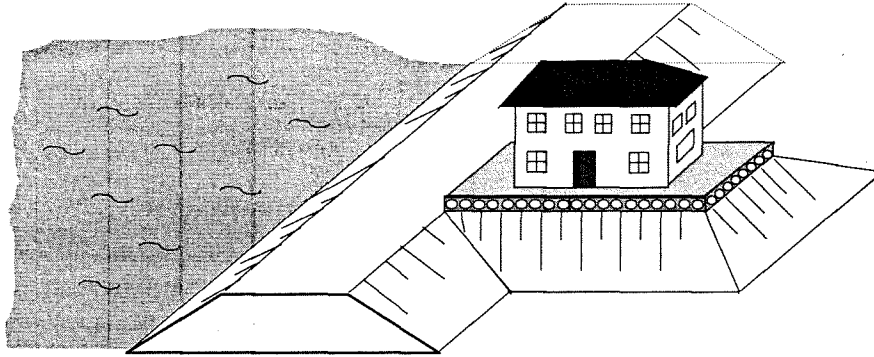
Het waterkerende element is een plaat, die gefundeerd is op palen. De plaat vervangt het buitentalud van de grondconstructie. De kruin van de waterkering is een betonconstructie, zodat die kan dienen als fundering voor bebouwing. Het binnentalud bestaat uit grond.



Scherm met palen

2.3 Terpen van baggerspecie

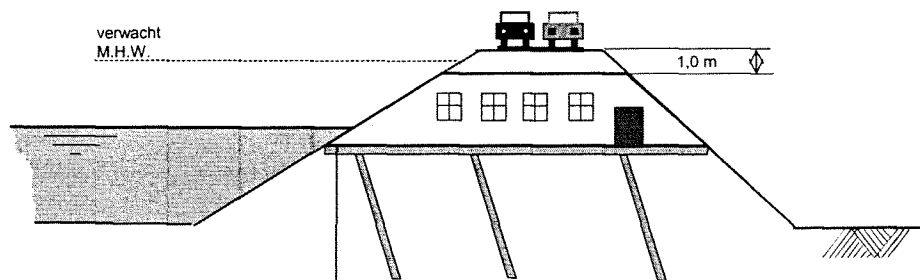
Een andere optie is het gebruik maken van alternatieve ondersteunende methoden. Een idee hiervoor is het gebruik van gestabiliseerde baggerspecie. Dit materiaal is relatief licht en kan in combinatie met Stelcom-platen ervoor zorgen dat er een goede ondergrond ligt voor woningbouw (bijv. Houtskeletbouw). Indien deze terpen binnendijs worden aangelegd, fungeren ze als een soort steunbermen. Dit idee heeft wel iets weg van het gebruik van terpen in het verleden.



Terpen van baggerspecie

2.4 Dijkwoning

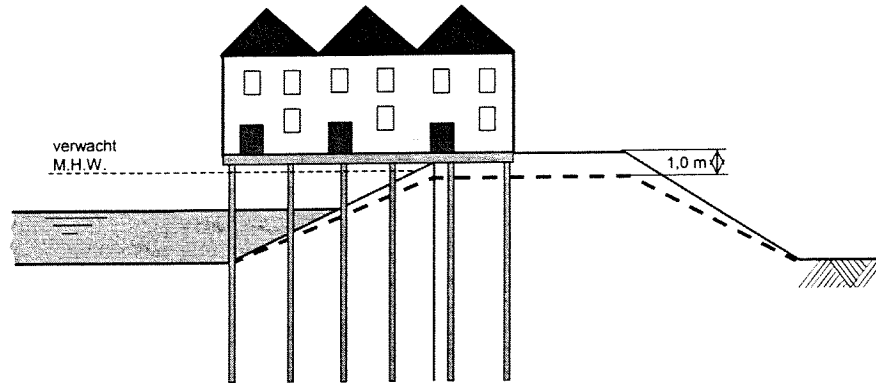
De woning is compleet geïntegreerd in de waterkering. De vorm van de dijk blijft min of meer behouden. Er is ruimte voor een verhoging, doordat de massa van de woning kleiner is dan van de grond die er daarvoor lag. Om de verbondenheid tussen de woning en de rivier te versterken, kan de woning (gedeeltelijk) transparant worden gemaakt, waardoor een soort "dijkwoning" ontstaat.



Dijkwoning

2.5 Uitkragende woningen

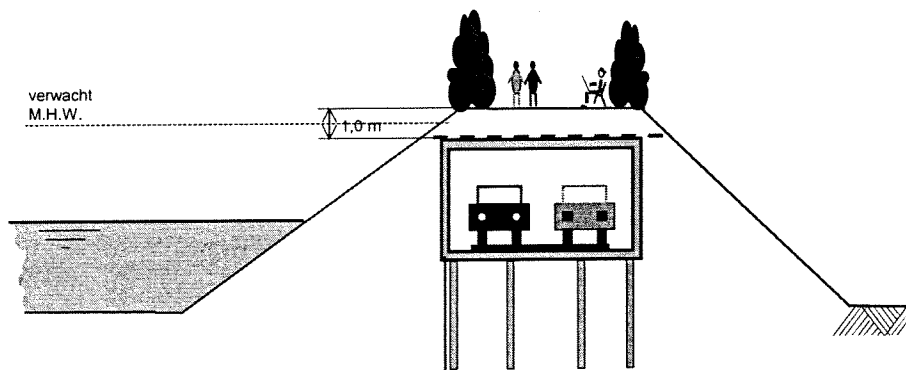
Dit is een optie om de woonfunctie intact te laten, door gebruik te maken van uitkragende woningen. Dit kan de woonfunctie op de waterkering zelfs versterken. Daarnaast kan de waterkering zelf versterkt worden, bijvoorbeeld met een licht materiaal.



Uitkragende woningen

2.6 Tunnel in de waterkering

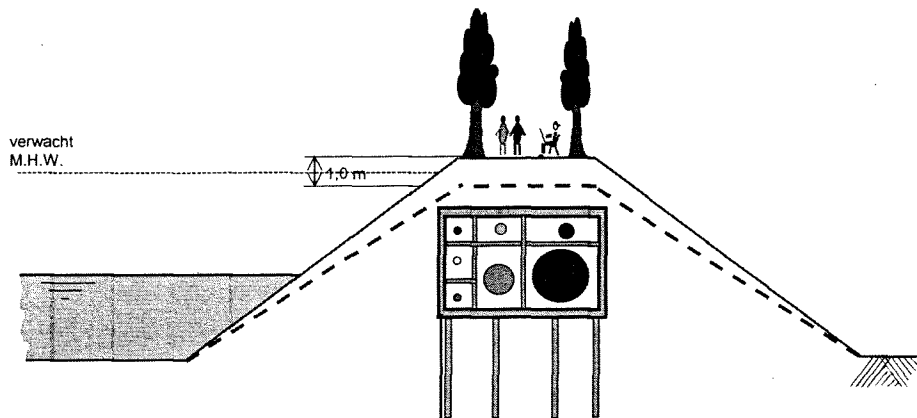
De tunnel heeft een dubbele functie: Enerzijds biedt de tunnel de ruimte voor verkeer parallel aan de dijk, zonder het uiterlijk van de dijk te schaden. Anderzijds kan dankzij de fundering van de tunnel middels palen, de zetting van de waterkering worden gestopt en tevens wordt het instabiliteitglijvlak doorsneden door de tunnel, waardoor de dijk verhoogd kan worden, zonder instabiel te worden.



Tunnel in de waterkering

2.7 Transportleiding door de waterkering

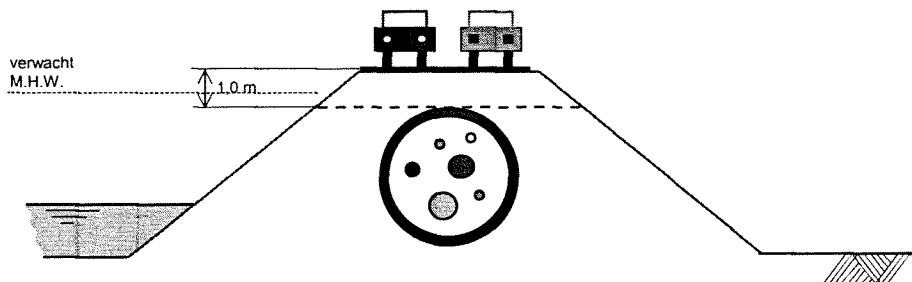
De transportleiding is omhuld door een koker van beton, waardoor er een tunnel ontstaat. De werking van de tunnel is daardoor gelijk aan die van een verkeerstunnel. De tunnel heeft een dubbele functie: Enerzijds biedt de tunnel de mogelijkheid om transport parallel aan de dijk te laten verlopen, zonder het uiterlijk van de dijk te schaden. Anderzijds kan dankzij de fundering van de tunnel middels palen, de zetting van de waterkering worden gestopt en tevens wordt het instabiliteitglijvlak doorsneden door de tunnel, waardoor de dijk verhoogd kan worden, zonder instabiel te worden.



Transportleidingen door de waterkering

2.8 Transportkoker door de dijk

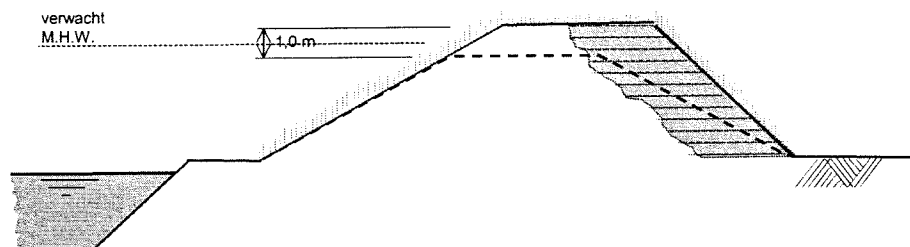
Het buistransport kan plaatsvinden in de dijk in een grote pijp, waardoor het totale gewicht van de waterkering niet toeneemt, ondanks de verhoging. Ook de verkeersfunctie kan zo behouden blijven.



Pijp door de dijk. Dit leidt tot een lichtere dijk.

2.9 Gewapende grond

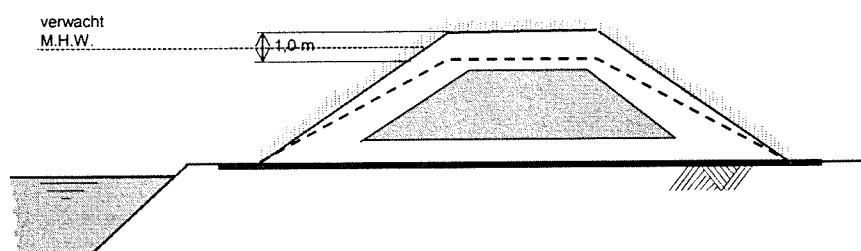
In het geval dat er sprake is van een groene dijk met alleen een agrarische functie en geen verdere natuurfunctie, kan er gebruik worden gemaakt van "gewapende grond" op het binnenland. Bij deze methode wordt de aanwezige grond versterkt door middel van kunststofvezels en matten. Hierdoor wordt de draagkracht van de grond verbeterd en een betere stabiliteit bereikt. Dit leidt weer tot een steiler talud, waardoor het ruimtebeslag bij verhoging gelijk blijft. Het aanbrengen van de gewapende grond vereist wel een, gedeeltelijk, afgraven van de bestaande dijk. Ook kan er sprake zijn van een toename van de hoeveelheid kwelwater.



Gewapende grond op het binnentalud. Vereist wel gedeeltelijke afgraving dijk.

2.10 Grondvervangning

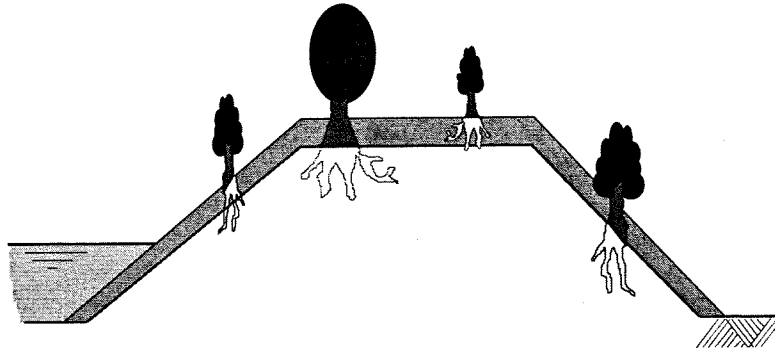
Een methode om de belastingen van het dijklichaam op de ondergrond niet te laten toenemen, terwijl er wel een dijkverhoging wordt gerealiseerd, is het gebruik maken van lichter ophoogmateriaal (bijv. polystyreen). Zo kan bereikt worden dat het gewicht van de totale dijk gelijk blijft, als een deel van het oorspronkelijke materiaal wordt vervangen door een grotere hoeveelheid lichter opvulmateriaal. Het aanbrengen van het lichte ophoogmateriaal vereist wel een afgraven van de bestaande dijk.



Verhoging van de waterkering d.m.v. grondvervangning. Vereist wel afgraving dijk.

2.11 Tussen de bomen ophogen

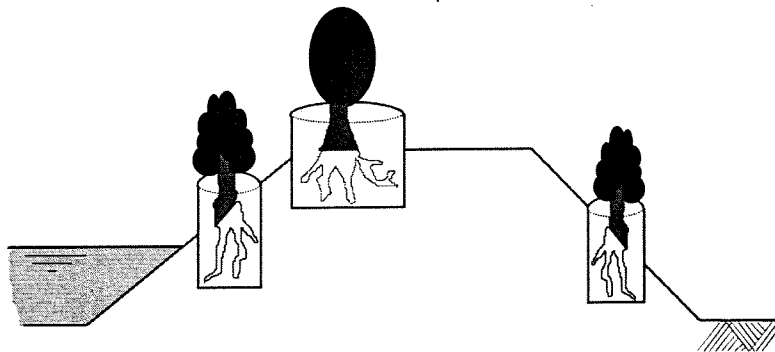
De bomendijk kan verhoogd worden door de bomen te laten staan en de dijk tussen de bomen met klei op te hogen. Daarnaast kunnen nieuwe bomen geplant worden op een hoger grondniveau.



Grond ophogen en nieuwe bomen planten

2.12 Bomen verpakken in cilinders

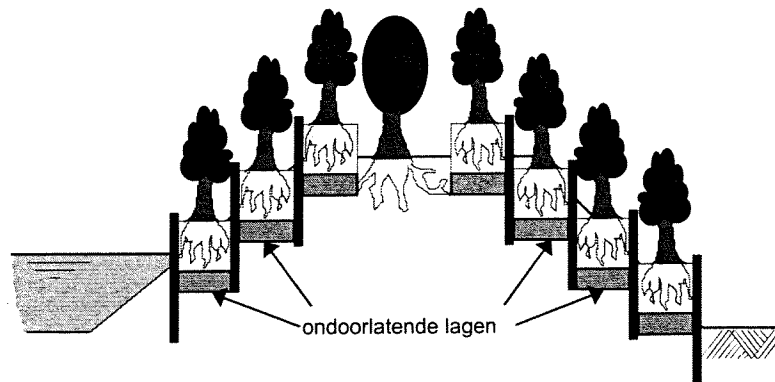
Door buizen om de bomen heen te plaatsen kan men de bomen behouden en toch de dijken verhogen. Op die manier hoeft een omvallende boom geen problemen te veroorzaken (zoals nu wel het geval is en daarom als dijkvreemd element wordt beschouwd).



Buizen om bomen

2.13 Terrasdijk

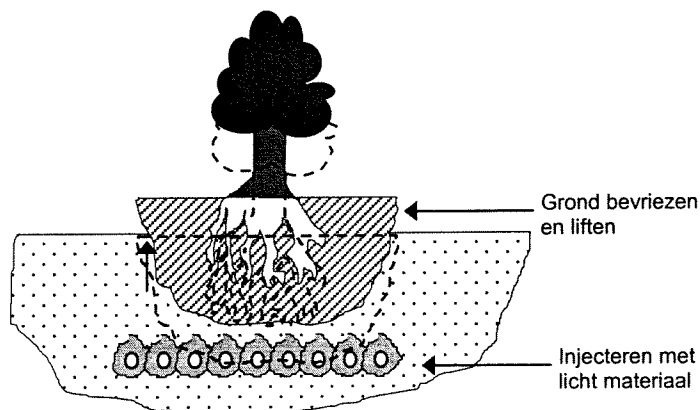
Een ander natuurvriendelijk alternatief is de aanleg van een terrasdijk. Op die manier veroorzaken bomen geen problemen indien ze omvallen. De waterkering wordt gerealiseerd door keerwanden in combinatie met "selfsealing-laagjes", dat zijn laagjes die in de grond worden ingespoten en waterkerend zijn, waardoor een ondoorlatende dijk ontstaat. Het resultaat is een soort sawa.



Terrasdijk

2.14 Bomen liften

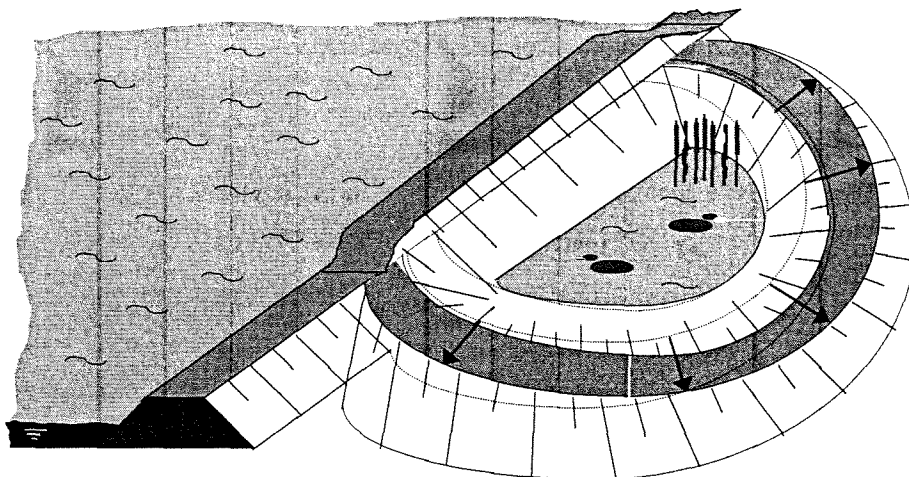
Een ander idee is het bevriezen van de grond onder de bomen, waardoor er een vaste klomp grond ontstaat. Deze klomp kan gelift worden, waarna er een laag onder geïnjecteerd kan worden.



Boom liften dankzij bevroering en injectie

2.15 Vergroting van het wiel

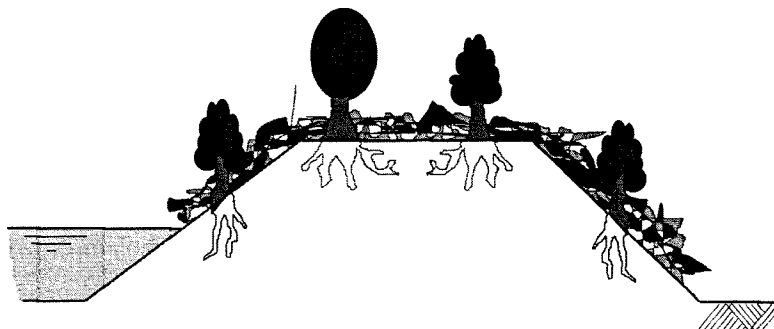
Als oplossing voor het wiel, komt een vergroot wiel het meest in aanmerking. De natuurfunctie wordt dan versterkt, terwijl ook de dijk kan worden versterkt. De waterkering is in principe de traditionele dijk, alleen wordt het extra ruimtebeslag hiervan gecompenseerd door het wiel landinwaarts uit te breiden.



Vergroot wiel

2.16 Erosiebeschermende struiken aanbrengen

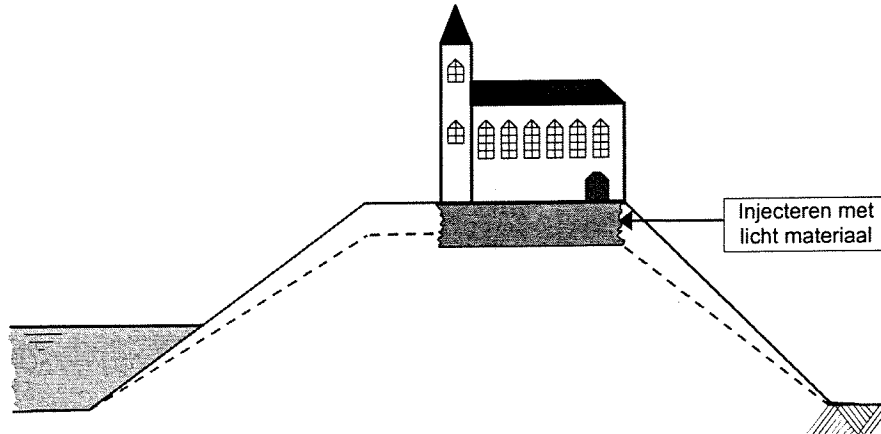
Bomen op een dijk hoeven geen probleem te zijn. Alleen de slechte bomen kunnen omwaaien. Een goed beheer kan er dus voor zorgen dat de bomen behouden kunnen blijven. Een manier om de dijk zo natuurlijk mogelijk te houden is de aanleg van BAW-struiken, die in staat zijn een flinke overslag te weerstaan. De dijk hoeft dan niet verhoogd te worden, doordat een groter overslagdebiet kan worden geaccepteerd. Op die manier kan de huidige dijk intact blijven.



Aanleg van BAW-struiken om de dijk met begroeiing intact te houden.

2.17 Monument opkrikken door onderhogen

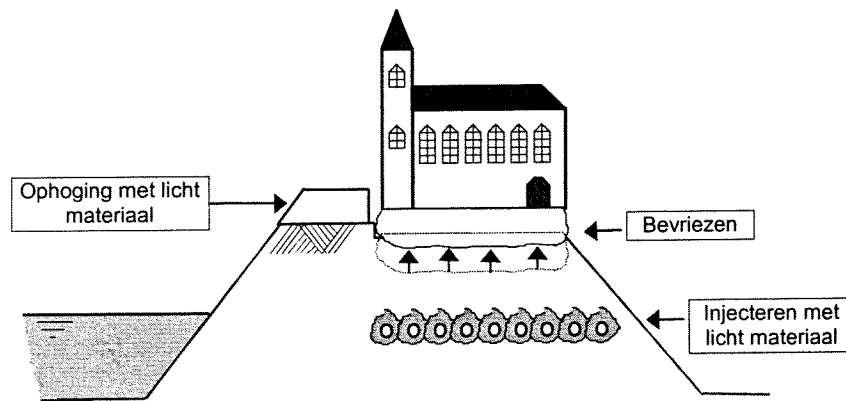
Een manier om monumentale bebouwing te behouden, is het opkrikken van de bebouwing en onderhogen van de ondergrond. Daarnaast kan de dijk rondom de bebouwing traditioneel worden opgehoogd. Op deze manier kan de bebouwing behouden blijven in zijn oorspronkelijke staat, terwijl de waterkering verhoogd wordt.



Kerk opkrikken en ondervullen met grond

2.18 Ondergrond bevroren en met lichter ophoogmateriaal injecteren

Een andere optie om ook het uiterlijk min of meer intact te houden, is het opkrikken van de kerk, door de grond te bevriezen en vervolgens de ondergrond te injecteren met licht materiaal. Hierdoor wordt wel de waterkering verhoogd, maar neemt de belasting niet toe en verliest de historische bebouwing ook zijn waarde niet.



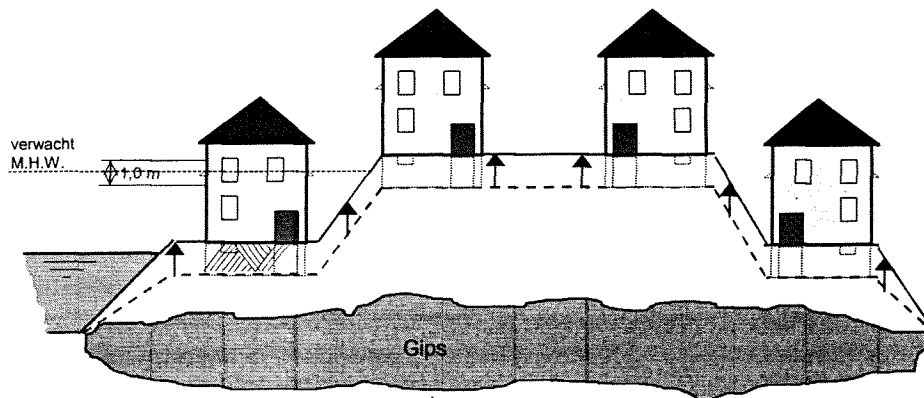
Grond bevroren en injecteren

3 Groep II: Dijk met verbeterde ondergrond

Alle oplossingen in deze groep hebben als waterkerend element de bestaande dijk. De ondergrond hieronder zal echter substantieel verbeterd worden waardoor de dijk verhoogd kan worden zonder extra zettingen te veroorzaken. Dit kan waar mogelijk gebeuren door een ophoging van onderen af.

3.1 Chemisch onderhogen

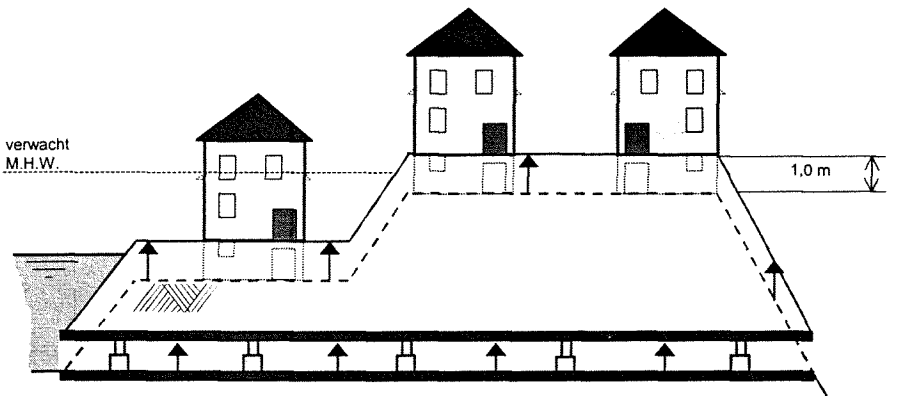
Er kan onderzoek gedaan worden naar de mogelijkheden van ophoging door chemische reacties in de ondergrond. Dit is bijvoorbeeld mogelijk bij kalkhoudende grond. Het volume van gips is twee keer zo groot als dat van kalk, dat d.m.v. zuur omgezet kan worden in gips. Hierdoor kan er dankzij een chemische reactie onderhoging plaatsvinden.



Chemisch onderhogen

3.2 Opgevijselde dijk

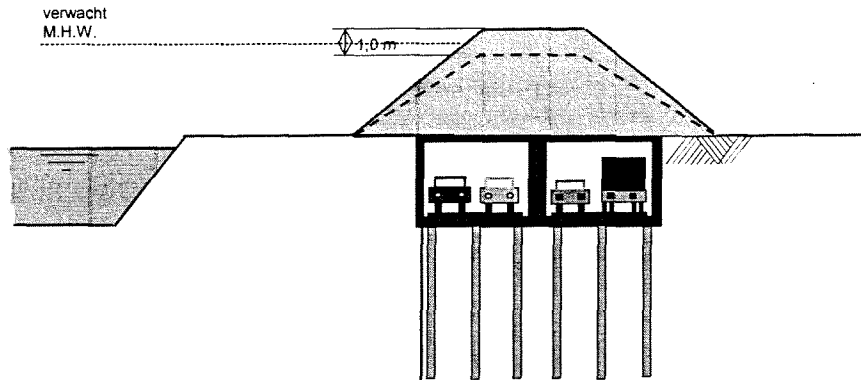
Het is misschien ook mogelijk om de dijk door middel van twee vijzelplaten te verhogen. Indien de platen vanaf de zijkant ingebracht kunnen worden, kan de complete kering in één keer worden verhoogd, zonder dat er aan de bovenzijde grond hoeft te worden toegevoegd. Na het opvijselen kan de ruimte tussen de platen met waterdichte specie (bijvoorbeeld beton) worden gevuld.



Ophoogdijk (d.m.v. vijzelen)

3.3 Tunnelfundering

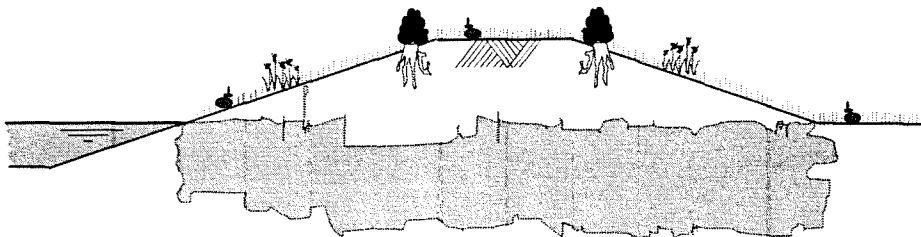
Voor een verbetering van de fundering van de waterkering, kan er een betonconstructie aangelegd worden. Deze constructie kan bestaan uit een tunnel, waar transport door plaats kan vinden, terwijl de waterkering er bovenop ligt. Door de dijk op de tunnel te funderen is het mogelijk de waterkering op hoogte te krijgen en een grote stabiliteit te creëren.



Tunnel als fundering voor het dijklichaam

3.4 Ondergrond grouten

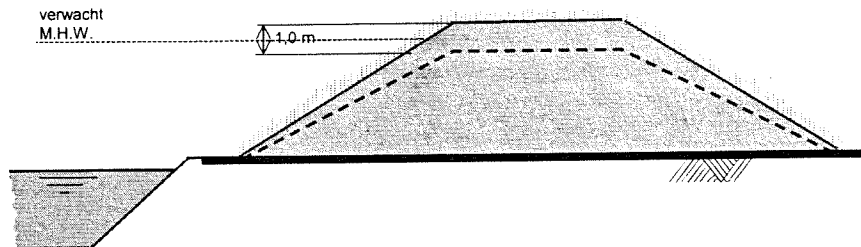
Voor een betere draagkracht van de ondergrond is het noodzakelijk dat er wat aan de grondeigenschappen gedaan wordt. De ondergrond kan verbeterd worden door een zand-cement mengsel in de grond te injecteren. Door deze injectie is het mogelijk de dijk op hoogte te brengen zonder een ingrijpende verandering aan de helling van het talud (hoeft niet verflauwd te worden). De verstevigde ondergrond zorgt ervoor dat de zakkings beperkt blijven en dat stabiliteit verzekerd is. Het waardevolle talud kan behouden blijven door voor de werkzaamheden de bovenste laag in plagen af te graven en na de verbetering terug te leggen.



Ondergrond verstevigen door groutinjectie

3.5 Geotextiel

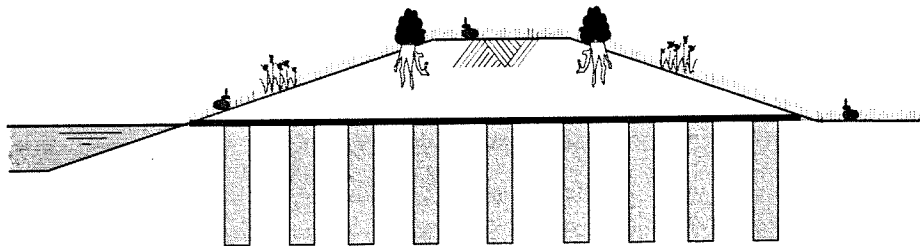
Wanneer er alleen sprake is van een groene dijk met uitsluitend een agrarische functie en geen verdere natuurfunctie, kan er geotextiel toegepast worden. Het geotextiel dient ter verbetering van de draagkracht van de grond en het verkrijgen van een betere stabiliteit. Het aanbrengen van het geotextiel vereist wel een afgraven van de bestaande dijk, omdat het geotextiel het beste direct op de slappe ondergrond aangebracht kan worden.



Versteving van ondergrond met geotextiel. Vereist wel afgraving dijk.

3.6 Grondverbeteringkolommen

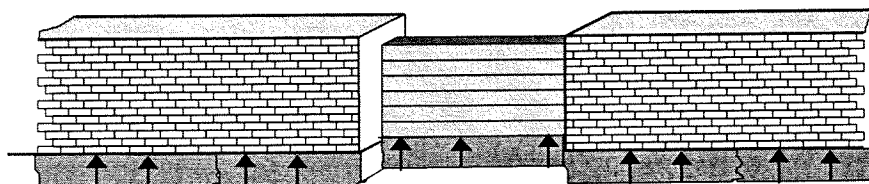
De ondergrond kan ook verbeterd worden door het aanbrengen van zand-cement, kalk-cement of grind-grond kolommen in combinatie met een geotextiel. Het geotextiel ligt over de kolommen heen en zorgt voor een verdeling van de krachten over de kolommen en de rest van de grond. Door het toepassen van de kolommen zal de grond bijna geen zettingen meer vertonen. Op deze manier is het mogelijk een verhoging door te voeren zonder kans op instabiliteit of grote zettingen. De grondkolommen hebben ook een sterk drainerende functie. Het ontbreken van de waterkerende functie van de ondergrond kan wel een probleem vormen.



Versteving van de ondergrond door zand-cement of kalk-cement kolommen

3.7 Vestingmuur opkrikken

De vesting muur kan verhoogd worden door de muur in stukken op te krikken. Hierdoor blijft het stadsgezicht intact. Deze operatie is technisch gecompliceerd en dus duur, maar kan toegepast worden indien de waterkering verhoogd moet worden, zonder dat de huidige bebouwing wordt aangetast. In feite blijft de huidige waterkering intact, alleen wordt de ondergrond verbeterd, zowel qua draagkracht als qua waterdichtheid.



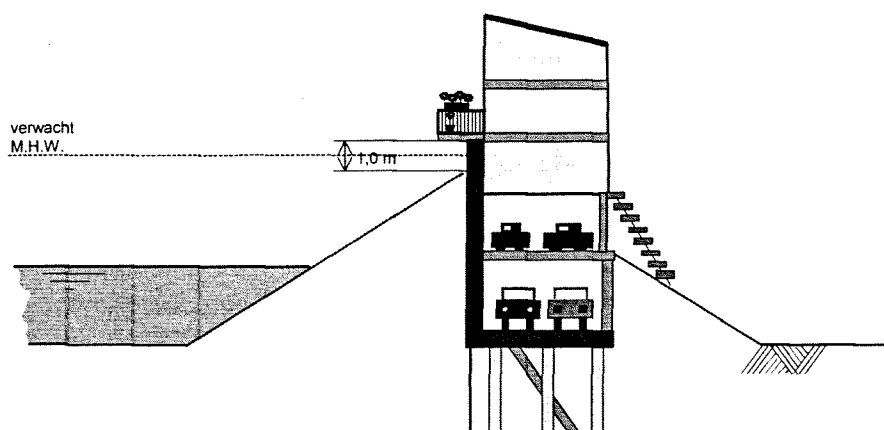
Hele constructie in stukken opkrikken

4 Groep III: L-muur

Een groot aantal van de ontwikkelde oplossingen is te ontleden in een L-muur constructie en een opbouw. De waterkerende functie wordt dan vervuld door de L-muur (met scherm en palen) en de opbouw vervult de gebruiksfunctie. Per functiecombinatie zal aangegeven worden welke oplossingen onder het L-muur principe vallen.

4.1 Woningfundering als waterkering

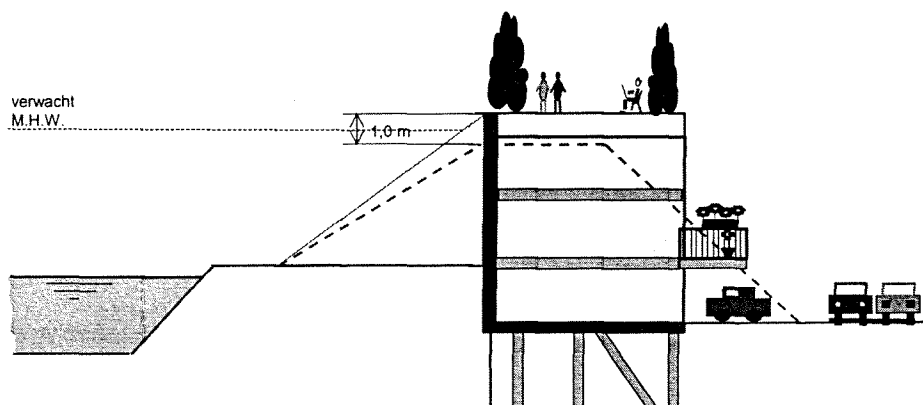
De fundering van de nieuw te bouwen dijkwoning wordt uitgevoerd als een L-muur. Deze L-muur is tevens de waterkering, aangevuld met een damwand aan de onderzijde. Verder wordt de L-muur (en dus ook de woning) gefundeerd op palen, zodat waterkering stabiel en zettingvrij is. Deze oplossing biedt verder de mogelijkheid tot het vervangen van de woning, zonder afbreuk te doen aan de waterkering.



Woningfundering als waterkering, L-muur geïntegreerd in een woning

4.2 Woning geïntegreerd in de waterkering

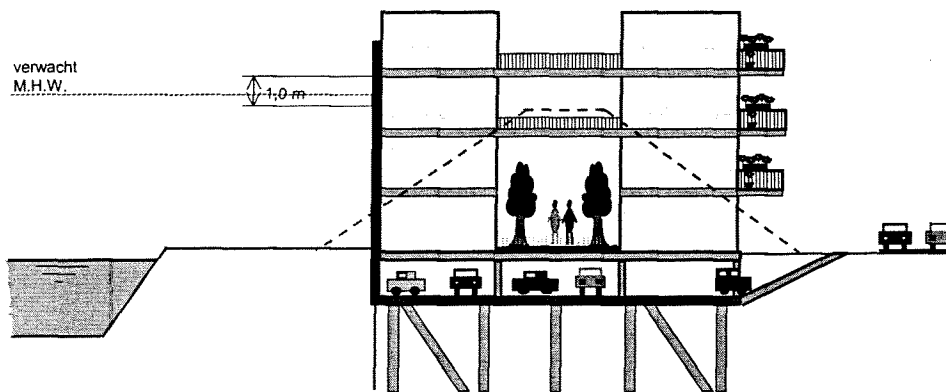
Bij deze oplossing is de woning volledig opgenomen in de waterkering. Er wordt gebruik gemaakt van een L-muur als waterkering en tevens als basis voor de woning. De L-muur is gefundeerd op palen. Verder wordt er een damwand in de L-muur verankerd, die samen met de L-muur de waterkering vormt. Doordat de woning is opgenomen in de waterkering, zijn er mogelijkheden de kruin en het buitentalud te gebruiken voor andere functies, zoals natuur of recreatie. Nadeel is wel dat er weinig mogelijkheden zijn tot het aanpassen van de woning met instandhouding van de waterkering.



Woning geïntegreerd in de waterkering

4.3 Wooncomplex als waterkering

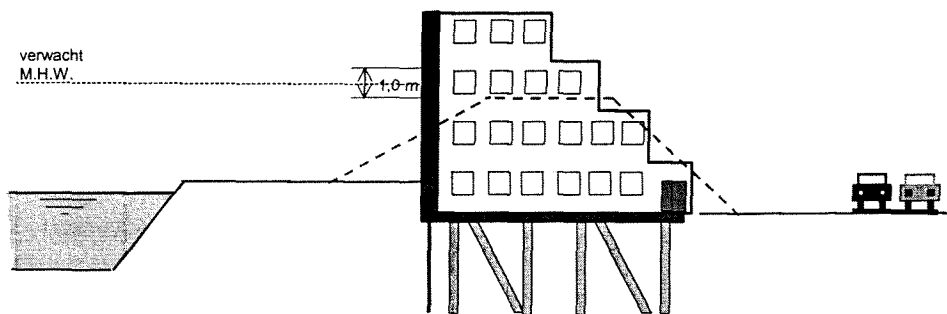
Deze oplossing maakt gebruik van de L-muur, gefundeerd op palen, aangevuld met een waterkerende damwand. Om tegemoet te komen aan het bezwaar van grote woningen zonder licht, is er de mogelijkheid een compleet wooncomplex als waterkering te gebruiken. Hierin is ook de mogelijkheid opgenomen van recreatie en/of (beperkte) natuur. Mogelijkheden tot latere aanpassingen zijn zeer beperkt.



Wooncomplex als waterkering

4.4 L-muur met bebouwing

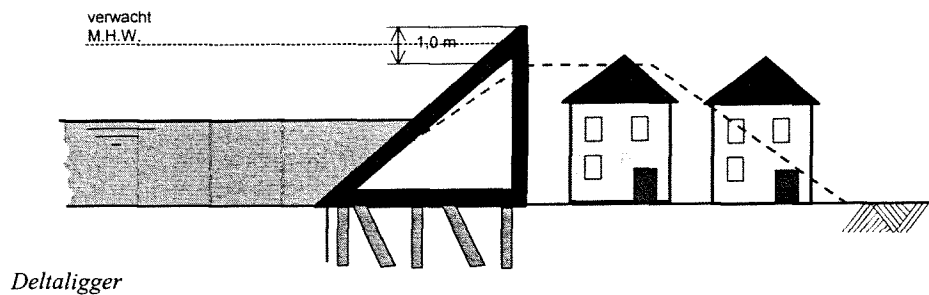
De waterkering bestaat uit een L-muur, gefundeerd op palen. Voor de muur is een grondtalud aangebracht, dat de waterkering een "dijkgezicht" geeft. Op de L-muur kan bebouwing aangebracht worden, die op de plaat van de L-muur gefundeerd wordt. De constructie van de waterkering en de bebouwing zijn dus gescheiden.



L-muur met bebouwing

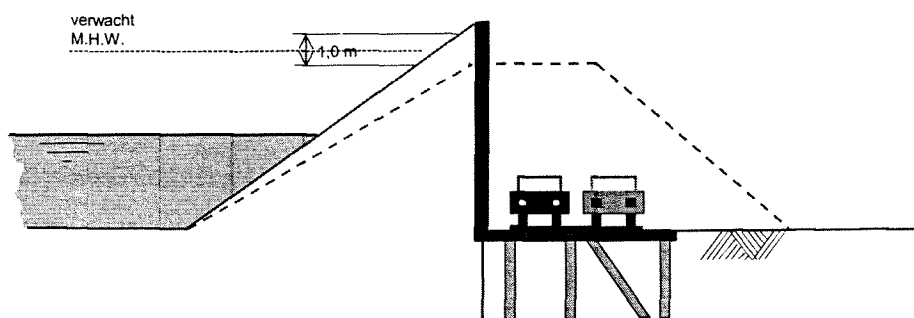
4.5 Deltaligger

Het traditionele grondlichaam van de dijk is vervangen door een betonconstructie in de vorm van een Delta (Δ). De binnenkant van de dijk kan gebruikt worden voor andere functies. De constructie is gefundeerd op palen. De betonconstructie biedt een prima ruimte voor nevenfuncties, zowel in als achter de ligger.



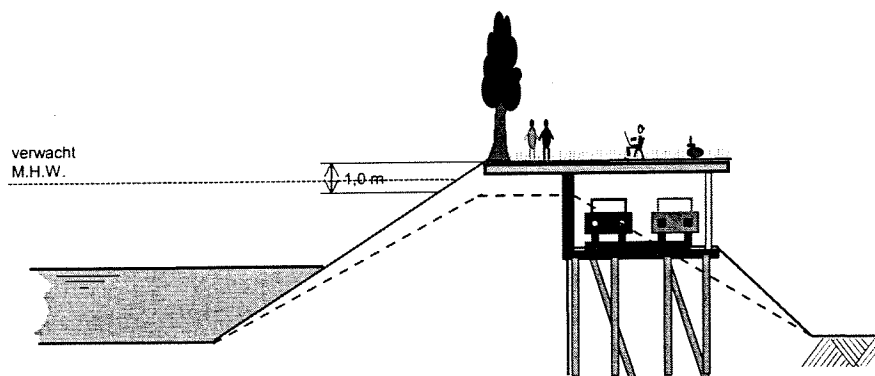
4.6 Verkeer achter keermuur

Een manier om functies te combineren, is door het grondlichaam af te graven en te vervangen door een keermuur (bijv. L-muur). De ruimte die daarbij vrijkomt kan gebruikt worden om de verkeersfunctie te vervullen.



4.7 Overdekte weg binnendijks

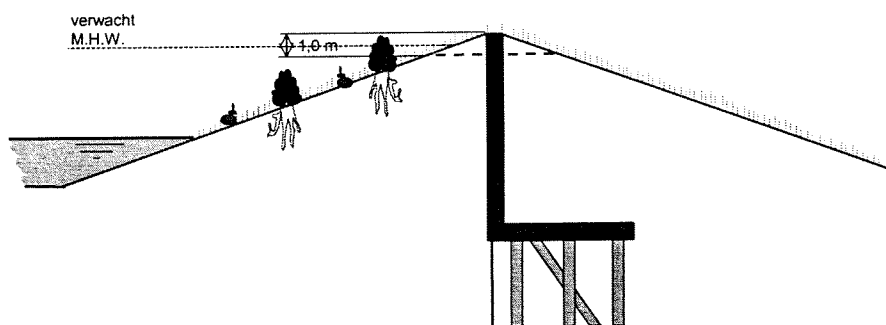
Door de weg op te nemen in de waterkering, kan evenals bij de tunnelbuis de stabiliteit worden vergroot en de zetting worden verminderd, dankzij de fundering op palen. De aanleg is echter eenvoudiger dan bij de tunnelbuis. Verder is het verkeer vanuit de polder zichtbaar, maar niet vanaf het water.



Overdekte weg binnendijks op berm of bij teen

4.8 Natuurbehoud met dijkversterking door L-muur

Er vindt een dijkversterking plaats, middels een verhoging, waarbij de standzekerheid wordt gewaarborgd door een L-muur op geheide palen. Op deze manier kan de natuurfunctie intact worden gehouden, terwijl er toch versterking plaatsvindt. Ook is er geen sprake van groter ruimtebeslag. Nadeel is wel dat een deel van de waterkering zal moeten worden ontgraven om de L-muur (of diepwand) aan te brengen. Deze oplossing is aantrekkelijk op die plekken waar er sprake is van zeer waardevolle natuur op het buitentalud.



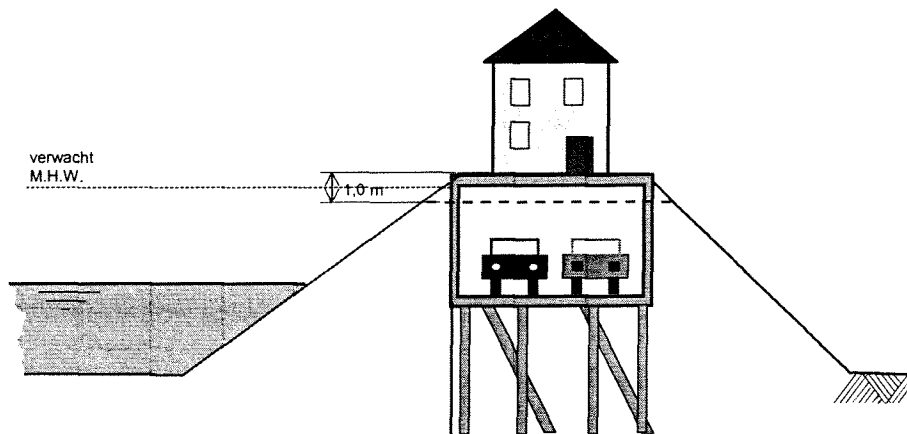
Natuurbehoud met dijkversterking door L-muur

5 Groep IV: Doos als waterkering

De waterkering wordt verzorgd door een doos van beton met daaronder een kwelscherm. Dit biedt een basis voor andere functies. Verder kan er ook nog een grondlichaam worden geplaatst ter verberging van de doos.

5.1 Doos als fundering voor woningbouw

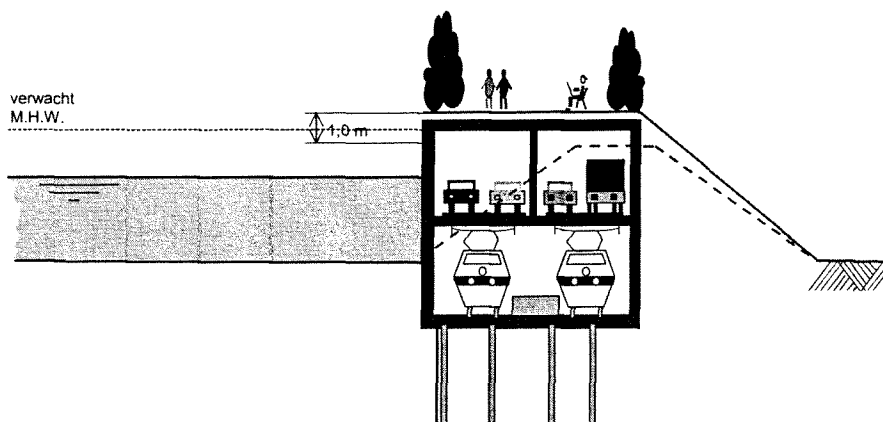
Om woningbouw te kunnen combineren met de waterkering, kan er gebruik worden gemaakt van een betonconstructie.



Doos als fundering voor woningbouw

5.2 Verkeersbuis als waterkering

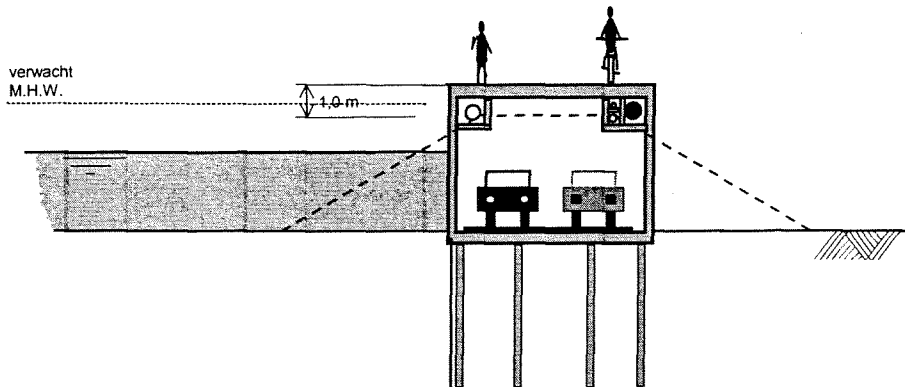
Het vervangen van een dijk door een tunnelbuis. Deze tunnelbuis heeft zodanige afmetingen dat er probleemloos één of meer verkeersstromen doorheen kunnen. Verder is de buitenwand van de buis, in combinatie met een damwand volledig waterkerend.



Verkeersbuis als waterkering

5.3 Dijk-tunnel

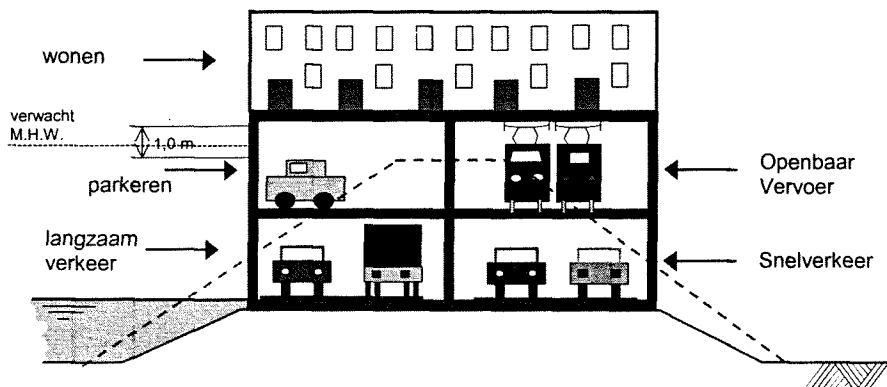
Het verhogen en verstevigen van een dijk in combinatie met een transportfunctie kan door het snelle verkeer en buizen-transport dóór de dijk plaats te laten vinden. Er wordt op het maaiveld een tunnel gemaakt met prefab tunnelelementen, die gefundeerd kunnen worden op palen. De hoogte van de elementen is dusdanig dat er in ieder geval aan de eisen van de transportfunctie voldaan wordt. De waterkerende hoogte kan bereikt worden door de tunnelelementen hoger te maken. Aan weerszijden komt zo ruimte beschikbaar, doordat er geen taluds meer nodig zijn.



Transporttunnel in de dijk, langzaam verkeer erover.

5.4 Kokers als waterkering en fundering

Een oplossing waarbij radicaal anders wordt gedacht over integratie, is die waarbij meerdere functies worden gecombineerd. Naast een functiecombinatie van waterkeren met één nevenfunctie, kunnen ook meerdere nevenfuncties worden gecombineerd. Dit kan op een brede stevige dijk in de stad.



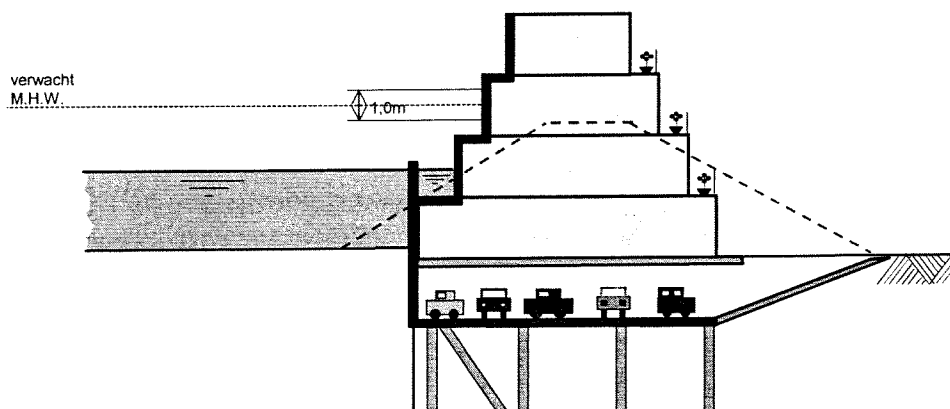
Waterkering door kokers met verschillende functies

6 Groep V: Folieconstructie

De waterkering wordt niet direct gerealiseerd door de constructie, zoals bij de L-muur wel het geval is, maar de constructie wordt gebruikt om waterkerend element, zoals een waterdicht folie, waterdichte damwand of waterdichte betonwand te ondersteunen. Op die manier maakt de constructie dus een geïntegreerd onderdeel uit van de waterkering.

6.1 Woning als waterkering

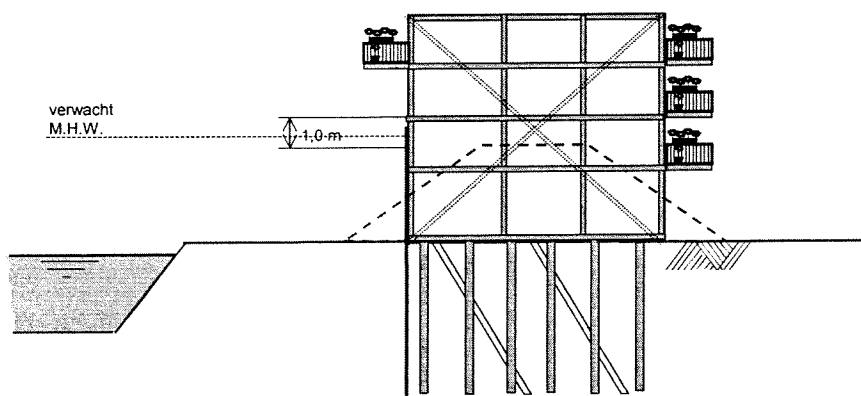
De woning zal uitgevoerd worden als een lange rij aaneengesloten woningen, waarbij de buitenmuur dienst doet als waterkering. Deze buitenmuur kan bijvoorbeeld getrapt uitgevoerd worden, zodat de vorm lijkt op de oorspronkelijke dijk. Mogelijkheden zijn er verder om de buitenmuur te bedekken met een grastalud (muren van beton) of om gebruik te maken van moderne hoge-sterkte-kunststoffen, die bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden als ramen of om de waterdichtheid te realiseren middels een folie. Bij deze oplossing wordt gebruik gemaakt van betonconstructie, gefundeerd op palen, aangevuld met een waterkerende damwand.



Woningen als waterkering

6.2 Waterkeringflat

De waterkering en de bebouwing die nodig is voor de functie "wonen" worden volledig geïntegreerd. De muur van de bebouwing is tevens waterkering. De constructie is gefundeerd op palen, vanwege de slechte ondergrond.



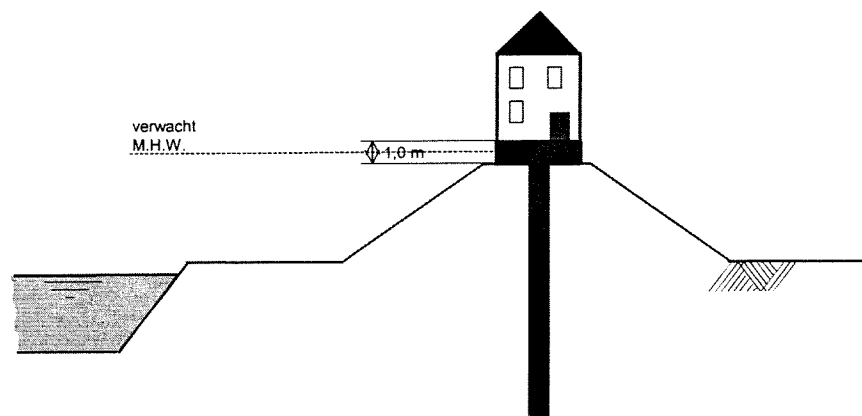
Waterkeringflat

7 Groep VI: Diepwand

Het waterkerende element is een plaat beton, die voor de krachten afhankelijk is van de omliggende grond. Een typisch voorbeeld van dit systeem is de diepwand. Hierop zijn enkele variaties mogelijk, waarbij ook verschillende invullingen aan de nevenfuncties gegeven kunnen worden.

7.1 T-profiel kern

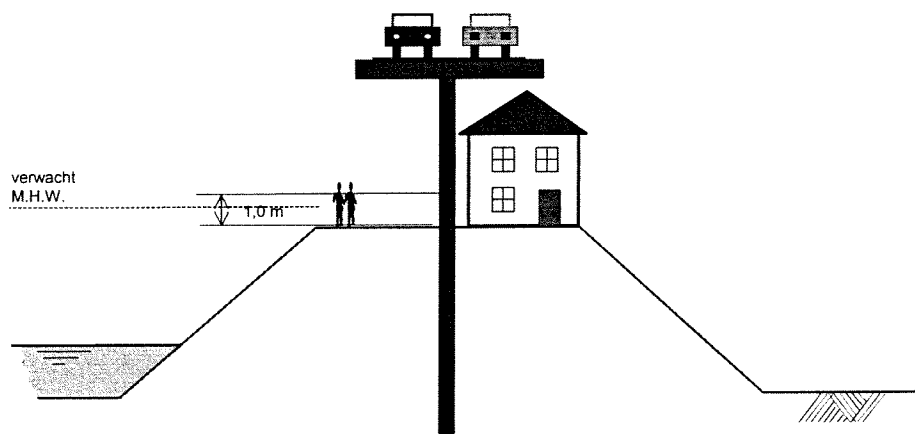
De kern van de dijk wordt gevormd door een beton- of staalconstructie in de vorm van een T. Op de bovenste flens kan gebouwd worden, de onderste flens is de fundering. De constructie wordt aan beide kanten aangestort met grond. De waterkering wordt gevormd door de verticale constructie (het lijf van het T-profiel), die gelijktijdig fundering voor de woning is. De stabiliteit wordt verzekerd met behulp van de grond.



T-profiel kern

7.2 Verkeer over T-profiel

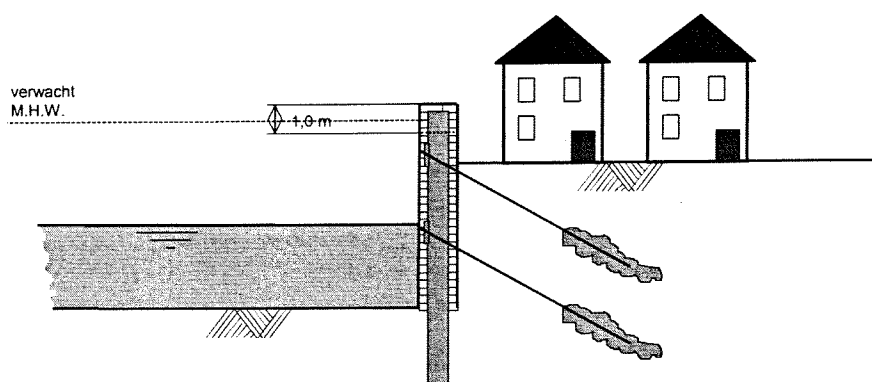
Een methode om meerdere functies te vervullen, zonder dat er functieconflicten plaatsvinden, is door de functies in verticaal opzicht te scheiden. Dit kan door het plaatsen van een T-profiel van beton. Op de bovenste flens, die zich boven maaiveld bevindt, kan de verkeersfunctie worden vervuld, het lijf is de waterkering en aan weerszijden van het lijf kan de woonfunctie en/of recreatiefunctie worden ingevuld. Wel dient er rekening met ernstige geluidsoverlast te worden gehouden.



T-profiel met daarop verkeer. Eronder is plaats voor andere functies.

7.3 Vestingmuur met diepwand en verhoging

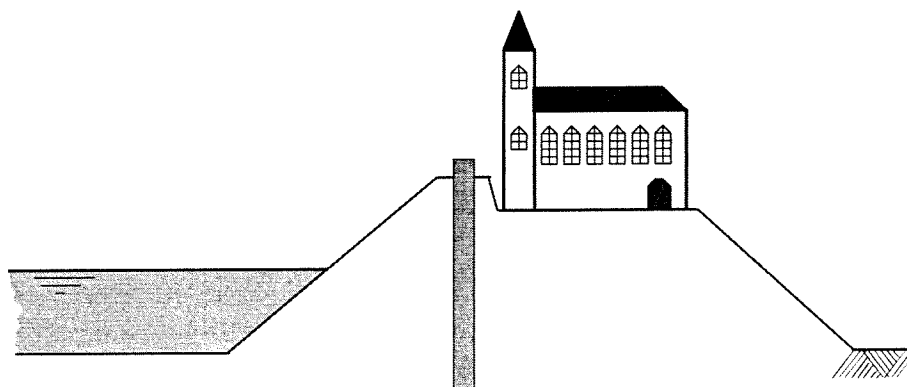
Evenals bij de vestingwal is het uiterlijk van de vestingmuur beschermd. Gekozen wordt voor een oplossing waarbij de wal wordt afgebroken, waarna een, door groutankers versterkte betonnen diepwand wordt gestort, waarna de muur weer wordt opgebouwd om de betonwand heen. De nieuwe vestingmuur is wel hoger dan de oorspronkelijke, maar verwacht wordt dat dat geen bezwaar is voor het stadsgezicht.



Vestingmuur met diepwand en verhoging

7.4 Monument met diepwand

Monumenten en andere waardevolle objecten kunnen intact worden gelaten door gebruik te maken van diepwanden. Deze hebben als voordeel dat ze zowel in de bouw- als gebruiksfase een minimaal ruimtebeslag hebben. Dit betekent dat ze geen invloed hebben op de monumenten of andere waardevolle objecten. Hierdoor kan de oorspronkelijke nevenfunctie (historie) naast waterkeren behouden blijven.



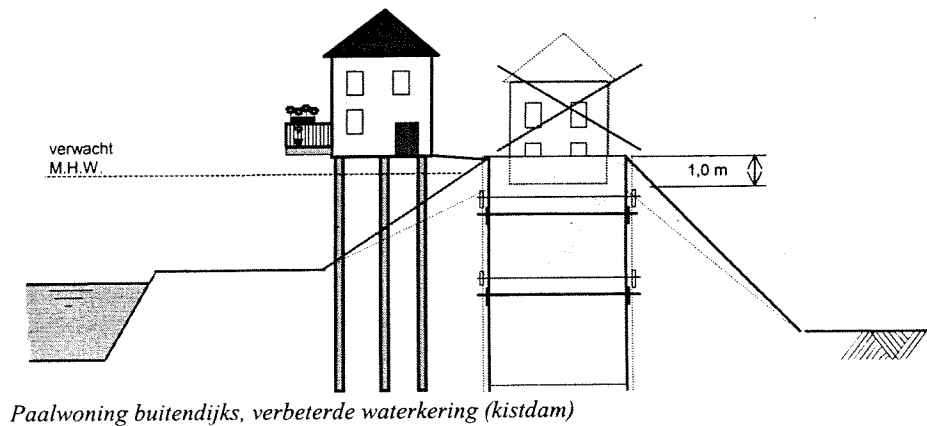
Monument met diepwand

8 Groep VII: Kistdam

Alle oplossingen in deze groep hebben als waterkerend element een kistdam. Deze is opgebouwd uit twee damwanden met daartussen grond. Op en naast de kistdam zijn verschillende functies mogelijk.

8.1 Paalwoning buitendijks

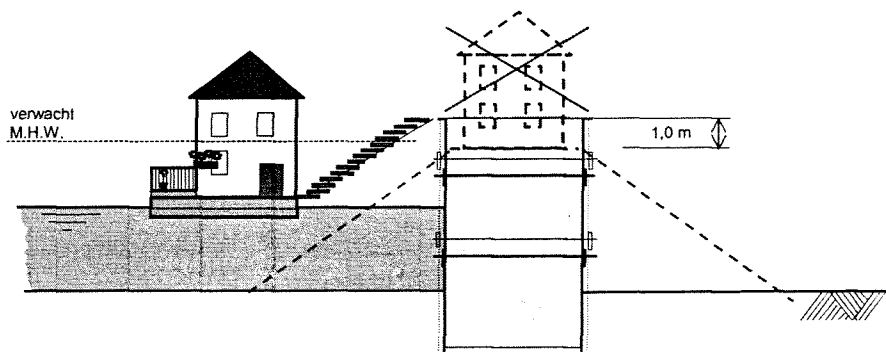
Om tegemoet te komen aan individuele gevallen, kan een bestaande woning gesloopt worden voor een dijkverbetering (bijv. aanleg kistdam). Teneinde de woonfunctie te behouden, zal er buitendijks een woning worden aangelegd. Deze zal gefundeerd worden op enkele betonkolommen waardoor een paalwoning ontstaat. Op deze manier worden meerdere functies vervuld, zonder dat er sprake is van een groter ruimtebeslag, hetzij landinwaarts, hetzij ten koste van het doorstroomprofiel. Er vindt wel een functiescheiding plaats. In die zin wordt dus op een alternatieve wijze invulling gegeven aan de multifunctionele aspecten van de waterkering. Omdat de woning geen deel uitmaakt van de eigenlijke waterkering hoeft een eventuele toekomstige verhoging van de waterkering geen bezwaar op te leveren voor de woonfunctie.



8.2 Drijvende woning buitendijks

Om tegemoet te komen aan individuele gevallen, waarbij een bestaande woning gesloopt moet worden voor een dijkverbetering, bijvoorbeeld een kistdam, kan een specifieke oplossing worden gecreëerd. Om de woonfunctie te behouden, kan er buitendijks een woning worden aangelegd. Een optie hiervoor is het aanleggen van een drijvende woning. Deze oplossing is gebaseerd op het aloude principe van de woonboot. Verschillen zijn de grootte van de woning en de grote variatie in het waterpeil. Dit heeft invloed op de woning zelf, o.a. omdat er sprake is van golven, maar vooral op de nutsvoorzieningen voor de woning, waaraan hoge eisen worden gesteld.

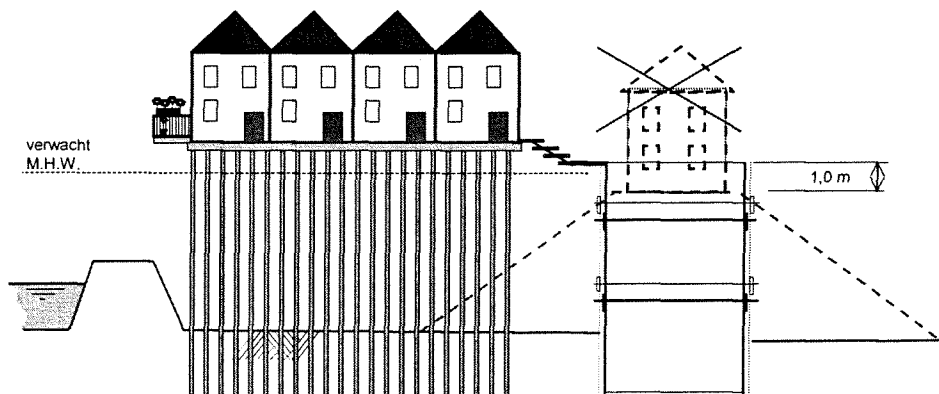
Op deze manier worden meerdere functies vervuld, zonder dat er sprake is van ruimtebeslag. In die zin wordt dus invulling gegeven aan de multifunctionele aspecten van de waterkering. Omdat de woning geen deel uitmaakt van de eigenlijke waterkering hoeft een eventuele toekomstige verhoging geen bezwaar op te leveren voor de woonfunctie.



Drijvende woning buitendijks (ark), kistdam als waterkering

8.3 Hoogwatervrije woningen in de uiterwaarden

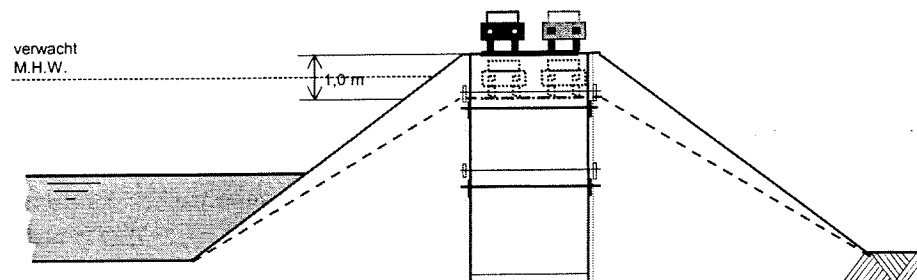
Indien de bestaande bebouwing moet worden gesloopt ten bate van een dijkverbetering, bijvoorbeeld door een kistdam, zal er op een andere wijze invulling aan de woonfunctie moeten worden gegeven. Om tegemoet te komen aan de eis dat er geen buitendijkse bebouwing mag plaatsvinden, waarbij het doorstroomprofiel van het winterbed wordt verkleind, is het aanleggen van hoogwatervrije woningen (dus op palen) mogelijk. Deze woningen vallen buiten het doorstroomprofiel. Dit kan bijvoorbeeld geschieden door het aanleggen van een wooncomplex.



Hoogwatervrije woningen in de uiterwaarden, verbeterde waterkering (kistdam)

8.4 Verkeer over de versterkte dijk

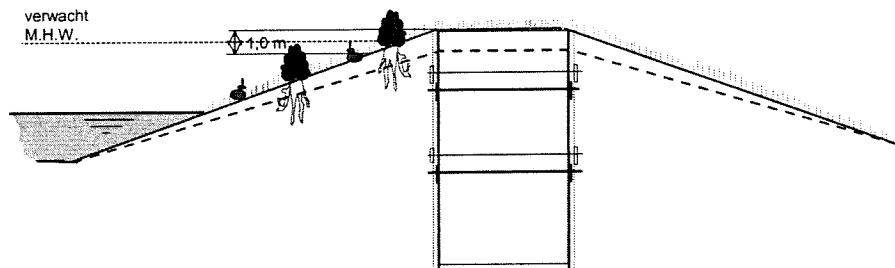
Hoewel deze oplossing niet overal toepasbaar is, zijn er locaties waar kan worden volstaan met het versterken van de dijk middels bijvoorbeeld een kistdam. In die gevallen is er geen extra verbreding van de waterkering nodig. De kistdam zorgt voor de noodzakelijke stabiliteit en verhoging van de kering.



Verkeersfunctie over de versterkte dijk

8.5 Natuurbehoud met dijkversterking door kistdam

Er vindt een dijkversterking plaats, middels een verhoging. De toplaag van de dijk wordt verwijderd en geconserveerd. Na ophoging, waarbij verbreding uit kan blijven, dankzij toepassing van een kistdam, wordt de toplaag getourneerd. Op deze manier kan de natuurfunctie intact worden gehouden, terwijl er toch versterking plaatsvindt. Ook is er geen sprake van groter ruimtebeslag.



Natuurbehoud met dijkversterking door kistdam

9 Groep VIII: Wand als waterkering

Deze groep is een verzameling van alle oplossingen waarbij de waterkering gerealiseerd wordt door een wand, al dan niet opgenomen binnen een andere constructie, waarvan de vorm sterk kan verschillen, evenals het gebruik en de grootte.

9.1 Losstaande kerende wand

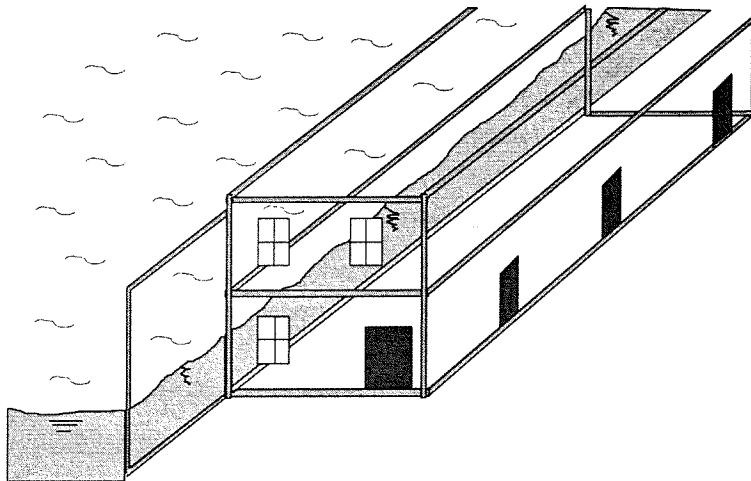
Uitgangspunt voor de oplossingen is het intact houden van de huidige situatie en de verhoging van de waterkering realiseren middels doorzichtige wanden. Deze zouden bijvoorbeeld van (gewapend) glas gemaakt kunnen worden.



Waterkerende wand van gewapend glas

9.2 Aquariumwoning

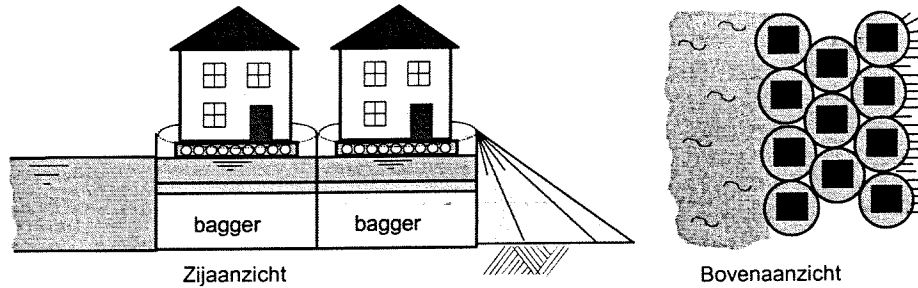
Een alternatieve integratie van waterkeren en wonen is door een glazen wand in het gebouw te construeren, waardoor de zijmuur van een woning doorzichtig wordt. Gedacht wordt hierbij aan bijvoorbeeld een horecagelegenheid.



Waterkerende muur van gewapend glas, geïntegreerd in de wand

9.3 Waddenwoningen

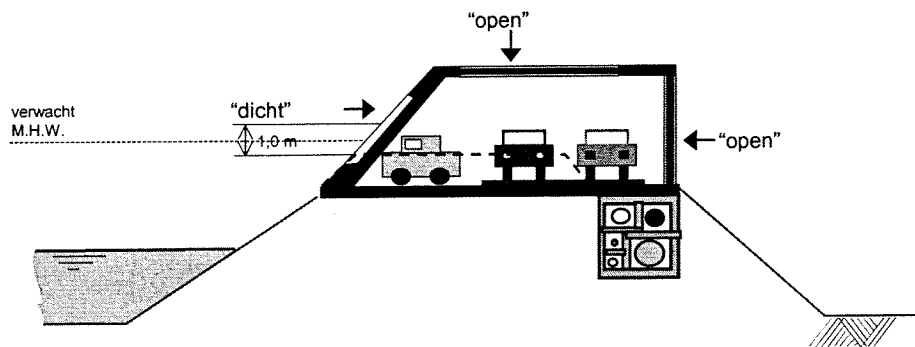
Om de woonfunctie te combineren met de waterkering, zonder daarbij vast te houden aan de bestaande situatie, kan men zogenaamde waddenwoningen aanleggen. Bij deze oplossing wordt de waterkering gevormd door een aantal cilinders die als een honingraat gerangschikt zijn. De bovenkant van deze cilinders bevindt zich boven MHW, binnen de cilinders bevinden zich (drijvende) woningen, rustend op Stelcom-platen, die drijven en in verticale richting mee bewegen met het fluctuerend waterpeil. Onder in de cilinders zit baggerspecie, afgedekt door een betonlaag.



Waddenwoning

9.4 Strijkijzer

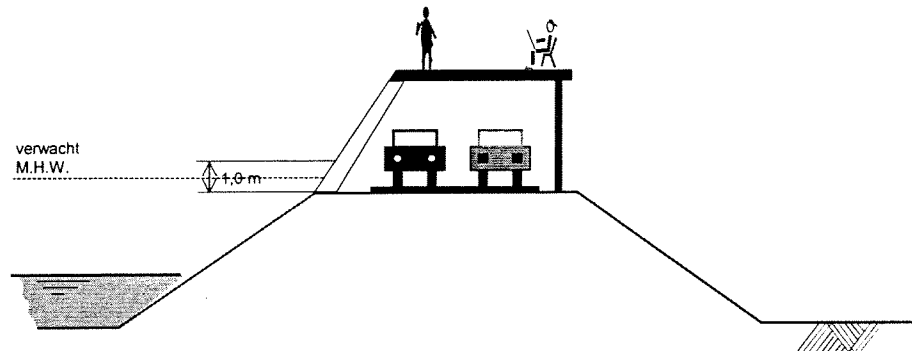
Een andere oplossing is die waarbij het verkeer wel binnen de waterkering valt, maar niet aan het oog onttrokken wordt. De verkeers- en parkeerfunctie vindt binnen de overkapping plaats. De leidingkoker maakt onderdeel uit van de fundering.



Doorzichtige keerwand met geïntegreerde transportfuncties

9.5 Doorzichtige overkapping

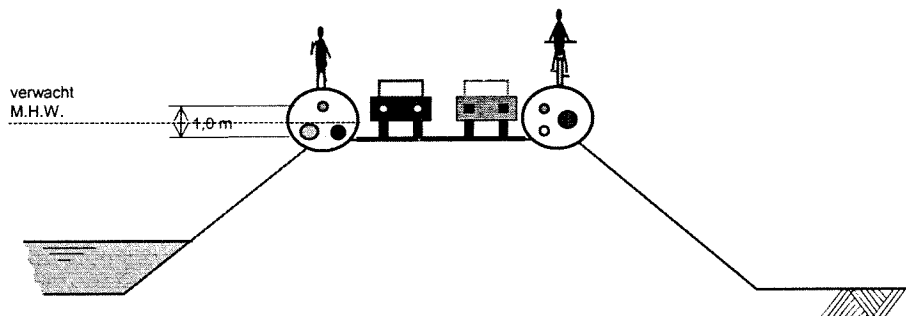
Om het verkeer op de dijk te handhaven en toch de waterkering te verhogen, is het mogelijk een gedeeltelijk doorzichtige overkapping te construeren..



Overkapping met doorzichtige wand

9.6 Transportbuizen op de dijk, verkeer ertussen.

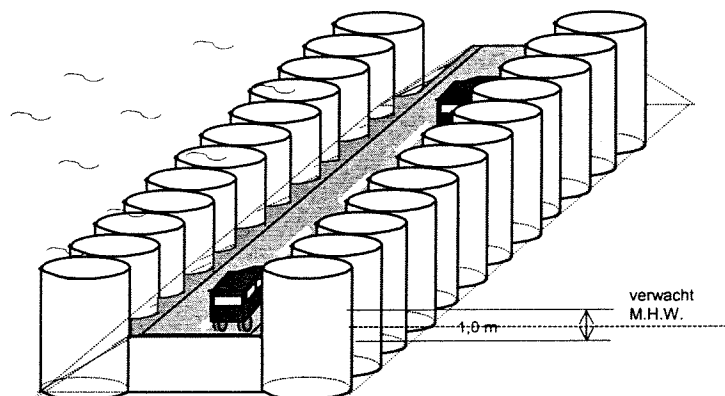
De verhoging kan plaatsvinden door middel van buizen. Deze kunnen aan weerszijden op de kruin worden geplaatst. In de kokers vindt het buistransport plaats, erop wordt het langzame verkeer gesitueerd en ertussen het snellere verkeer.



Verhoging d.m.v. transportbuizen, langzaam verkeer erover, snelverkeer ertussen.

9.7 Verticale cilinders

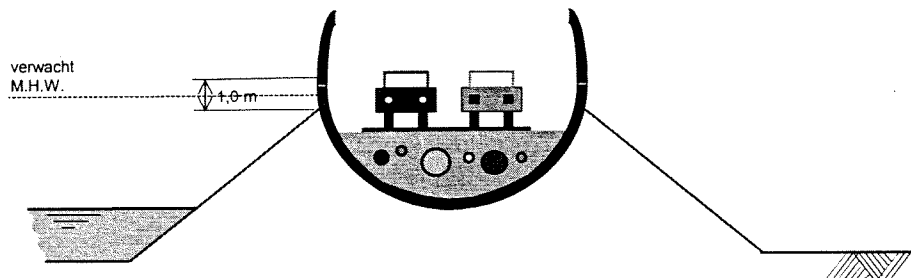
De cilinders kunnen ook verticaal geplaatst worden, waardoor er een harde waterkering ontstaat. Hiertussen kan een grondlichaam geplaatst worden, waarover verkeer kan plaatsvinden. Het resultaat is een soort kistdam, met palenwanden als kerende elementen.



Verhoging door cilinders, verkeer ertussen door.

9.8 Holle boog op dijk

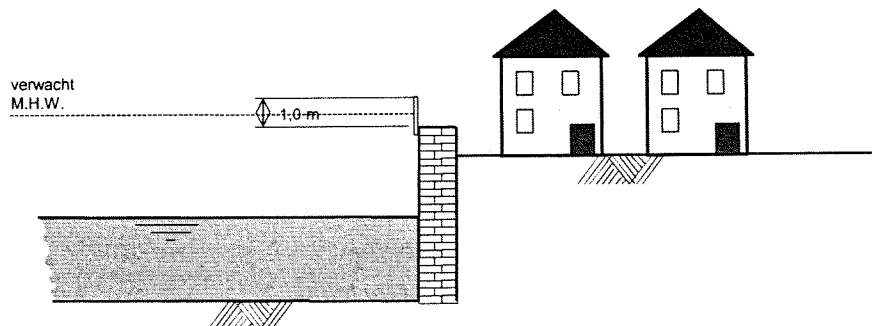
Een andere combinatie kan bereikt worden door een holle boog op de dijk te plaatsen. In deze boog kunnen de leidingen geplaatst worden. Hier bovenop kan de verkeersfunctie vervuld worden. Ook kan de boog met water gevuld worden, waarover transport met binnenschepen of pontons plaats kan vinden.



Holle transportboog

9.9 Vestingmuur met Plexiglas opzetplaat

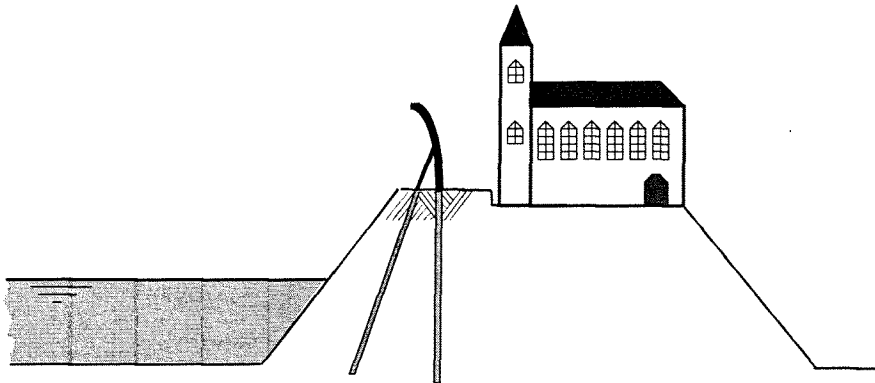
Bij de verhoging van een vestingmuur of -wal is het probleem dat het karakteristieke uitzicht vanaf de muur en het zicht op de muur niet aangetast mag worden. Een mogelijke oplossing is het verhogen van de muur met een plexiglas plaat. De plaat kan tegen de muur aangeschroefd worden of in de wal opgenomen worden, zodat het uitzicht vanaf en op de muur behouden blijft.



Vestingmuur plexiglas voorzetplaat (permanent)

9.10 Plaatsing van doorzichtige wand

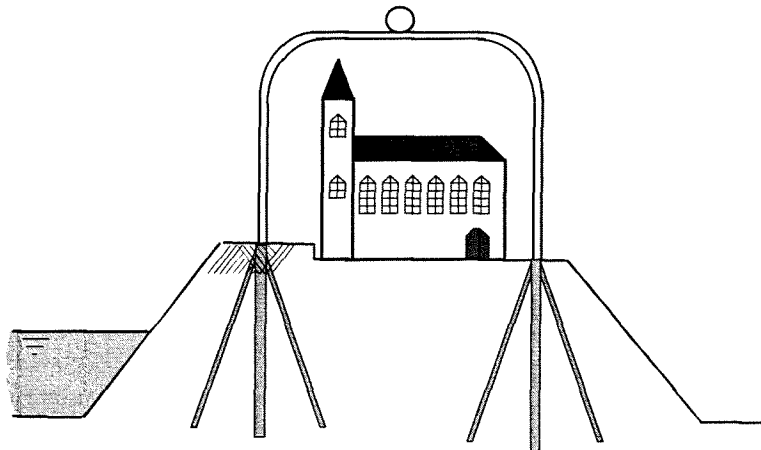
Er kan een doorzichtige wand voor de bebouwing worden geplaatst, waardoor het gezicht behouden blijft, terwijl de waterkerende functie wordt vervuld. Deze doorzichtige wand moet uiteraard wel gefundeerd worden op palen. De wand zelf kan gemaakt worden van plexiglas, ondersteund door een stalen frame.



Doorzichtige waterkering los van de bebouwing

9.11 Glazen stolp

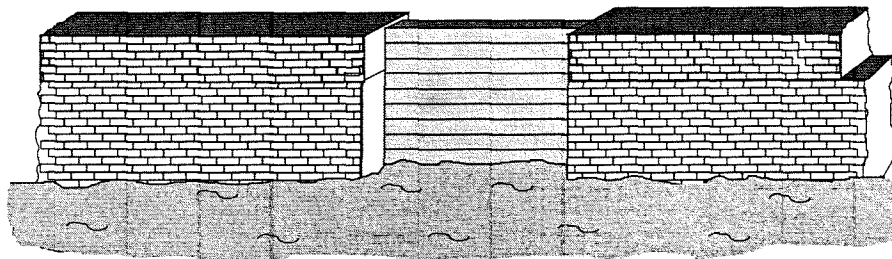
Om een historisch gebouw te conserveren kan een stolp geplaatst worden. De overkapping van doorzichtig materiaal is tegelijkertijd een waterkering. Op deze manier wordt een waterkering gecombineerd met monumentenbehoud, analoog aan de werking van een kaasstolp.



Glazen stolp over de kerk heen

9.12 Muur verhogen met opzetstukken

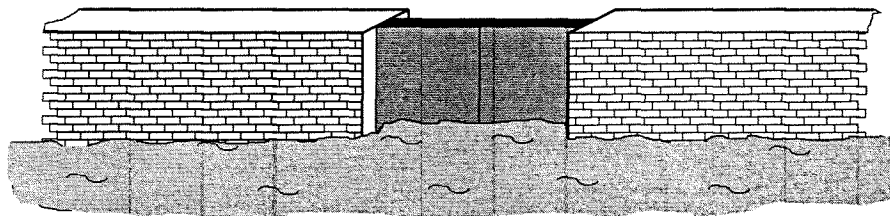
Om de verhoging duidelijk zichtbaar te maken, is door de vestingmuur te verhogen analoog aan verhogingen in het verleden, waardoor wel het aanzicht verandert, maar niet wezenlijk een andere waterkeringmethodiek wordt gebruikt. De vestingmuur kan probleemloos worden verhoogd, dat is in het verleden al diverse malen gedaan en hoort bij de cultuur.



Duidelijk zichtbare verhoging

9.13 Coupure die standaard gesloten is

De coupure als waterkering kan verbeterd worden, door uit te gaan van de omgekeerde situatie ten opzichte van de huidige oplossing, waarbij de coupure tijdens hoogwater wordt gesloten. Deze oplossing is dat de afsluiting in de coupure altijd dicht is, behalve als er verkeer moet passeren. Dit betekent dat indien het bewegingsmechanisme faalt (een veelvoorkomend probleem bij beweegbare keringen), de waterkering gesloten is.



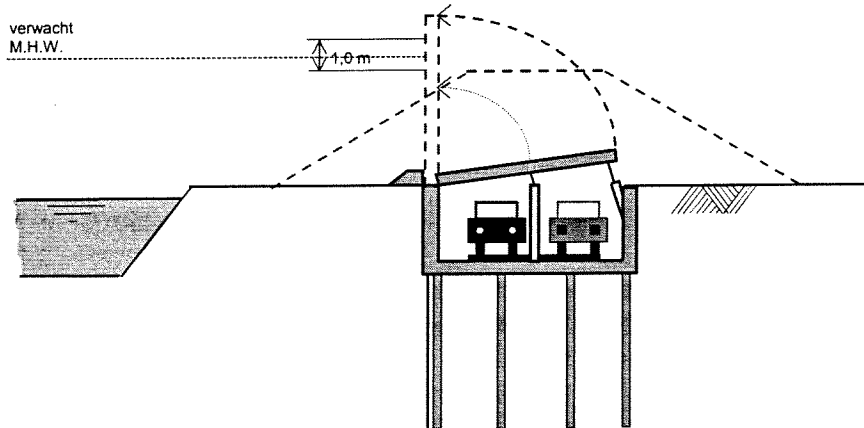
Coupure met standaard gesloten deuren

10 Groep IX: Klepkering als waterkering

Alle oplossingen binnen deze groep maken gebruik van een kering die tijdelijk kan worden geplaatst door middel van rotatie in het verticale vlak. De verschijningsvormen, afmetingen en nevenfuncties zijn divers.

10.1 Tunnelklapdak

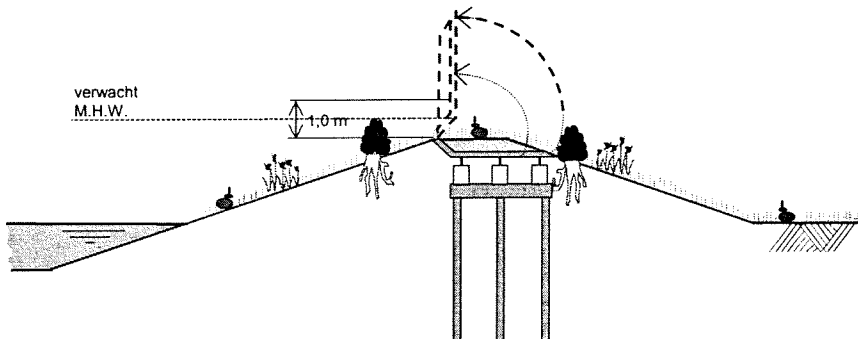
Onder het maaiveld wordt een tunnel aangelegd, die kan dienen voor het transport. De constructie van het dak van de tunnel is dusdanig dat die met hydraulische vijzels overeind gezet kan worden. In geval van hoog water wordt op deze manier een waterkering gevormd met het dak van de tunnelconstructie. Bij laag water zijn zowel het verkeer als de waterkering niet zichtbaar of als zodanig herkenbaar.



Tunnel met klepconstructie als dak

10.2 Klapkruin

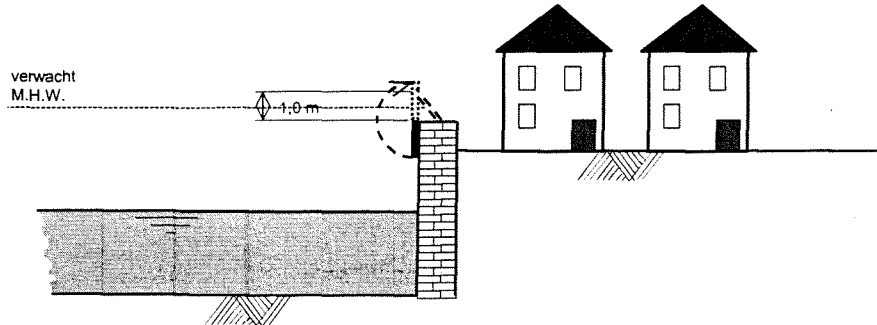
Een andere mogelijkheid om de waterkering tijdens hoogwater te verhogen is het aanbrengen van een hydraulische klepconstructie op de kruin. Door de klepconstructie niet op, maar in de kruin te maken, kan er begroeiing op de kruin aanwezig blijven, bijvoorbeeld door het plaatsen van doorgroeitegels op de klep. In geval van MHW kunnen de kleppen dan opgezet worden en wordt het water gekeerd.



Bovenste deel van dijk is klep

10.3 Vestingmuur met opzetkleppen

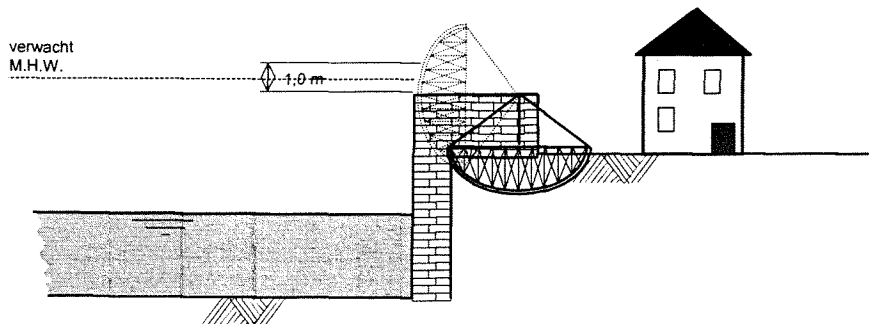
Het verhogen van de vestingmuur kan ook met een klepconstructie. De kleppen hangen aan de buitenkant tegen de muur aan en moeten bij dreiging van hoogwater opgezet worden. Als de kleppen omhoog gebracht zijn, leunen ze tegen paaltjes die op de muur gezet zijn. Om te voorkomen dat de kleppen terugvallen zullen ze aan de paaltjes vergrendeld worden. Zo wordt bereikt dat het stadsgezicht tijdens laagwater nauwelijks wijzigt.



Vestingmuur met klepconstructie

10.4 Coupure met draaibodem

Een waterkering in een coupure mag het transport door de coupure (toegangspoort tot de stad) niet belemmeren en moet de constructie van de coupure sparen. Een optie is een uit de grond draaiend cirkelsegment, dat overeind gezet wordt ten tijden van hoog water. In de perioden dat de kering niet gebruikt wordt, ligt deze buiten zicht onder het wegoppervlak van de coupure.



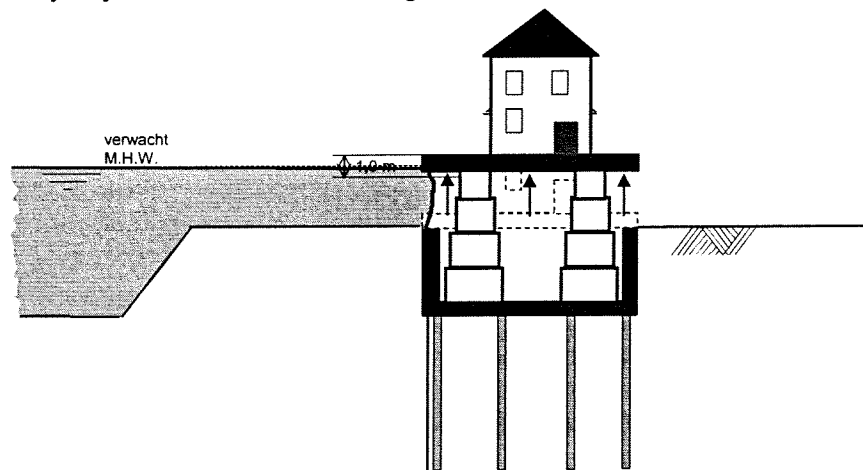
Coupure met draaibodem

11 Groep X: Hefconstructie als waterkering

In deze groep zitten alle oplossingen waarbij de waterkering in verticaal opzicht kan bewegen en daardoor tijdens laagwater niet hinderlijk aanwezig is, maar tijdens hoogwater een goede kering vormt.

11.1 Vijzelplaat

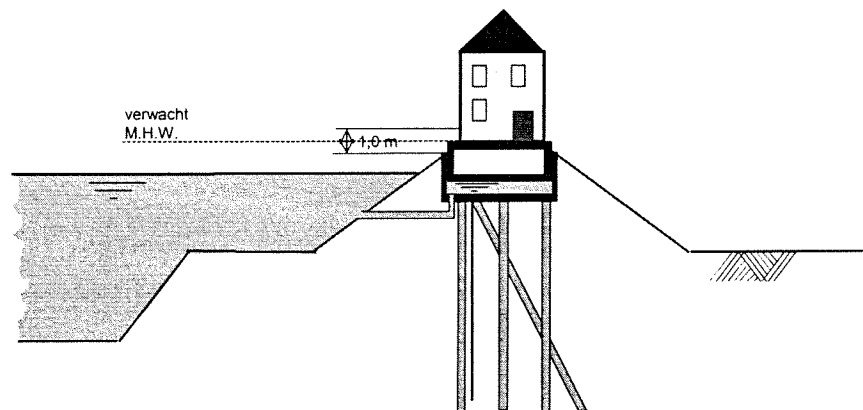
Op maaiveldhoogte ligt een plaat, met daaronder een kelder waarin vijzels staan. Aan de plaat zit een scherm bevestigd, dat ook aan de kelderconstructie vast zit. In geval van hoogwater wordt de plaat, met daarop de bebouwing omhoog gebracht en het scherm zorgt voor de waterkerende functie. Tijdens laagwater ligt de plaat op maaiveldhoogte. Er is dus sprake van een tijdelijke flexibele waterkering.



Vijzelplaat

11.2 Drijvende kruin

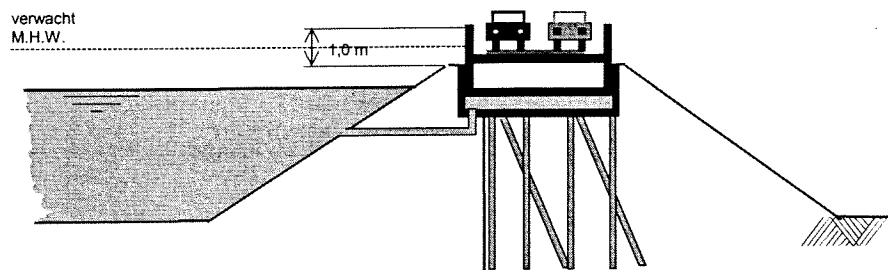
Een verhoging van de kruinhoogte kan, in combinatie met behoud van een woonfunctie, kan worden gerealiseerd door op de kruin een bak aan te brengen die in geval van extreem hoogwater opdrijft. Onder de bak is een doek aangebracht dat mee omhoog gaat en samen met de bak een waterkering vormt. Er is dus sprake van een tijdelijke flexibele waterkering, boven op een permanente waterkering (de dijk).



Drijvende kruin

11.3 Verkeer over flexibele waterkering

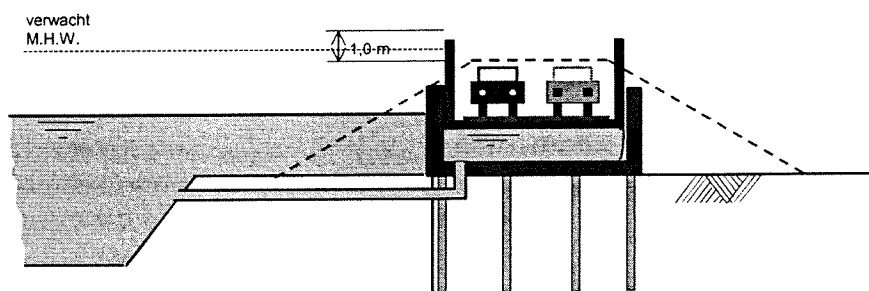
De waterkering wordt gevormd door een bak van beton, onderheid met palen en aangevuld met een waterkerende damwand. In de bak is een holle koper geplaatst, die bij hoogwater opdrijft en daardoor de waterkering verhoogt. De koper is waterdicht op de bak aangesloten met behulp van een doek. Over de koper is ruimte voor de invulling van een verkeersfunctie.



Verkeersfunctie over flexibele waterkering

11.4 Drijvende bak

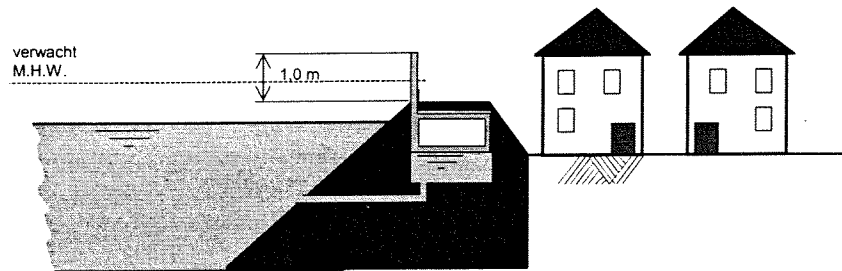
Bij dit alternatief wordt er een kuip aangelegd, met daarin een soort drijvende tunnelbak. Aan de onderkant van de drijvende bak is een waterdicht scherm bevestigd. Bij het stijgen van de waterstand zal de bak gaan drijven en wordt het scherm mee omhoog genomen. Door het omhoog komen van het scherm ontstaat er een waterkering, bestaande uit de kuip, het waterkerende scherm en de drijvende bak.



Open bak, met scherm/doek drijft op

11.5 Vestingwal met flexibele waterkering

Bij de vestingwal geldt dat voornamelijk het uiterlijk beschermd is. Dit betekent dat een verhoging ofwel buiten deze wal moet plaatsvinden, ofwel tijdelijk moet zijn. Uitgewerkt is de tijdelijk oplossing, waarbij de waterkering naast de wal bestaat uit een betonplaat, die opdrijft vanuit de hol gemaakte wal.



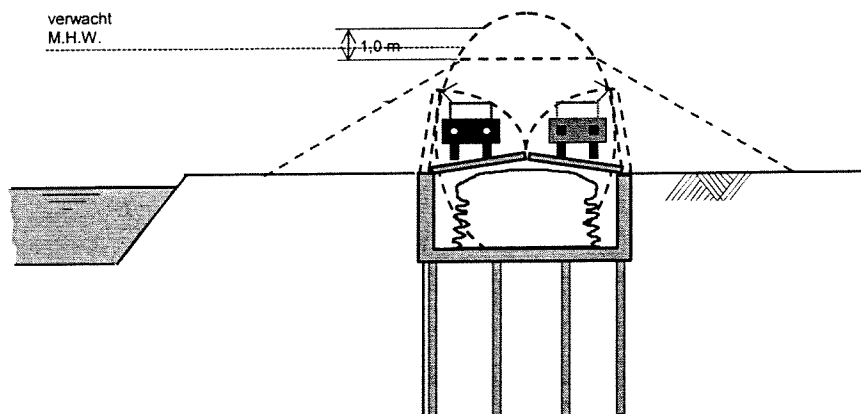
Vestingwal met flexibele waterkering

12 Groep XI: Balgkering als waterkering

De kering wordt (gedeeltelijk) gevormd door een oppompbaar doek, dat gevuld kan worden met lucht of water. Een dergelijke kering wordt balg genoemd en is niet zichtbaar tijdens laagwater, maar kan tijdens hoogwater als kering dienen.

12.1 Balgkelder onder een weg

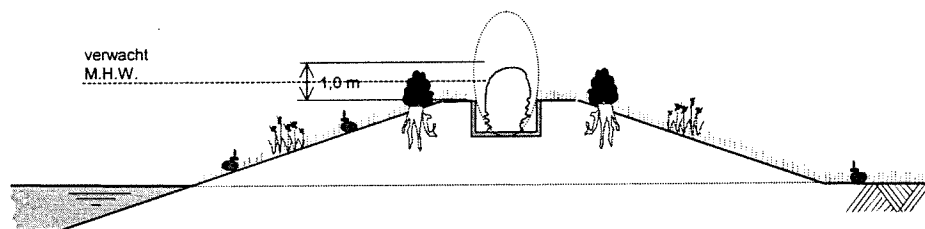
De waterkering bevindt zich normaal gesproken onder de weg, die ongeveer op maaiveld hoogte ligt. In geval van hoogwater wordt het wegdek weggeklapt en wordt de balg gevuld met water en lucht, zodat er een waterkering ontstaat.



Balgstuw. Balg in bak onder het wegdek. Wegdek klapt open

12.2 Opblaasworst

Op de kruin van de dijk wordt een bak aangebracht, waarin een rubberslang ligt. Deze slang kan in geval van optreden van MHW opgeblazen of volgepompt worden en verhoogt dan tijdelijk de waterkerende hoogte van de dijk. De constructie heeft maar weinig inbouwbreedte nodig en geeft een minimale aantasting van de dijk.



Opblaasworst bovenop de kruin



Innovatieve waterkeringen



Bijlage D: Analyses principeoplossingen

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage D: Analyses principeoplossingen

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Bijlage D

Analyses principeoplossingen

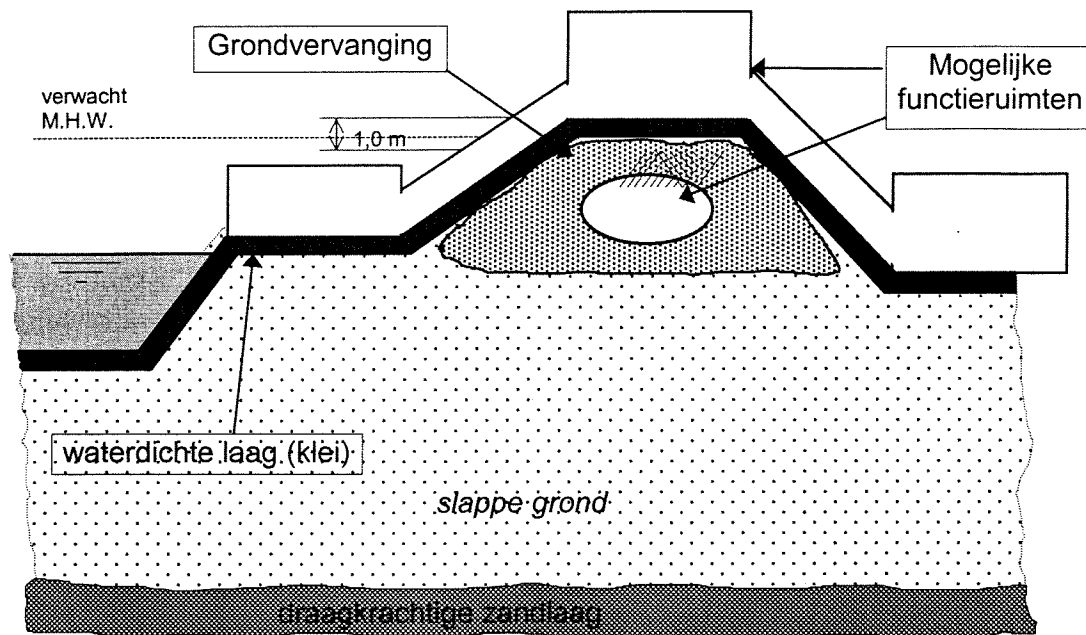
Inhoudsopgave Bijlage D

1	Dijk met aangepaste ophoging	5
1.1	Hoogte.....	5
1.2	Stabiliteit.....	6
1.3	Sterkte	6
1.4	Waterdichtheid	6
1.5	Levensduur.....	6
1.6	Inspectiemogelijkheden	6
1.7	Onderhoudsmogelijkheden.....	7
1.8	Uitvoeringseisen	7
1.9	Conclusies.....	7
2	Dijk met verbeterde ondergrond.....	8
2.1	Hoogte.....	8
2.2	Stabiliteit.....	8
2.3	Sterkte	9
2.4	Waterdichtheid	9
2.5	Levensduur.....	9
2.6	Inspectiemogelijkheden	9
2.7	Onderhoudsmogelijkheden.....	10
2.8	Uitvoeringseisen	10
2.9	Conclusies	10
3	L-muur	11
3.1	Hoogte.....	11
3.2	De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig.....	11
3.3	Sterkte	12
3.4	Waterdichtheid	12
3.5	Levensduur.....	13
3.6	Inspectiemogelijkheden	13
3.7	Onderhoudsmogelijkheden.....	13
3.8	Uitvoeringseisen	13
3.9	Conclusie.....	14
4	Doosconstructie	15
4.1	Hoogte.....	15
4.2	De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig.....	15
4.3	Sterkte	16
4.4	Waterdichtheid	16
4.5	Levensduur.....	17
4.6	Inspectiemogelijkheden	17
4.7	Onderhoudsmogelijkheden.....	17
4.8	Uitvoeringseisen	18
4.9	Conclusie.....	18

5	Folieconstructie	19
5.1	Hoogte	19
5.2	De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig	19
5.3	Sterkte	20
5.4	Waterdichtheid	20
5.5	Levensduur	20
5.6	Inspectiemogelijkheden	21
5.7	Onderhoudsmogelijkheden	21
5.8	Uitvoeringseisen	21
5.9	Conclusie	21
6	Wand	22
6.1	Hoogte	22
6.2	Stabiliteit	22
6.3	Sterkte	23
6.4	Waterdichtheid	23
6.5	Levensduur	24
6.6	Inspectiemogelijkheden	24
6.7	Onderhoudsmogelijkheden	24
6.8	Uitvoeringseisen	24
6.9	Conclusie	24
7	Diepwand	26
7.1	Technische mogelijkheid	26
7.2	Conclusies	27
8	Kistdam	28
8.1	Technische mogelijkheid	28
8.2	Conclusie	28
9	Klepkering	29
9.1	Hoogte	29
9.2	Stabiliteit	29
9.3	Sterkte	29
9.4	Waterdichtheid	30
9.5	Levensduur	30
9.6	Inspectiemogelijkheden	31
9.7	Onderhoudsmogelijkheden	31
9.8	Uitvoeringseisen	31
9.9	Conclusie	31
10	Hefconstructie	32
10.1	Hoogte	32
10.2	Stabiliteit	32
10.3	Sterkte	32
10.4	Waterdichtheid	33
10.5	Levensduur	33
10.6	Inspectiemogelijkheden	33

10.7 Onderhoudsmogelijkheden	34
10.8 Uitvoeringseisen	34
10.9 Conclusie	34
11 Balgkering	35
11.1 Hoogte	35
11.2 Stabiliteit	35
11.3 Sterkte	36
11.4 Waterdichtheid	36
11.5 Levensduur	36
11.6 Inspectiemogelijkheden	36
11.7 Onderhoudswerkzaamheden	36
11.8 Uitvoeringseisen	36
11.9 Conclusie	36

1 Dijk met aangepaste ophoging



De dijk is tot op heden altijd een goede oplossing geweest voor een waterkering. De eerste innovatieve waterkeringen zijn dan ook gebaseerd op een grondlichaam. Voor een verbetering zijn er twee mogelijkheden: verbetering van het grondlichaam zelf, of een verbetering van de ondergrond. Bij de dijk met aangepaste ophoging wordt er wat aan het grondlichaam zelf gedaan.

1.1 Hoogte

De hoogte van de dijk moet bereikt worden, zonder dat het totale gewicht van de waterkering veel toeneemt. Er is een aantal mogelijkheden om de dijk op hoogte te brengen:

- licht ophoogmateriaal
- grondvervanging

Bij het gebruik van licht ophoogmateriaal wordt de dijk verhoogd, zonder dat er echt iets veranderd wordt aan de bestaande waterkering. Het gewicht van de waterkering neemt dan veel minder toe dan bij ophogen met zand en klei.

Bij het toepassen van een grondvervanging wordt een gedeelte van het huidige grondlichaam afgegraven en vervangen door lichter materiaal of door een holle constructie. De eigenlijke ophoging van de waterkering kan dan met zand en klei gebeuren. De hoeveelheid te vervangen grond van de oorspronkelijke dijk moet zo groot zijn, dat de belasting op de ondergrond niet toeneemt.

Het ophogen van de waterkering met de bovenstaande methoden is wel aan grenzen gebonden. Bij het ophogen met licht materiaal neemt de belasting op de ondergrond wel toe, maar veel minder dan normaal gesproken. Er zitten echter wel grenzen aan de draagkracht van de ondergrond dus ook aan de hoogte van de waterkering. Bij de methode waarbij grond vervangen wordt door een constructie of lichter materiaal, is er ook een beperkte realiseerbare hoogte. Het waterkerend lichaam moet niet teveel uitgehold worden en er moet ook voorkomen worden dat de waterkering opdrijft. Er kan dus niet teveel grond vervangen worden, waardoor er een beperking is aan de op te brengen hoeveelheid zand en klei.

1.2 Stabiliteit

Zowel de micro- als de macrostabiliteit vereisen aandacht bij een waterkerend grondlichaam.

1.3 Sterkte

Het maatgevende belastingsgeval is afhankelijk van de oplossing en van de invulling van de functieruimtes. Bij een grondlichaam zijn er veel bezwijkmechanismen, die allemaal gecontroleerd moeten worden. Hieronder is een drietal bezwijkmechanismen van een grondlichaam weergegeven.



Afschuiven buitentalud

Afschuiven van een talud treedt op indien het aandrijvend moment groter is dan het weerstand biedend moment, dat door de schuifspanningen langs de glijcirkel wordt geleverd. Het afschuiven van een talud is falen door macroinstabiliteit.



Micro-instabiliteit

Bij microinstabiliteit is er een zandvoerende kwel die uittreedt op het talud en zo materiaal van het talud uitspoelt.



Wegschuiven

Bij het wegschuiven van (een deel) van het grondlichaam is de horizontale belasting afkomstig van het water groter dan de horizontale schuifspanningen in de grond op kunnen nemen.

Welk faalmechanisme maatgevend is voor de dijk met aangepaste ophoging is niet van te voeren aan te geven. De maatgevende situatie zal afhangen van het toegepaste materiaal, de mate van ophogen, de ondergrond (voorbelastingen, wateroverspanningen e.d.), opbouw van de oude dijk enz. Wel is de krachtsafdracht globaal aan te geven.

Een waterkerend grondlichaam draagt de krachten die er op werken via wrijving tussen de korrels af naar de ondergrond.

1.4 Waterdichtheid

Een grondlichaam bestaat uit poreus materiaal (grond) en is per definitie niet waterdicht. Het is wel mogelijk om de constructie slecht waterdoorlatend te maken. Klei is een materiaal met de eigenschap dat het slecht doorlatend is. Indien in de dijk een kern van klei wordt aangebracht, of als de op taluds een kleilaag wordt aangebracht, is de waterkering slecht waterdoorlatend. Het materiaal dat voor de alternatieve ophoging wordt gebruikt kan, indien de materiaaleigenschappen dat toelaten, ook gebruikt worden als slecht doorlatende laag.

1.5 Levensduur

De Levensduur van een grondlichaam is niet bekend. Er zijn in Nederland dijken die een kern hebben van drie- of vierhonderd jaar oud. Het materiaal waar de ophoging mee gerealiseerd wordt, moet een levensduur van 100 jaar hebben. Deze levensduur is afkomstig uit de uitgangspunten.

1.6 Inspectiemogelijkheden

De inspectiemogelijkheden van de dijk met aangepaste ophoging zijn dezelfde als bij een gewone dijk. Er is dus een visuele inspectie van het oppervlak van de dijk mogelijk. Inspectie

van het materiaal van de ophoging is in principe niet mogelijk, omdat dit onder het taludoppervlak ligt.

1.7 Onderhoudsmogelijkheden

De dijk is in principe bereikbaar voor onderhoudswerkzaamheden. Het gebruik van de functieruimten kan beperkingen aan de bereikbaarheid stellen. Het materiaal danwel de constructie die voor de ophoging gebruikt is, is na het opleveren van de waterkering slecht bereikbaar voor onderhoud. De ophoging zit in de grond en onderhoud zal dus een gedeeltelijke afgraving van de waterkering vergen.

1.8 Uitvoeringseisen

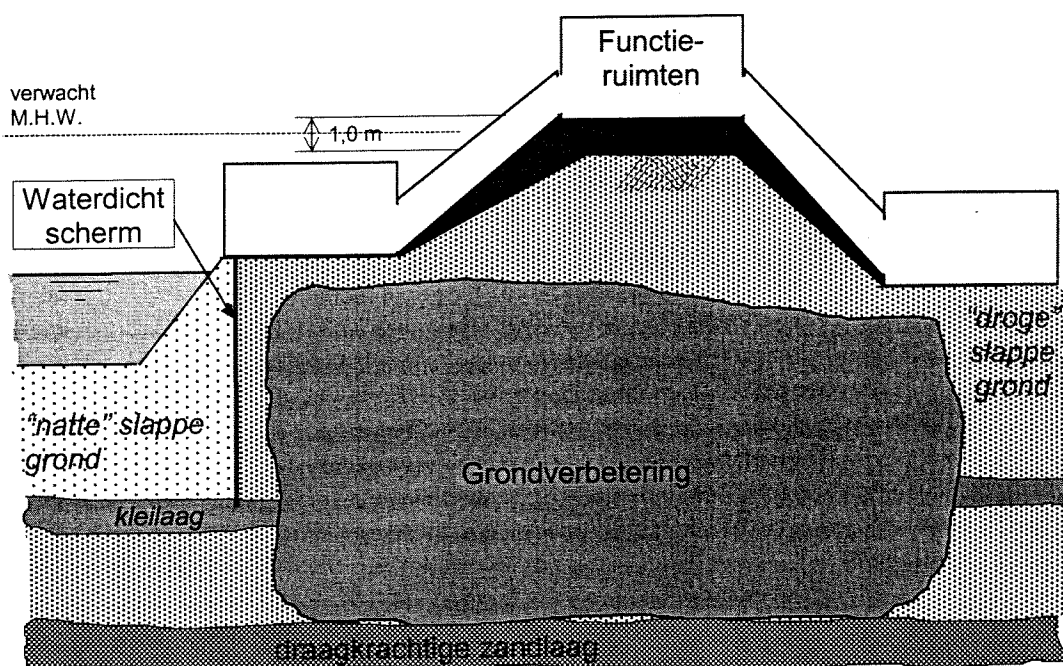
Voor de onderhoudswerkzaamheden aan de dijk met aangepaste ophoging gelden natuurlijk de wettelijke beperkingen die er aan werkzaamheden aan een waterkering gesteld zijn (periode, minimale veiligheid e.d.). De realisatie van de ophoging wijkt niet veel af van de aanpak bij een traditionele dijkverbetering. Het grote verschil is dat de aangepaste ophoging een gedeeltelijk afgraving van de waterkering vereist. Indien het resterende deel van de dijk voldoet aan de veiligheidseisen zijn er geen verdere maatregelen nodig. Als het overgebleven grondlichaam niet aan de wettelijke eisen voldoet zal er een tijdelijke waterkering aangelegd moeten worden.

Na het afgraven van een deel van de waterkering kan de ophoging aangebracht worden. Als het materiaal van de ophoging aangebracht is, kan de toplaag aangebracht worden en is de waterkering klaar.

1.9 Conclusies

De technische haalbaarheid van een dijkverbetering door het toepassen van een aangepaste ophoging hoeft geen probleem te zijn. De uitvoering zal ook geen grote problemen met zich meebrengen.

2 Dijk met verbeterde ondergrond



De waterkering wordt gevormd door de een grondlichaam. Het grondlichaam brengt de krachten die er op werken via wrijving in het korrelskelet over naar de ondergrond. In de ondergrond is er een verbetering uitgevoerd, die er voor zorgt dat de krachten overgebracht kunnen worden naar de draagkrachtige zandlaag.

2.1 Hoogte

De waterkering kan op hoogte gebracht worden, door het aanbrengen van zand en klei op de bestaande dijk. In principe zijn er geen hoogtebeperkingen aan de waterkering, alleen zal het ruimtebeslag steeds verder toenemen, met een toenemende hoogte van het grondlichaam. De sterkte van de ondergrond is vaak de beperkende factor bij het opzetten van een dijk.

2.2 Stabiliteit

Door de aanwezigheid van slappe lagen in het projectgebied is de macrostabiliteit van het grondlichaam een groot probleem. De ondergrond is dan niet in staat de krachten uit de dijk over te brengen naar de draagkrachtige zandlaag. Een oplossing voor dit probleem is het verbeteren van de ondergrond. Bij deze oplossing wordt de draagkracht van de ondergrond vergroot, door het aanbrengen van een constructie in de grond (tunnel), aanbrengen van een geotextiel, toepassen van een grondverbetering (zand-cement kolommen, het injecteren van grout e.d.), onderhogen (injecteren van zand en hiermee de bovenlagen opkrikken) enzovoort. Bij al deze oplossing wordt het probleem van het bezwijken op macrostabiliteit aangepakt.

De dijk met aangepaste ondergrond is een grondlichaam dat water keert en er zal dus ook goed naar de microstabiliteit van de dijk gekeken moeten worden. Net als elke andere dijk zal de waterkering kunnen bezwijken op microinstabiliteit indien er in het ontwerp geen rekening mee gehouden is.

2.3 Sterkte

Het maatgevende belastinggeval is afhankelijk van de oplossing en van de invulling van de functieruimtes. Bij een grondlichaam zijn er veel bezwijkmechanismen, die allemaal gecontroleerd moeten worden. Hieronder is een drietal bezwijkmechanismen van een grondlichaam weergegeven.



Afschuiven buitentalud

Afschuiven van een talud treedt op indien het aandrijvend moment groter is dan het weerstand biedend moment, dat door de schuifspanningen langs de glijcirkel wordt geleverd. Het afschuiven van een talud is falen door macroinstabiliteit.



Micro-instabiliteit

Bij microinstabiliteit is er een zandvoerende kwel die uittreedt op het talud en zo materiaal van het talud uitspoelt.



Wegschuiven

Bij het wegschuiven van (een deel) van het grondlichaam is de horizontale belasting afkomstig van het water groter dan de horizontale schuifspanningen in de grond op kunnen nemen.

Welk faalmechanisme maatgevend is voor de dijk met verbeterde ondergrond is niet van te voren aan te geven. De maatgevende situatie zal afhangen van de toegepaste verbetering van de ondergrond. Er zal dus per situatie nagegaan moeten worden wat de maatgevende situatie is. Wel is de krachtsafdracht globaal aan te geven.

Een waterkerend grondlichaam draagt de krachten die er op werken via wrijving tussen de korrels af naar de ondergrond. Bij sommige oplossingen van een verbeterde ondergrond zal er bij de afdracht naar de ondergrond gebruik gemaakt worden van een extra constructie, bijvoorbeeld een geotextiel.

2.4 Waterdichtheid

Een grondlichaam bestaat uit poreus materiaal (grond) en is per definitie niet waterdicht. Het is wel mogelijk om de constructie slecht waterdoorlatend te maken. Klei is een materiaal dat de als eigenschap heeft dat het slecht doorlatend is. Indien in de dijk een kern van klei wordt aangebracht, of als de op taluds een kleilaag wordt aangebracht, is de waterkering slecht waterdoorlatend. Bij de verbeterde ondergrond moet er op de doorlatendheid gelet worden. Een goed doorlatende ondergrond vergroot de kans op piping. De kwel achter de waterkering zal door een beter doorlatende ondergrond ook toenemen. Dit vergroot het waterbezwaar in de polder. Indien de verbeterde ondergrond goed doorlatend is, zullen er aanvullende maatregelen genomen moeten worden.

2.5 Levensduur

De Levensduur van een grondlichaam is niet bekend. Er zijn in Nederland dijken die een kern hebben van drie- of vierhonderd jaar oud. De verbeterde ondergrond moet een constructie hebben die in ieder geval een levensduur van 100 jaar heeft. Deze levensduur is afkomstig uit de uitgangspunten.

2.6 Inspectiemogelijkheden

De inspectiemogelijkheden van de dijk met verbeterde ondergrond zijn dezelfde als bij een gewone dijk. Er is dus een visuele inspectie van het oppervlak van de dijk mogelijk. Inspectie

van de verbeterde ondergrond is in principe niet mogelijk, maar dat is normaal gesproken ook niet mogelijk.

2.7 Onderhoudsmogelijkheden

Aan de verbeterde ondergrond kan in principe geen onderhoud worden gepleegd, omdat deze onder het grondlichaam van de waterkering ligt. Aan de dijk, de waterkering, kan natuurlijk wel onderhoud worden gepleegd.

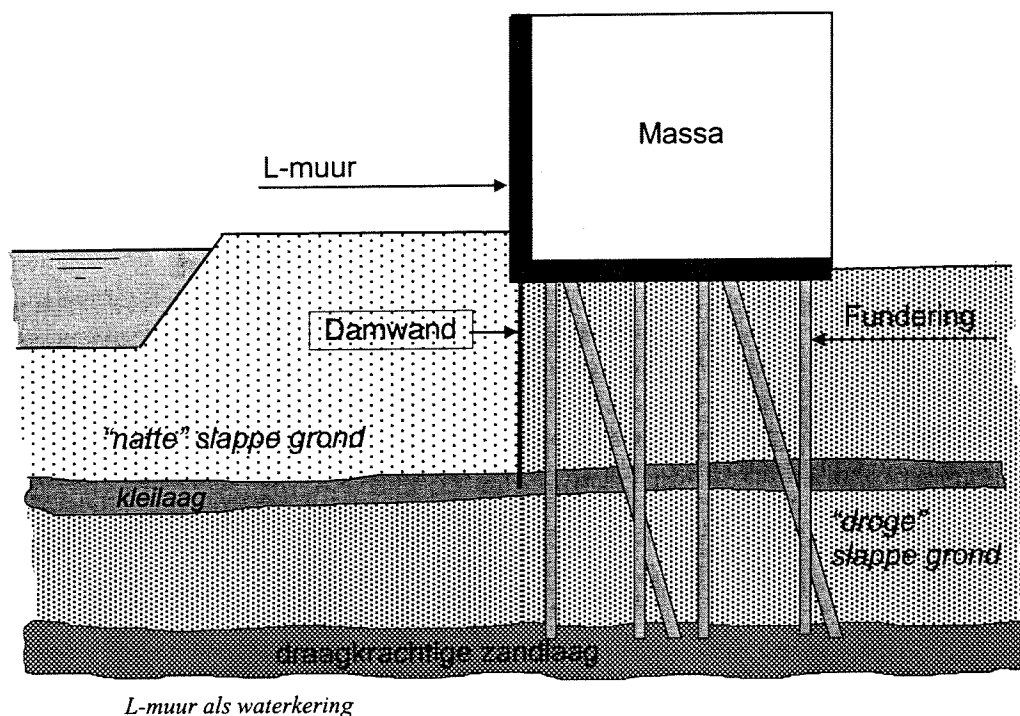
2.8 Uitvoeringseisen

Een aantal oplossingen van de dijk met verbeterde ondergrond zal alleen uitgevoerd kunnen worden als de huidige dijk volledig verwijderd wordt. Bij deze oplossingen is het noodzakelijk dat er een tijdelijke waterkering aangelegd wordt. De oplossingen waarbij er in de ondergrond geïnjecteerd wordt, kunnen waarschijnlijk zonder extra waterkering uitgevoerd worden. De huidige waterkering blijft in tact en kan ook dienst doen als waterkering. De verdere uitvoeringseisen verschillen nogal per oplossing, zodat hier niet verder op ingegaan wordt.

2.9 Conclusies

De technische haalbaarheid van de dijk met verbeterde ondergrond zal afhangen van de gekozen oplossing. De ene oplossing zal beter uit te voeren zijn dan de andere. Van enkele oplossingen, zoals de tunnel onder de dijk (tunnelfundering zie blz. 16 bijlage C), is op haalbaarheidsniveau aan te geven dat deze zeker mogelijk zijn, zodat de dijk met verbeterde ondergrond een technisch haalbaar alternatief is.

3 L-muur



De waterkering wordt gevormd door een harde constructie. De constructie is een L-muur, op de voet is plaats voor een andere functie. Voor de constructie zal aan de hand van de 8 punten uit de waterkeringsanalyse nagegaan worden hoe en of de L-muur kan voldoen als waterkering.

3.1 Hoogte

De L-muur is gemaakt van gewapend beton. De hoogte van de waterkering wordt bereikt door de rechtopstaande poot van de L dusdanig hoog te maken, dat deze hoger is dan de te keren waterstand. De constructie stelt in de ontwerpfase geen beperkingen aan de maximaal te keren waterstand en kan dus in alle voorkomen gevallen toegepast worden.

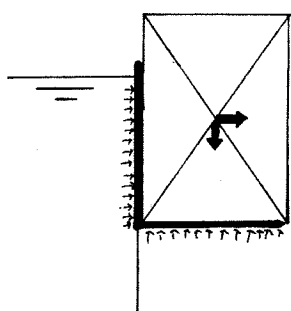
3.2 De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig

De microstabiliteit van de kering is geen probleem. Indien het betonwerk goed uitgevoerd wordt, is de constructie niet gevoelig voor erosie. Corrosie, en daardoor aantasting van de constructie, zou wel een probleem kunnen zijn. De betondekking op de wapening moet voldoende dik zijn, zodat aantasting voorkomen kan worden.

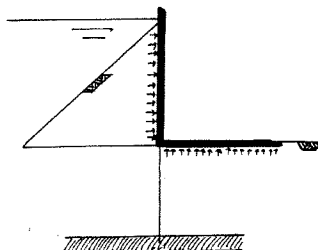
De macrostabiliteit van de L-muur moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zetting gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig optreden, wat weer extra belasting van de constructie op kan leveren. De krachten uit de constructie zullen middels een paalfundering overgebracht worden naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlaag.

3.3 Sterkte

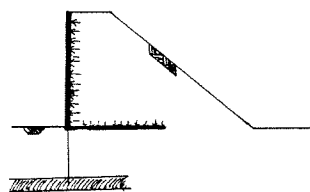
Voor de constructie zijn er verschillende belastinggevallen. De belastinggevallen verschillen per toepassingsgebied. Enkele belastinggevallen zijn hieronder weergegeven.



Een voorbeeld van een extreme belasting situatie is die van een L-muur met bebouwing binnen en MHW buiten.



Een tweede voorbeeld is de L-muur met aan de buitenzijde een grondtalud en MHW.



Een derde extreme situatie is bijvoorbeeld een grondtalud aan de binnenkant en aan de buitenzijde niets.

Wat de maatgevende situatie is, is niet op voorhand aan te geven. De meest extreme situatie is afhankelijk van het toepassingsgebied en de aankleding van de waterkering. Wel is globaal aan te geven hoe het krachtsverloop in de constructie en naar de ondergrond is. De grote horizontale krachten (voornamelijk water- en gronddrukken) op de constructie zullen aangrijpen op de verticale wand. Via de beton- en wapeningsconstructie van de L-muur worden de krachten over gebracht op de palen. De schoor geheide palen brengen de horizontale krachten die op de constructie werken over naar de ondergrond. De verticale krachten zullen voornamelijk op de voet aangrijpen. Op de verticale wand zou een verticale (schuif)spanning van een talud aan kunnen grijpen. De verticale krachten worden evenals de horizontale via het beton en de wapening over gebracht naar de palen. De palen brengen de krachten over naar de draagkrachtige zandlaag. De technische haalbaarheid van een L-muur is geen probleem. De L-muur is in het verleden al vaker toegepast bij bv. kademuren of als grondkering. Er zal hier dan ook geen verdere uitwerking worden gegeven.

3.4 Waterdichtheid

De waterkering wordt gevormd door een L-muur. De L-muur is gemaakt van beton en is te beschouwen als waterdicht. Door de paalfundering en de grondslag van de ondergrond kan er onderloopsheid optreden. Deze onderloopsheid kan kwel en daarmee waterbezwaar veroorzaken. Een ander gevaar is het ontstaan van piping, waardoor de constructie kan falen. Voor het voorkomen van de onderloopsheid wordt er een kwelscherm aangebracht. Het kwelscherm is een damwand die bij voorkeur tot in een slecht doorlatende kleilaag wordt geheid. Indien men het waterbezwaar in de polder hiermee wil voorkomen, moet wel onderzocht worden of deze laag ver genoeg voor en achter de waterkering doorloopt. Anders moet het scherm zo lang zijn dat de kwelweg lang genoeg is om piping te voorkomen.

De harde constructie van de L-muur zal ook aangesloten moeten worden op de grondlichamen aan weerszijden van de constructie. Deze aansluitingen kunnen gemakkelijk lekkage gaan vertonen door ongelijke zettingen en hierdoor kan grond uitspoelen, indien er geen maatregelen genomen worden. Om te voorkomen dat er water langs de betonconstructie zal stromen, dienen er bij de aansluitingen op het grondlichaam schermen aangebracht te worden ter voorkoming van achterloopsheid.

3.5 Levensduur

De levensduur van de constructie is afhankelijk van het materiaal, de uitvoering en de gewenste levensduur. In het ontwerp kan rekening gehouden worden met de verwachte levensduur. Bij de uitgangspunten is een levensduur van 100 jaar aangenomen voor wat betreft de fundering en onderdelen die na de bouw niet meer bereikbaar zijn. Bij de vormgeving en het ontwerp dient er dus rekening gehouden te worden met een verandering van de belastingen in de loop van de tijd. Bij het ontwerp van de kering kan rekening gehouden worden met een toekomstige verhoging van de te keren waterstand, een eventuele verhoging van de kering, of een andere invulling van de functieruimte.

3.6 Inspectiemogelijkheden

De buitenkant van de L-muur kan in principe visueel geïnspecteerd worden. Bij een aantal oplossingen die gepresenteerd zijn tijdens de brainstormsessies, is er grond tegen de muur gestort. De taluds zorgen voor een beter aanzicht, maar maken een inspectie van de waterkering onmogelijk, zonder dat er grote werkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Voor een periodieke inspectie zou eens in de 15 of 20 jaar de grond verwijderd kunnen worden, zodat inspectie wel mogelijk is. Dit geeft uiteraard sterke beperkingen aan de gebruiksmogelijkheden van het talud. De mogelijkheden tot inspectie van de binnenkant van de waterkering zullen sterk afhankelijk zijn van de functie die daar vervuld wordt. Het kwelscherm en de palen van de fundering zijn niet meer te inspecteren na de bouw en dienen dan ook voor de gehele levensduur "gegarandeerd" te zijn. De damwanden van de achterloopsheidschermen zijn ook niet te inspecteren, omdat dit gedeeltelijk afgraving van het grondlichaam van de waterkering vereist.

3.7 Onderhoudsmogelijkheden

Aan de fundering en het onderloopsheidscherm zijn geen onderhoudswerkzaamheden meer mogelijk na het gereed komen van de kering. De waterkerende muur is vanaf de rivierzijde bereikbaar voor onderhoudswerkzaamheden. Indien er een grondaanvulling voor de muur ligt, dient deze verwijderd te worden. Vanaf de landzijde is de bereikbaarheid afhankelijk van de invulling (de functie). Er mag wel vanuit gegaan worden, dat de levensduur van een constructie voor de nevenfunctie korter is dan die van de waterkering. Door deze kortere levensduur zal deze eerder vervangen moeten worden en dan kunnen er werkzaamheden aan de waterkering uitgevoerd worden.

3.8 Uitvoeringseisen

Werkzaamheden aan een waterkering mogen uitgevoerd worden tussen 15 april en 15 oktober. Tijdens de werkzaamheden moet de waterkering voldoen aan bepaalde eisen tegen bezwijken en moet een zomer hoogwater kunnen keren.

De L-muur zal in enkele gevallen de gehele bestaande waterkering vervangen. Tijdens de bouwwerkzaamheden zal er dan een tijdelijke waterkering aangelegd moeten worden om het achterland te beschermen. De uitvoering zou op de volgende wijze mogelijk kunnen zijn: De nieuwe waterkering wordt gebouwd t.p.v. de huidige waterkering. Er zullen in de het grondlichaam damwanden geheid worden, die de bouwkuip vormen. De bouwkuip zal een dusdanig ontwerp hebben, dat deze ook dienst doet als tijdelijke waterkering, hierbij zullen stempels gebruikt worden. Na voltooiing van de bouwkuip kan de grond ontgraven worden tot het niveau van de fundering. Vervolgens kunnen de palen van de fundering en de damwanden voor het kwelscherm geheid worden. Als de fundering gereed is kan begonnen worden met de bouw van de L-muur. Voor de bouw zal er een bekisting gemaakt moeten

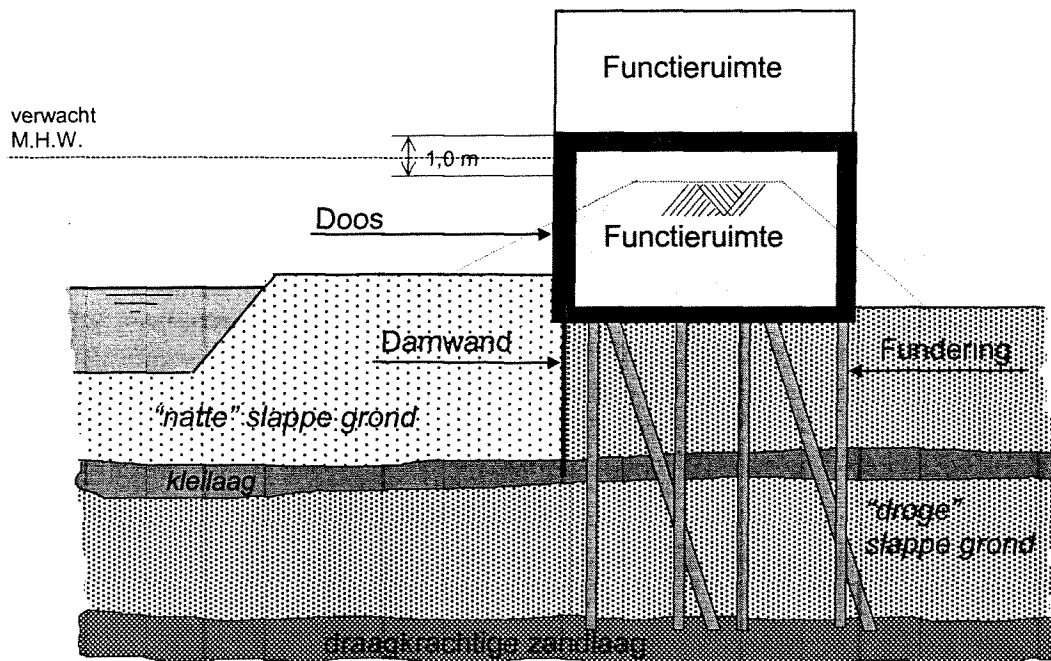
worden, wapening gevlochten en geplaatst worden. Vervolgens kan het beton gestort worden en moet het uitharden.

De bouw van de L-muur moet waarschijnlijk opgedeeld worden, om niet over de maximale bouwtijd van 6 maanden heen te gaan. Het kan uit kosten oogpunt misschien voordeliger zijn om een tijdelijke waterkering aan te leggen die ook MHW kan keren, zodat er continu gebouwd kan worden. Of dit mogelijk is hangt ook van de lokale situatie af.

3.9 Conclusie

De technische haalbaarheid van een L-muur mag geen probleem zijn. De L-muur is in het verleden al vaak toegepast als kademuur of grondkering. Als waterkering moet de L-muur ook kunnen fungeren. In de analyse zijn op het eerste gezicht geen grote problemen geconstateerd voor één van de acht punten van de waterkeringsanalyse. De uitvoering zal nog wel wat extra aandacht vereisen, maar dit moet niet onoverkomelijk zijn.

4 Doosconstructie



De waterkering kan worden gerealiseerd door een doosconstructie. De doos is te vergelijken met een tunnel, alleen ligt de constructie nu boven de grond. Bij de doosconstructie vormt de buitenkant (een onderdeel van) de waterkering en kunnen de nevenfuncties in de doos plaatsvinden. De constructie wordt van een hard materiaal gemaakt, naar alle waarschijnlijkheid gewapend beton.

4.1 Hoogte

De hoogte van de constructie wordt bepaald door twee randvoorwaarden:

1. benodigde hoogte van de constructie voor de nevenfuncties
2. het te keren MHW

De hoogte in de doos wordt bepaald door de functie die er vervuld moet worden. Eén van de twee randvoorwaarden, de functie of het MHW zal bepalend zijn voor de hoogte van de constructie. Welke dit is, is niet op voorhand aan te geven. De constructie kan zonder problemen de minimale hoogte krijgen die nodig is voor het keren van het MHW, omdat de doos nieuw gebouwd moet worden.

4.2 De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig

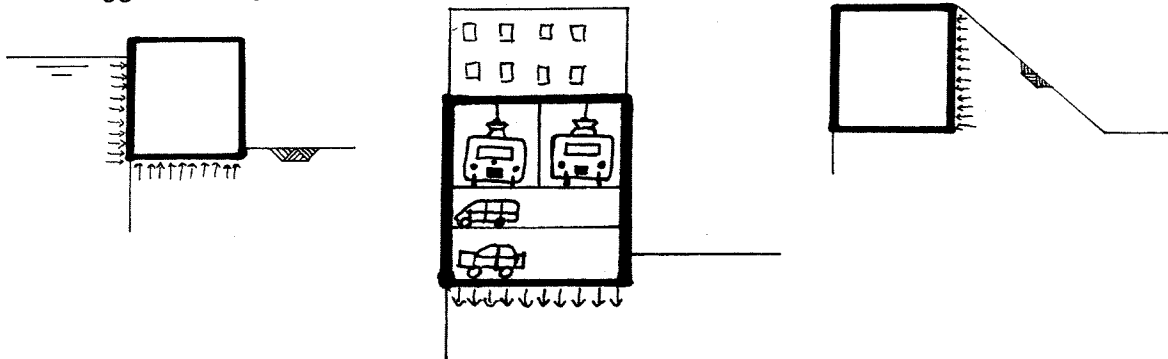
De microstabiliteit van de kering is geen probleem. Indien het betonwerk goed uitgevoerd wordt, is de constructie niet gevoelig voor erosie. Corrosie, en daardoor aantasting van de constructie, moet voorkomen worden door de betondekking op de wapening voldoende dik te maken.

De macrostabiliteit van de doos moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zetting gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig gebeuren, wat weer extra belasting van de constructie op kan leveren. De krachten uit de constructie zullen

middels een paalfundering overgebracht worden naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlaag.

4.3 Sterkte

De maatgevende belasting op de constructie is afhankelijk van een aantal factoren. Het gebruik van de waterkering, de aankleding (talud tegen de buitenkant e.d.), de te keren waterstand e.d. zijn bepalend voor de maatgevende belasting. Er is dus niet op voorhand aan te geven op welke situatie gedimensioneerd moet worden. Een aantal voorkomende belastinggevallen zijn:



Het kan zijn dat de doos direct na opleveren nog niet ingevuld is, maar dat er wel een hoogwater optreedt, of dat er sprake is van extreme neerslag. De maatgevende belasting kan in dat geval van onder komen en de constructie kan gaan opdrijven

Indien de functieruimtes die de doos biedt echt goed ingevuld worden, kan er een aanzienlijke maatgevende belasting afkomstig zijn van de nevenfuncties.

De aanleg van een talud aan de binnenzijde van de doos, kan grote horizontale krachten opwekken, die precies tegengesteld zijn aan de horizontale belastingen afkomstig van een hoogwater.

Van de constructie is wel (globaal) aan te geven hoe de belastingen, die op de constructie werken, afgevoerd worden naar de ondergrond.

De grote horizontale krachten zullen aangrijpen op de twee verticale wanden van de doos. Via deze twee wanden worden de krachten overgebracht naar de bodem. De constructie is vanwege de slechte ondergrond gefundeerd op palen. Via de bodem worden de horizontale krachten voornamelijk via de schoor geheide palen afgevoerd naar de draagkrachtige laag. De grootste verticale krachten zullen aangrijpen op de bovenkant en de bodem. De krachten die aangrijpen op de bodem kunnen direct via de verticale palen afgedragen worden aan de draagkrachtige lagen. De krachten die aangrijpen op de bovenkant moeten eerst via de wanden naar de bodem overgebracht worden. Vervolgens worden ze via de verticale palen afgevoerd.

De technische haalbaarheid van de doos zal geen probleem zijn. Er zijn al vaak vergelijkbare constructies, tunnels, gebouwd. De toepassing is hier wat anders, maar constructief is er niet zoveel verschil.

4.4 Waterdichtheid

De waterkering wordt gevormd door een doos.. De doos is gemaakt van beton en is te beschouwen als waterdicht. Door de paalfundering en de grondslag van de ondergrond kan er onderloopsheid optreden. Deze onderloopsheid kan kwel en daarmee waterbezwaar veroorzaken. Een ander gevaar is het ontstaan van piping, waardoor de constructie kan falen. Voor het voorkomen van de onderloopsheid wordt er een kwelscherm aangebracht.

Het kwelscherm is een damwand die bij voorkeur tot in een slecht doorlatende kleilaag wordt geheid. Indien men het waterbezwaar in de polder hiermee wil voorkomen, moet wel onderzocht worden of deze laag ver genoeg voor en achter de waterkering doorloopt. Anders moet het scherm zo lang zijn dat de kwelweg lang genoeg is om piping te voorkomen.

De harde constructie van de doos zal ook aangesloten moeten worden op de grondlichamen aan weerszijden van de constructie. Deze aansluitingen kunnen gemakkelijk lekkage gaan vertonen door ongelijke zettingen en hierdoor kan grond uitspoelen, indien er geen maatregelen genomen worden. Om te voorkomen dat er water langs de betonconstructie zal stromen, dienen er bij de aansluitingen op het grondlichaam schermen ter voorkoming van achterloopsheid aangebracht te worden.

4.5 Levensduur

De levensduur van de constructie is afhankelijk van het materiaal de uitvoering en de gewenste levensduur. In het ontwerp kan rekening gehouden worden met de verwachte levensduur. Bij de uitgangspunten is een levensduur van 100 jaar aangenomen voor wat betreft de fundering en onderdelen die na de bouw niet meer bereikbaar zijn. Bij de vormgeving en het ontwerp dient er dus rekening gehouden te worden met een verandering van de belastingen in de loop van de tijd. Bij het ontwerp van de kering kan rekening gehouden worden met een verhoging van de te keren waterstand of een andere invulling van de functieruimte.

4.6 Inspectiemogelijkheden

De twee verticale wanden en de bovenkant van de doos kunnen in principe visueel geïnspecteerd worden. Bij een aantal oplossingen die gepresenteerd zijn tijdens de brainstormsessies, is er grond tegen de zijkanten gestort. De taluds zorgen voor een beter aanzicht, maar maken een inspectie van de buitenkant van de wanden onmogelijk, zonder dat er grote werkzaamheden uitgevoerd moeten worden. Voor een periodieke inspectie zou eens in de 15 of 20 jaar de grond verwijderd kunnen worden, zodat inspectie wel mogelijk is. Dit geeft uiteraard sterke beperkingen aan de gebruiksmogelijkheden van het talud. De inspectiemogelijkheden van de bovenkant van de doos zijn sterk afhankelijk van de functie die er vervuld wordt op de doos. Indien de bovenkant volgebouwd is, is inspectie nauwelijks meer mogelijk.

De mogelijkheden tot inspectie van de binnenzijde van de waterkering zal sterk afhankelijk zijn van de functie die daar vervuld wordt, maar in principe zijn er goede mogelijkheden, omdat de kering hol is.

Het kwelscherm en de palen van de fundering zijn niet meer te inspecteren na de bouw en dienen dan ook voor de gehele levensduur "gegarandeerd" te zijn. De damwanden van de achterloopsheidschermen zijn ook niet te inspecteren, omdat dit gedeeltelijk afgraven van het grondlichaam van de waterkering vereist.

4.7 Onderhoudsmogelijkheden

Aan de fundering en het onderloopsheidscherm zijn geen onderhoudswerkzaamheden meer mogelijk na het gereedkomen van de kering. De rest van de constructie is in principe goed bereikbaar voor onderhoudswerkzaamheden. Indien er taluds aangebracht zijn, zullen deze wel afgegraven moeten worden. Bij bebouwing tegen en op de kering wordt het onderhoud veel moeilijker, omdat de constructie dan eigenlijk onbereikbaar is. Er mag wel vanuit gegaan worden, dat de levensduur van een constructie voor de nevenfunctie korter is dan die van de waterkering. Door deze kortere levensduur zal deze eerder vervangen moeten worden en dan kunnen er werkzaamheden aan de waterkering uitgevoerd worden.

De binnenzijde van de waterkering zal over het algemeen goed bereikbaar zijn voor onderhoud.

4.8 Uitvoeringseisen

Werkzaamheden aan een waterkering mogen uitgevoerd worden tussen 15 april en 15 oktober. Tijdens de werkzaamheden moet de waterkering voldoen aan bepaalde eisen tegen bezwijken en moet een zomerhoogwater kunnen keren.

De doos zal in enkele gevallen de gehele bestaande waterkering vervangen. Tijdens de bouwwerkzaamheden zal er dan een tijdelijke waterkering aangelegd moeten worden om het achterland te beschermen. Een mogelijkheid voor uitvoering zou de volgende kunnen zijn: De nieuwe waterkering wordt gebouwd t.p.v. de huidige waterkering. Er zullen in de het grondlichaam damwanden geheid worden, die de bouwkuip vormen. De bouwkuip zal een dusdanig ontwerp hebben, dat deze ook dienst doet als tijdelijke waterkering, hierbij zullen stempels gebruikt worden. Na voltooiing van de bouwkuip kan de grond ontgraven worden tot het niveau van de fundering. Vervolgens kunnen de palen van de fundering en de damwanden voor het kwelscherm geheid worden. Als de fundering gereed is kan begonnen worden met de bouw van de doos. Voor de bouw zal er een bekisting gemaakt moeten worden, wapening gevlochten en geplaatst worden. Vervolgens kan het beton gestort worden en moet het uitharden. Er kan misschien ook een wand-en-dak-methode worden toegepast.

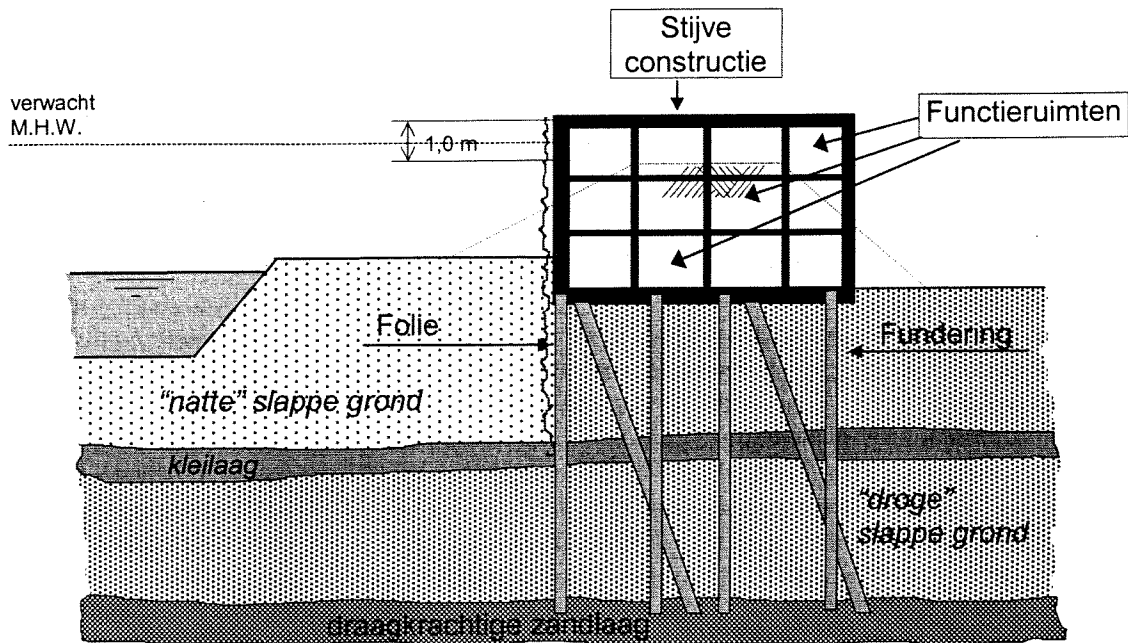
De bouw van de doos moet waarschijnlijk opgedeeld worden, om niet over de maximale bouwtijd van 6 maanden heen te gaan. Het kan uit kostenoogpunt misschien voordeliger zijn om een tijdelijke waterkering aan te leggen die ook MHW kan keren, zodat er continu gebouwd kan worden. Of dit mogelijk is hangt ook van de lokale situatie af.

Er zal extra aandacht besteed moeten worden aan de aansluitingen, zowel tussen de aansluitingen van de doos op de kwelschermen en de fundering, als op de aansluitingen met de naastgelegen compartimenten en de grondlichamen aan weerszijden.

4.9 Conclusie

De technische haalbaarheid van de doos mag geen probleem zijn. Deze constructie is in de vorm van een tunnel al vaak gerealiseerd. Bij de deze eerste analyse van de constructie zijn geen onoverkomelijke problemen geconstateerd. De uitvoering zal nog wel wat extra aandacht vragen, maar de constructie moet zonder al te grote problemen te realiseren zijn.

5 Folieconstructie



De waterkering wordt gevormd door een folie dat gesteund wordt door een constructie. De waterkering zelf is eigenlijk het folie. De krachten worden gedeeltelijk via de constructie overgebracht naar de ondergrond. Een gedeelte van de krachten wordt direct van het vlies naar de ondergrond overgebracht. Dit is het geval op de plek waar het folie in de grond ingeklemd zit.

5.1 Hoogte

De hoogte van de constructie kan geen problemen opleveren. Het folie moet hoog genoeg aangebracht worden tegen de ondersteunende constructie en dan is de waterkering hoog genoeg. In de ontwerpfase is er dus geen maximale hoogte aan de te keren waterstand.

5.2 De stabiliteit, zowel inwendig als uitwendig

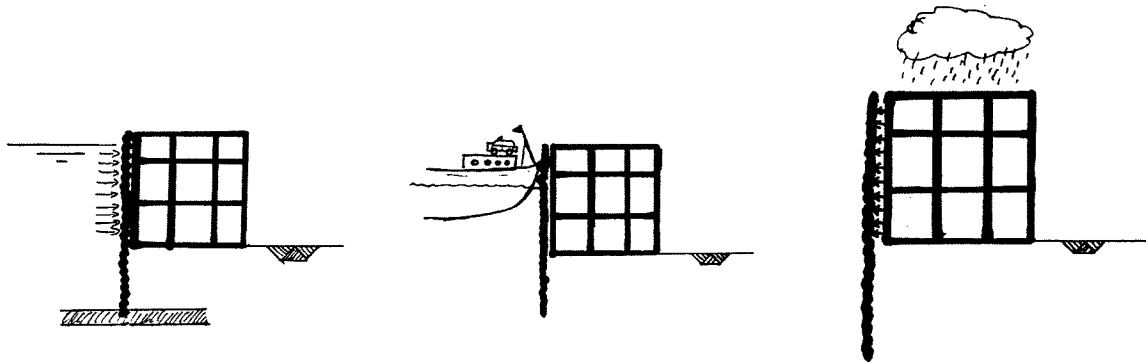
De microstabiliteit van de kering is geen probleem. Indien het folie goed tegen de draagconstructie is bevestigd en het folie zelf ook geen materiaalfouten heeft, is de constructie niet gevoelig voor erosie. Corrosie, en daardoor aantasting van de draagconstructie, zou geen probleem hoeven te zijn. De draagconstructie staat niet bloot aan het water van de rivier en heeft dus met dezelfde invloeden te maken als een constructie voor bijvoorbeeld wonen.

De macrostabiliteit van de waterkering moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen op het folie dat boven het maaiveld uitkomt direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zetting gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig optreden, waardoor het folie kan scheuren. Door de ongelijkmatige zakkingen kunnen er ook extra krachten in de constructie

komen. De krachten uit de constructie zullen middels een paalfundering overgebracht worden naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlaag.

5.3 Sterkte

Voor deze waterkering zijn er behalve een aantal verschillende belastingsituaties, die afhangen van het nevengebruik, ook nog verschillende mogelijkheden voor de ondersteuningsconstructie. Enkele mogelijkheden van belastingen op de waterkering worden hieronder aangegeven.



Bij het optreden van MHW komt er een grote horizontale druk op de constructie te staan.

Voor deze constructie is een beschadiging van het folie fataal voor de waterkering. Een beschadiging zou bijvoorbeeld veroorzaakt kunnen worden door een aanvaring.

Een andere belasting op de constructie zou druk achter het folie kunnen zijn. Horizontale krachten op het folie, vanaf de landzijde, kunnen het folie van de constructie afdrukken

Uitgaande van een ondersteunende constructie waarin ook een nevenfunctie geherbergd wordt, zal globaal aangegeven worden hoe de krachtsafdracht is.

Het waterdichte folie heeft van zichzelf geen mogelijkheid om krachten op te nemen. Er zal dus een ondersteunende constructie voor het folie gebouwd moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld een wand zijn. De horizontale krachten die op het folie werken worden dan via de wand en een draagconstructie overgebracht naar de bodem van de ondersteunende constructie. De bodem brengt de horizontale krachten over op de schoorpalen. De palen leiden de krachten naar de draagkrachtige zandlaag.

Uit het folie komen geen verticale krachten. De verticale krachten die overgebracht moeten worden naar de ondergrond zijn afkomstig uit het nevengebruik van de ondersteunende constructie. De krachten worden via de draagconstructie overgebracht naar de palen en dan naar de draagkrachtige zandlaag.

5.4 Waterdichtheid

De eigenlijke waterkering wordt gevormd door het waterdichte folie. Het folie moet in de ondergrond ingebracht worden, zodat er geen onderloopsheid ontstaat. De onderkant van het folie moet dan tot in een afdichtende kleilaag reiken, of het folie moet dusdanig ver de grond in, dat de kwelengte lang genoeg is.

5.5 Levensduur

De levensduur van de waterkering is afhankelijk van de levensduur van het folie en die van de ondersteunende constructie. In de uitgangspunten staat een levensduur van 100 jaar. Voor de ondersteunende constructie hoeft dat in principe geen probleem te zijn. Voor het

folie is het de vraag of het voor de levensduur van 100 jaar gegarandeerd kan worden door de fabrikant.

5.6 Inspectiemogelijkheden

Het deel van het folie dat in de grond zit is na oplevering niet meer te inspecteren. Het gedeelte dat boven de grond zit, blijft in principe bereikbaar voor inspectie. Voor de ondersteunende constructie geldt dat de fundering na oplevering in ieder geval niet meer te inspecteren is. Voor de bovengrondse constructie zijn de inspectiemogelijkheden afhankelijk van de soort constructie en de functie die vervuld wordt.

5.7 Onderhoudsmogelijkheden

Aan de fundering van de ondersteunende constructie en de onderkant van het folie is geen onderhoud meer te plegen na het gereedkomen van de waterkering. De bovenkant van het folie blijft goed bereikbaar. Wat de onderhoudsmogelijkheden voor de ondersteunende constructie zijn, hangt af van het ontwerp en de functie die er vervuld wordt.

5.8 Uitvoeringseisen

Werkzaamheden aan een waterkering mogen uitgevoerd worden tussen 15 april en 15 oktober. Tijdens de werkzaamheden moet de waterkering voldoen aan bepaalde eisen i.v.m. bezwijken en moet een zomerhoogwater gekeerd kunnen worden. De nieuwe waterkering zal de oude geheel vervangen, zodat er tijdens de bouwwerkzaamheden een tijdelijke waterkering aangelegd moet worden. De bouwwerkzaamheden zullen waarschijnlijk meer dan 6 maanden in beslag nemen, zodat de tijdelijke waterkering een volwaardige waterkering moet zijn.

Het verticaal aanbrengen van een folie in de grond is alleen mogelijk door ontgraven. In plaats van een folie kan er ook een dunne damwand gebruikt worden. Het effect en de werking is hetzelfde, maar een damwand is te heien. Voor het aanleggen van de fundering van de ondersteunende constructie zal er een bouwkuip gemaakt moeten worden. Het is wellicht mogelijk de bouwkuip te combineren met de tijdelijke waterkering.

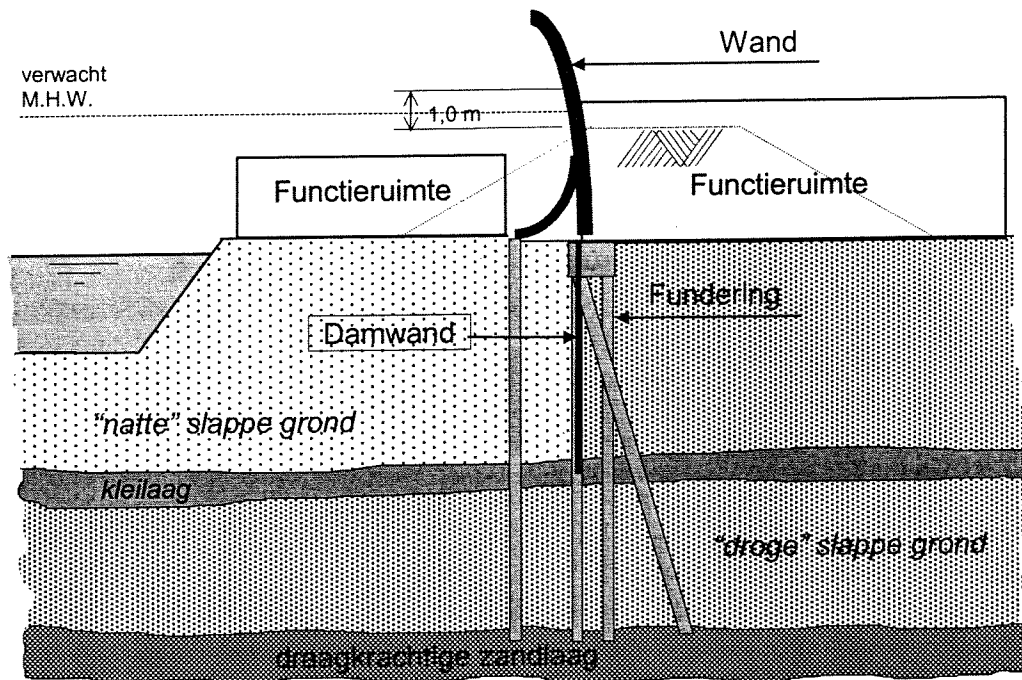
Na het heien van de damwanden voor de bouwkuip, kan de bouwkuip ontgraven worden en kunnen de palen voor de fundering geheid worden. Na het heien van de palen kan de rest van de ondersteunende constructie gebouwd worden.

De damwand die het folie vervangt kan misschien gecombineerd worden met de damwand die voor de bouwkuip geheid moet worden. De kosten zouden een reden kunnen zijn om dit wel of niet te doen.

5.9 Conclusie

Het vormen van een waterkering door het aanbrengen van een waterdicht folie met een ondersteunende constructie is theoretisch een goed idee, maar praktisch niet haalbaar. Indien het folie vervangen wordt door een dunne damwand is het wel mogelijk deze aan te brengen. Tijdens de uitvoering is het noodzakelijk dat er een tijdelijke waterkering komt, maar dit hoeft geen onoverkomelijk probleem te zijn. Tijdens de korte analyse van de technische haalbaarheid van de geïntegreerde harde constructie zijn er geen onoverkomelijke problemen geconstateerd.

6 Wand



De waterkering wordt gevormd door een wand, die relatief dun is. De wand zelf vervult geen functie naast het waterkeren, maar neemt minder ruimte in dan de oude dijk en creëert op die manier functieruimte.

6.1 Hoogte

Het mag geen probleem zijn om de wand op hoogte te brengen voor het keren van MHW, aangezien er een nieuwe constructie gemaakt dient te worden. Het verhogen van de constructie na een bepaalde periode zal lastig zijn. Bij het ontwerp van de wand zal de verhoging voorbereid moeten worden. Ook de materiaalkeuze heeft een grote invloed op de mogelijkheid om de kering later te kunnen verhogen.

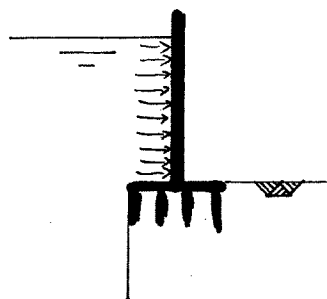
6.2 Stabiliteit

De microstabiliteit van de kering hoeft geen probleem te zijn bij een goede materiaalkeuze. Het materiaal mag binnen de levensduur niet verouderen, samenhang verliezen of bros worden onder invloed van zon, water, wind en eventuele chemische verontreinigingen. Het materiaal moet ook bestand zijn tegen stroming en kleine golven.

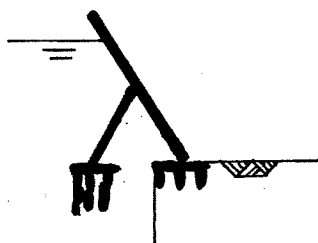
De macrostabiliteit van de wand moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zetting gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig optreden, wat weer extra belasting op de constructie op kan leveren. De krachten uit de constructie zullen middels een paalfundering overgebracht worden naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlaag.

6.3 Sterkte

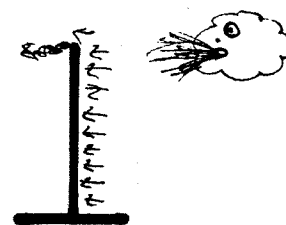
De maatgevende belasting van de wand is afhankelijk van het toepassingsgebied en het ontwerp van de constructie. Bij de verschillende belastinggevallen is te denken aan statische belasting door hoogwater of een dynamische belasting door wind. Het ontwerp van de wand heeft ook invloed op de maatgevende belastingsituatie. Wordt de wand bijvoorbeeld "ingeklemd" met één fundering onder de wand (zie eerste plaatje) of wordt er een extra trek/drukstaaf aan de wand bevestigd. De belasting hangt ook af van de vorm en oriëntatie van de wand. Is de wand gekromd, of overhellend geplaatst, dan kan er een andere situatie maatgevend zijn dan bij een verticale constructie. De maatgevende situatie is niet op voorhand te bepalen, er zal een drietal mogelijke belastingsituaties weergegeven worden.



De verticale wand "ingeklemd" met een waterbelasting afkomstig van MHW geeft grote krachten op en in de constructie en de fundering.



Een tweede situatie is een schuine wand met extra staaf. Ook bij deze situatie is de belasting het MHW.



Een derde belasting is een dynamische windbelasting op de wand. De belasting komt van de andere zijde dan de waterbelasting.

De bepalende belastingsituatie is dus niet tevoren te bepalen, omdat dit afhangt van de locatie, het materiaal van de constructie (beton, kunststof, staal, glas, hout) en het ontwerp van de wand. De krachtsafdracht van de belastingen door de constructie naar de fundering is afhankelijk van het ontwerp. Bij de fundering worden de krachten overgebracht op de paalfundering. De horizontale krachten worden voornamelijk via de schoorpalen overgebracht naar de draagkrachtige zandlaag, de verticale krachten worden via de gewone palen afgedragen.

De technische haalbaarheid is afhankelijk van het ontwerp van de constructie en het materiaal. De losstaande wand is nog niet toegepast als waterkering, maar wel als geluidsscherm langs autosnelwegen (windbelasting). Dat de constructie de grote de horizontale krachten uit de waterbelasting op kan nemen moet aangetoond worden in de ontwerpfase van de constructie en de fundering. Het is niet de verwachting dat dit onoverkomelijke problemen op zal leveren, wel zal er een vrij zware constructie nodig zijn.

6.4 Waterdichtheid

De waterkering wordt gevormd door een waterdichte wand. Het materiaal waar de wand van gemaakt is moet deze waterdichtheid garanderen. Door de paalfundering en de grondslag van de ondergrond kan er onderloopsheid optreden. Deze onderloopsheid kan kwel en daarmee waterbezwaar veroorzaken. Een ander gevaar is het ontstaan van piping, waardoor de constructie kan falen. Voor het voorkomen van de onderloopsheid wordt er een kwelscherm aangebracht. Het kwelscherm is een damwand die bij voorkeur tot in een slecht doorlatende kleilaag wordt geheid. Indien men het waterbezwaar in de polder hiermee wil voorkomen, moet wel onderzocht worden of deze laag ver genoeg voor en achter de waterkering doorloopt. Anders moet het scherm zo lang zijn dat de kwelweg lang genoeg is om piping te voorkomen.

De harde constructie van de wand zal ook aangesloten moeten worden op de grondlichamen aan weerszijden van de constructie. Deze aansluitingen kunnen gemakkelijk lekkage gaan vertonen door ongelijke zettingen en hierdoor kan grond uitspoelen, indien er geen maatregelen genomen worden. Om te voorkomen dat er water langs de constructie zal stromen, dienen er bij de aansluitingen op het grondlichaam schermen ter voorkoming van achterloopsheid aangebracht te worden.

6.5 Levensduur

De levensduur van de constructie is afhankelijk van het materiaal, de uitvoering en de gewenste levensduur. In het ontwerp kan rekening gehouden worden met de verwachte levensduur. Bij de uitgangspunten is een levensduur van 100 jaar aangenomen voor wat betreft de fundering en de onderdelen die na de bouw niet meer bereikbaar zijn. Bij de vormgeving en het ontwerp dient dus rekening gehouden te worden met een verandering van de belastingen in de loop van de tijd. Bij het ontwerp van de kering kan rekening gehouden worden met een toekomstige verhoging van de te keren waterstand en eventueel van de kering, of een andere invulling van de functieruimte.

6.6 Inspectiemogelijkheden

Inspectie van de losstaande wand hoeft geen probleem te zijn. Het is mogelijk de wand visueel te inspecteren. De schermen en de fundering zijn niet meer bereikbaar na de bouw, en zullen dus voor de levensduur van de constructie "gegarandeerd" moeten worden.

6.7 Onderhoudsmogelijkheden

Aan de fundering en de schermen is na het gereed komen van de kering geen onderhoud meer mogelijk. De wand is in principe bereikbaar voor onderhoud. Het is afhankelijk van de materiaalkeuze of er inderdaad ook onderhoud nodig en mogelijk is.

6.8 Uitvoeringseisen

Werkzaamheden aan een waterkering mogen uitgevoerd worden tussen 15 april en 15 oktober. Tijdens de werkzaamheden moet de waterkering voldoen aan bepaalde eisen i.v.m. bezwijken en moet een zomerhoogwater gekeerd kunnen worden. Afhankelijk van de toepassing van de wand moet een gedeelte van de waterkering vervangen worden, of de complete dijk. Per toepassing zal beoordeeld moeten worden of er een tijdelijke waterkering nodig is. Een mogelijke uitvoeringsmethode is:

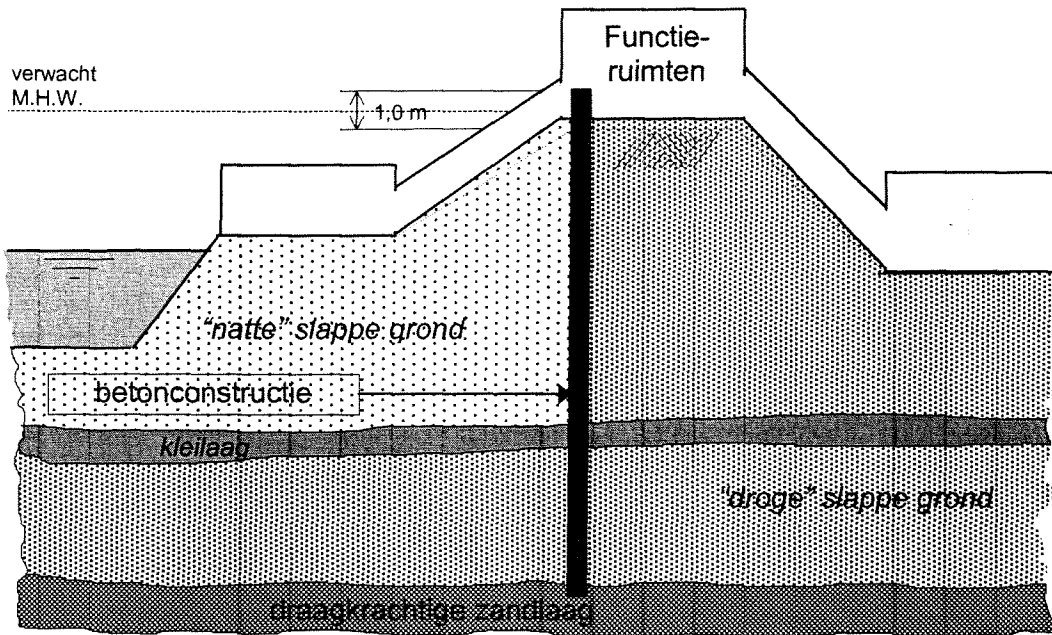
De nieuwe waterkering wordt gebouwd t.p.v. de huidige waterkering. Er zullen in de het grondlichaam damwanden geheid worden, die de bouwkuip vormen. De bouwkuip zal een dusdanig ontwerp hebben, dat deze ook dienst doet als tijdelijke waterkering, hierbij zullen stempels gebruikt worden. Na voltooiing van de bouwkuip kan de grond ontgraven worden tot het niveau van de fundering. Vervolgens kunnen de palen van de fundering en de damwanden voor het kwelscherm geheid worden. Als de fundering gereed is kan worden begonnen met de bouw van de wand. Hoe deze gebouwd gaat worden is afhankelijk van het ontwerp en het materiaal dat gebruikt wordt. In deze fase van het project valt er nog niet veel te zeggen over de te volgen methode.

6.9 Conclusie

De technische haalbaarheid van de wand hoeft geen grote problemen op te leveren. de mogelijkheden zijn wel afhankelijk van de locatie en het materiaal dat toegepast gaat worden. Voor de fundering moet er rekening mee gehouden worden dat er grote krachten uit

de wand kunnen komen. De uitvoering is ook afhankelijk van het ontwerp van de constructie en het materiaal.

7 Diepwand



7.1 Technische mogelijkheid

De diepwand is een betonconstructie die voor de krachtsafdracht gebruik maakt van de grond. Bij het gebruiken van een diepwand in een waterkering, vormt de diepwand de waterdichte constructie. De grond waar de diepwand in zit, neemt de krachten op. Tijdens de excursie door het probleemgebied, de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard, bleek dat er bij Hardinxveld/Giessendam een diepwand toegepast wordt als waterkering (zie onderstaande foto's)



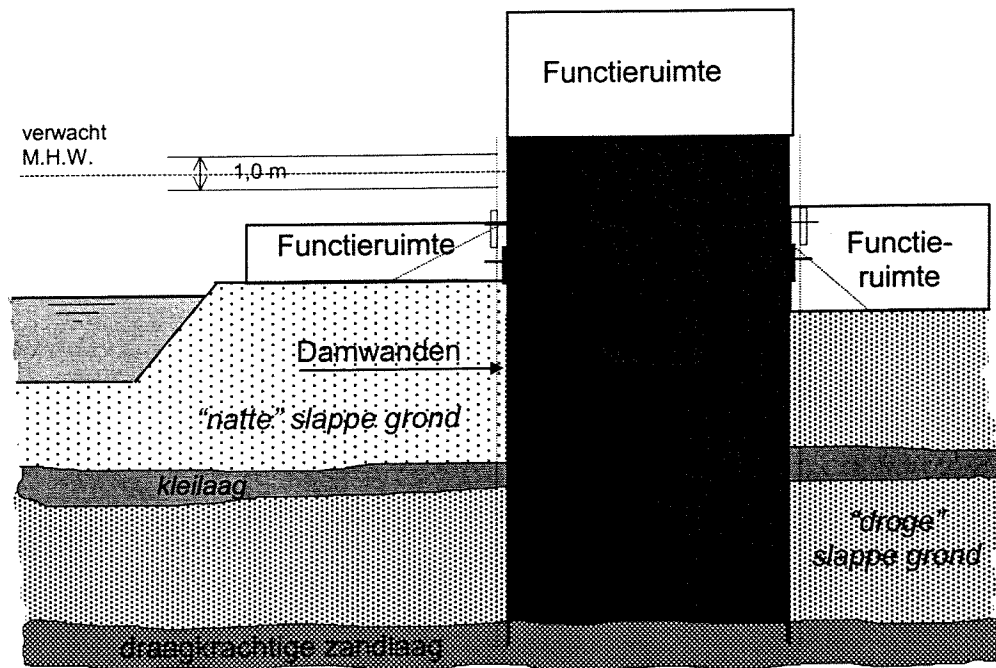


De locatie waar deze diepwand toegepast is, ligt in het probleemgebied van deze studie. De haalbaarheid van de diepwand is hiermee voldoende aangetoond.

7.2 Conclusies

De diepwand is als waterkering toegepast in het probleemgebied van deze studie. Er zijn zover bekend geen hele grote problemen opgetreden, zodat aangenomen wordt dat de technische haalbaarheid van de diepwand geen probleem is.

8 Kistdam



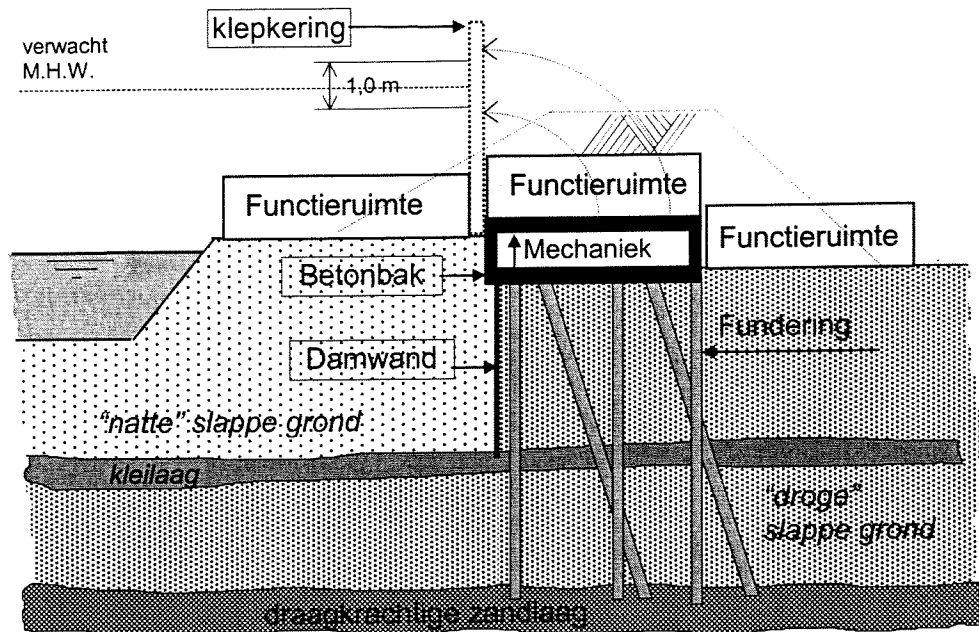
8.1 Technische mogelijkheid

De kistdam als oplossing voor de waterkering wordt in de Handreiking Constructief ontwerpen van de TAW ook genoemd. Uit deze handreiking komt naar voren dat het technisch haalbaar is om een kistdam als waterkering te laten fungeren. Bij de behandeling van de kistdam als waterkerende constructie wordt geen melding gemaakt van beperkte toepasbaarheid in slappe grond. Er wordt dan ook aangenomen dat dit geen extra beperkingen stelt aan de kistdam. In de Handreiking Constructief ontwerpen is reeds aangetoond dat een kistdam bruikbaar is als waterkering, zodat er nu geen verdere analyse van deze constructie gemaakt wordt.

8.2 Conclusie

Een kistdam is zonder al te grote problemen te gebruiken als waterkering. Uit de Handreiking Constructief ontwerpen van de TWA komt wel naar voren dat het heien van de damwanden schade aan omliggende bebouwing op kan leveren. Verder zijn er geen grote beperkingen geconstateerd.

9 Klepkering



De klepkering is een waterkering die operationeel wordt op het moment dat er een hoogwater is/verwacht wordt. In niet gebruikte toestand liggen de kleppen plat op de constructie. In geval van hoogwater worden de kleppen omhoog gebracht en vormen ze een waterkering. De kleppen kunnen op verschillende manieren (hydraulisch, mechanisch) omhoog gezet worden.

9.1 Hoogte

Aan de hoogte van de waterkering zijn beperkingen, omdat de kleppen geen oneindige afmetingen kunnen krijgen. De bewegingswerken, de horizontaal beschikbare ruimte en de afdichting tussen de kleppen zullen beperkingen aan de afmetingen stellen.

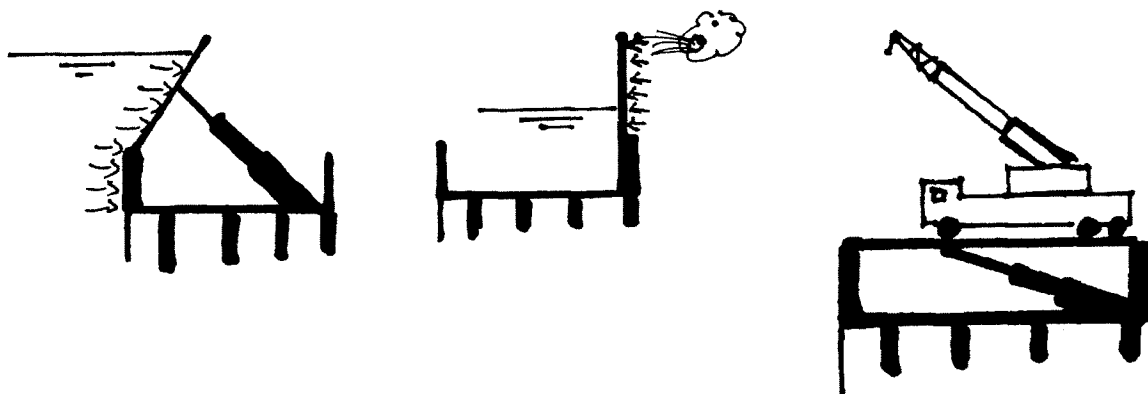
9.2 Stabiliteit

De microstabiliteit van de kering moet gewaarborgd worden door een juiste materiaalkeuze. Het materiaal waar de kering van gemaakt wordt, moet bestand zijn tegen bijvoorbeeld weersinvloeden en chemische invloeden en een levensduur hebben van minimaal honderd jaar.

De macrostabiliteit van de klepkering moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zetting gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig optreden, wat problemen op gaat leveren met de aansluitingen tussen de verschillende kleppen. De krachten uit de constructie zullen middels een paalfundering overgebracht worden naar de dieper gelegen draagkrachtige zandlaag.

9.3 Sterkte

Voor de constructie zijn er verschillende belastinggevallen en constructiemogelijkheden. De maatgevende belasting is afhankelijk van het toepassingsgebied en het type constructie.



Het water tegen de kleppen zorgt voor een grote horizontale kracht. Deze kracht moet via een constructie overgedragen worden naar de paalfundering.

De kleppen staan aan de onderkant tegen een opstaande rand, waardoor ze niet doorklappen. Wind tegen de "achterkant" van de kleppen zorgt voor een horizontale kracht die niet zonder meer opgenomen kan worden door dit constructietype.

In niet gebruikte toestand kan er iets op de kleppen komen te staan dat een grote kracht op de constructie geeft.

De maatgevende belastingsituatie is in deze fase niet éénduidig vast te stellen, wel is de globale krachtafdracht aan te geven.

De grote krachten op de kleppen zullen de horizontale krachten zijn. Deze krachten zullen samen met de (beperkte) verticale krachten via een betonnen bak overgebracht worden naar de palen. De palen leiden de krachten naar de draagkrachtige zandlaag. Indien de kering niet in gebruik is, liggen de kleppen horizontaal. De krachten die er dan op werken worden eveneens via de betonnen bak en de palen afgevoerd naar de ondergrond.

9.4 Waterdichtheid

De waterdichtheid van de kering wordt gevormd door het materiaal van de kleppen en een kwelscherm onder de kering. De waterdichtheid van de kering kan problemen met zich mee gaan brengen bij de aansluitingen tussen de kleppen. De kleppen hebben een beperkte afmeting, zodat er meerde kleppen naast elkaar zullen staan. De verbindingen tussen de verschillende delen zullen waterdicht gemaakt moeten worden. Het waterdicht maken van de verbindingen kan voor problemen gaan zorgen. Aan de twee uiteinde van de kering is er een aansluiting op de bestaande waterkering. De aansluiting zal waarschijnlijk vorm gegeven worden met een harde constructie, die aansluit op de bestaande waterkering. De precieze vormgeving hiervan is nog niet bekend.

9.5 Levensduur

De levensduur van de constructie is afhankelijk van het materiaal, de uitvoering en de gewenste levensduur. In het ontwerp kan rekening gehouden worden met de verwachte levensduur. Bij de uitgangspunten is een levensduur van 100 jaar aangenomen voor wat betreft de fundering en onderdelen die na de bouw niet meer bereikbaar zijn. Bij de vormgeving en het ontwerp dient er dus rekening gehouden te worden met een verandering van de belastingen in de loop van de tijd. Bij het ontwerp van de kering kan rekening gehouden worden met een toekomstige verhoging van de te keren waterstand en eventueel van grotere kleppen.

9.6 Inspectiemogelijkheden

Bij een kering met bewegende onderdelen is het van groot belang dat de bewegende en eventueel aandrijvende onderdelen goed bereikbaar blijven voor een inspectie. De bedrijfszekerheid van de kering kan alleen gegarandeerd worden als er regelmatig inspectie (en onderhoud) van de kering plaats vindt. In het ontwerp van de kering zal daar dus expliciet rekening mee gehouden moeten worden. De paalfundering en de kwelschermen zijn na oplevering niet meer te inspecteren.

9.7 Onderhoudsmogelijkheden

De fundering en de kwelschermen zijn na oplevering niet meer bereikbaar voor onderhoudswerkzaamheden en moeten dus "gegarandeerd" zijn voor de levensduur van de kering. De kleppen en de bewegende/aandrijvende onderdelen zullen regelmatig onderhoud nodig hebben, om goed te kunnen functioneren. De onderdelen dienen dus ook goed bereikbaar te blijven. Bij de bouw van de constructie en de invulling van de functieruimten dient er rekening gehouden te worden met de bereikbaarheid van (onderdelen) van de waterkering.

9.8 Uitvoeringseisen

Werkzaamheden aan de waterkering mogen uitgevoerd worden tussen 15 april en 15 oktober. In die periode moet er nog wel een bepaalde waterstand gekeerd kunnen worden. Indien de klepkering op een bestaande waterkering gebouwd wordt, kan er waarschijnlijk volstaan worden met deze basis. Indien er over gegaan wordt naar een klepkering op maaiveld, dan zal er een tijdelijke waterkering aangelegd moeten worden.

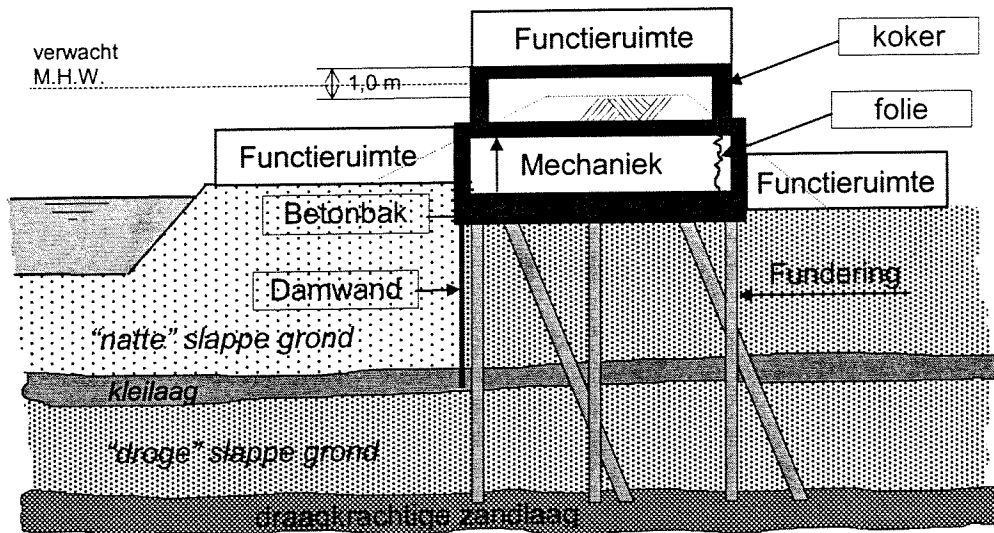
De werkzaamheden zullen beginnen met het (gedeeltelijk) afgraven van de dijk. Nadat de graafwerkzaamheden verricht zijn moet er een bouwkuip gemaakt worden. De palen en het kwelscherm kunnen geheid worden als de bouwkuip gereed is. Na het heien van de palen kan de betonnen bak aangebracht worden. Op de betonnen bak moeten de kleppen en toebehoren geïnstalleerd worden.

De bouwperiode van de waterkering is afhankelijk van de lengte. Er zal dus een planning gemaakt moeten worden, aan de hand waarvan bepaald wordt of de toegestane bouwperiode van 6 maanden overschreden wordt. Indien de bouw meer tijd in beslag gaat nemen dan de toegestane periode, dan zal er een tijdelijke waterkering aangelegd moeten worden.

9.9 Conclusie

Het waterdicht aansluiten van de kleppen onderling zal een probleem gaan worden. Bij een eventuele uitwerking moet er veel aandacht aan dit onderdeel besteed worden. De bedrijfszekerheid van de kering kan alleen gegarandeerd worden indien er regelmatig inspecties en onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd worden.

10 Hefconstructie



De hefconstructie lijkt in veel opzichten op de klepkering. Het bewegende deel van de kering roteert nu niet, maar transleert verticaal. De hefconstructie wordt ook pas operationeel als er een hoogwater is, of verwacht wordt. Het in gebruik nemen van de kering is afhankelijk van het mechanisme dat zorgt voor de verticale verplaatsing.

10.1 Hoogte

De kering is een constructie van een hard materiaal (beton) in combinatie met een folie. Het ontwerp van de waterkering moet zo gemaakt worden, dat MHW te keren is. Indien er bij het ontwerpen van de goede waterstand uitgegaan wordt, is de kerende hoogte geen probleem.

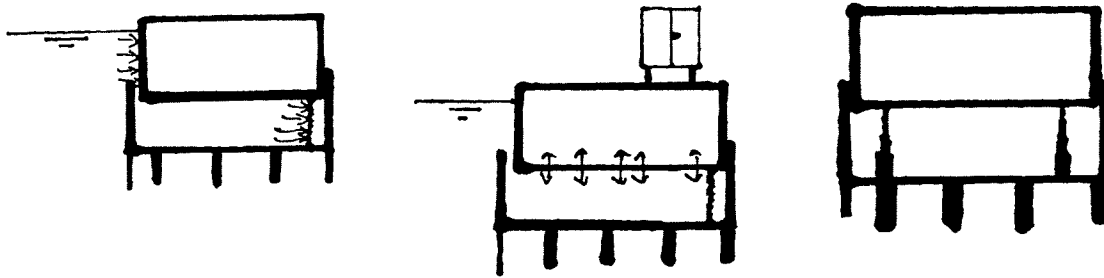
10.2 Stabiliteit

De microstabiliteit van de kering moet gewaarborgd worden door een juiste materiaalkeuze. Het materiaal waar de kering van gemaakt wordt, moet bestand zijn tegen bijvoorbeeld weersinvloeden en chemische invloeden en een levensduur hebben van minimaal honderd jaar.

De macrostabiliteit van de klepkering moet gewaarborgd worden door een goed ontwerp. Door de slechte grondlagen onder de constructie is het niet mogelijk een verantwoord ontwerp te maken dat op staal gefundeerd wordt. De grond kan maar weinig belasting opnemen, zodat het niet mogelijk is de belastingen direct over te brengen op de ondergrond, zonder dat de constructie afschuift of kantelt. Naast deze problemen zal de ondergrond zettingen gaan vertonen, waardoor de waterkering zakt. Deze zakking zal niet gelijkmatig optreden, wat problemen op gaat leveren met de betonnen bak en het folie (afscheuren).

10.3 Sterkte

Voor de hefconstructie geldt net als voor veel ander waterkeringen dat er verschillende belastinggevallen zijn. Wat de maatgevende belasting is, hangt af van de toegepaste constructie, de functie die ingevuld wordt in de functieruimte op de kering, het materiaal e.d. Er zullen in dit stuk 3 mogelijke belastingssituaties gegeven worden om de verschillende aard van de belastingen aan te geven.



Bij het optreden van MHW komt er een grote horizontale druk op de kering te staan.

Indien de functieruimte ingevuld wordt met een verkeersfunctie komen er dynamische belastingen op de kering te staan.

Het toepassen van hydraulische cylinders geeft grote puntlasten op de constructie.

Het grote probleem van de hefkring is hoe de grote horizontale krachten, die op het bewegende deel en het folie werken, overgebracht worden naar de betonnen bak. Er moet voorkomen worden dat de krachten via het folie afgedragen worden naar de fundering. Het folie kan deze krachten niet opnemen en zal bezwijken. De meest eenvoudige oplossing lijkt om een telescoopprincipe toe te passen, waarbij een gedeelte van het bewegende deel in de betonnen bak blijft (zie tekening aan het begin van dit hoofdstuk).

Als de krachten van het bewegende deel overgebracht zijn naar de betonnen bak, dan kunnen ze via de fundering afgevoerd worden naar de draagkrachtige zandlaag.

10.4 Waterdichtheid

De waterdichtheid van de kering wordt bereikt door een folie aan te brengen tussen het bewegende deel van de kering en de vaste constructie (betonbak). Onder de constructie moet een kwelscherm aangebracht worden, om te voorkomen dat de constructie onderloopt. Voor de aansluitingen met de rest van de waterkering geldt dat er schermen nodig zijn voor het voorkomen van achterloopsheid.

10.5 Levensduur

Voor de levensduur van de hefconstructie geldt hetzelfde als voor die van de klepkering. De levensduur van de constructie is afhankelijk van het materiaal, de uitvoering en de gewenste levensduur. In het ontwerp kan rekening gehouden worden met de verwachte levensduur. Bij de uitgangspunten is een levensduur van 100 jaar aangenomen voor wat betreft de fundering en onderdelen die na de bouw niet meer bereikbaar zijn. Bij de vormgeving en het ontwerp dient er dus rekening gehouden te worden met een verandering van de belastingen in de loop van de tijd.

10.6 Inspectiemogelijkheden

Voor de inspectiemogelijkheden geldt grotendeels ook hetzelfde als voor de klepkering. de bewegende/aandrijvende onderdelen moeten geïnspecteerd kunnen worden, Het folie dat zorgt voor de waterdichtheid van de kering moet ook regelmatig geïnspecteerd kunnen worden. De fundering en de kwelschermen zijn na de bouw van de kering niet meer te inspecteren.

10.7 Onderhoudsmogelijkheden

De fundering en de kwelschermen zijn na de bouw niet meer bereikbaar voor onderhoudswerkzaamheden. Deze onderdelen van de constructie moeten dus ook "gegarandeerd" zijn voor de levensduur van de constructie. De bewegende/aandrijvende onderdelen van de waterkering moeten goed bereikbaar zijn voor onderhoud. Deze onderdelen vragen een regelmatig onderhoud, zodat de waterkering bedrijfszeker is. Het folie dat gebruikt wordt voor de afdichting zal een minder lange levensduur hebben dan de rest van de kering, zodat dat ook bereikbaar moet blijven voor onderhoud.

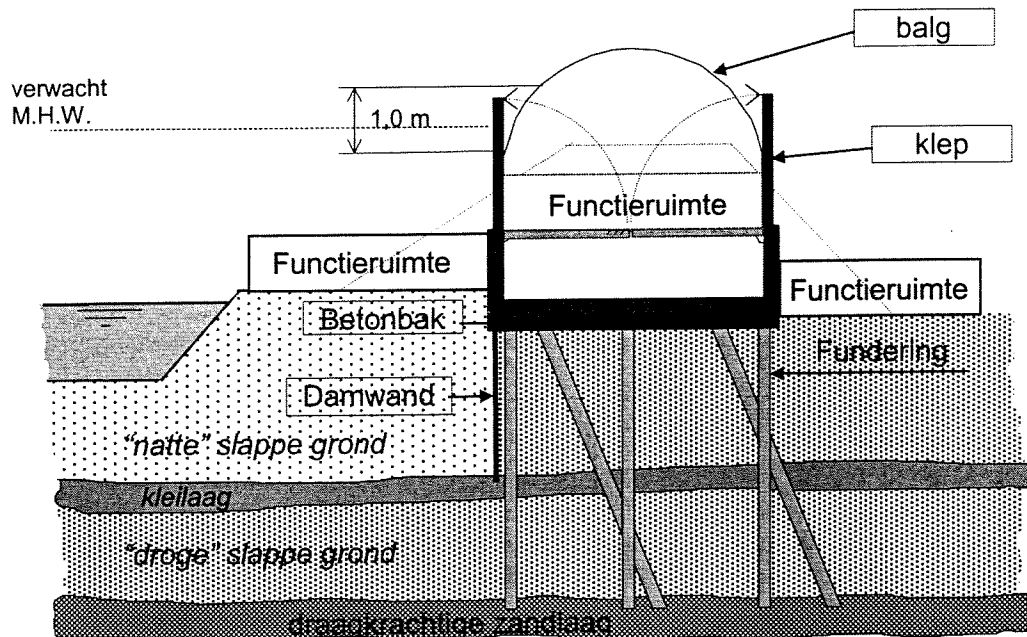
10.8 Uitvoeringseisen

De uitvoeringseisen aan de hefconstructie zijn bijna identiek aan die van de klepkering. Allen de opbouw van de betonnen bak verschilt. Voor de uitvoeringseisen wordt dan ook verwezen naar de klepkering.

10.9 Conclusie

De hefkering moet volgens een eerste analyse technisch haalbaar zijn. Bij een verdere uitwerking zijn er ongetwijfeld nog onderdelen van de kering die problemen op zullen leveren, maar er is na de eerste analyse geen reden om de kering op de technische haalbaarheid uit de alternatieventabel van innovatieve waterkeringen te halen.

11 Balgkering



De balgkering is evenals de klepkering en de hefconstructie een waterkering die operationeel wordt op het moment dat er hoogwater is. De kering bestaat uit een doek dat volgepompt wordt met water en/of lucht.

11.1 Hoogte

Zolang er genoeg steun aan beide zijden van de kering is, vormt de hoogte geen probleem. De balg die de kering vormt moet zo groot gemaakt worden dat de kering hoog genoeg wordt.

11.2 Stabiliteit

De microstabiliteit van de kering is in principe geen probleem. Het doek moet bestand zijn tegen bijvoorbeeld stroombelasting, eventuele chemicaliën, schimmels en ongedierte. Deze eigenschappen zijn afhankelijk van het materiaal waar de balg van gemaakt is. De macrostabiliteit van de kering vraagt extra aandacht. De kering is geen vormvaste constructie en kan alleen functioneren indien er voldoende steundruk is. Een kleine balg (tot een hoogte van ongeveer 1 m) kan overeind blijven door de balg onder druk te zetten. De overdruk in de balg zorgt voor een spanning in het doek, dat daardoor niet inzakt maar overeind blijft staan. Door het Zweedse bedrijf NOAQ is een dergelijke kering inmiddels ontwikkeld en beproefd tot een hoogte van 1 m. De kering is ontwikkeld als noodkering en bleek daarvoor te voldoen. Of de kering ook te gebruiken is als permanente oplossing voor het waterkeringsprobleem in Nederland is nog niet onderzocht.

Bij grotere hoogte van de waterkering wordt het opnemen van de horizontale kracht en de overdruk die in de balg nodig is een probleem. Aan de polderzijde zal de kering dan een extra steundruk moeten krijgen. De extra steundruk kan verkregen worden door de kering op te bergen in een bak en deze af te sluiten met een klep. In geval van hoogwater wordt de klep in de verticale stand gebracht en steunt zo de onderkant van de balg (zie tekening boven aan deze pagina).

Voor de ondergrond geldt hetzelfde als voor de andere flexibele constructies. Er zal vanwege de slechte draagkracht van de ondergrond op palen gefundeerd moeten worden.

11.3 Sterkte

De belastinggevallen voor de balgkering zijn dusdanig veelzijdig, dat er geen voorbeelden gegeven worden van mogelijke belastinggevallen. De maatgevende belasting is afhankelijk van hoogte, de overdruk, de ondersteuningsconstructie e.d. De afvoer van de krachten gebeurt via de bak waar de balg in ligt en de palen van de fundering. De palen zorgen dat de krachten overgebracht worden naar de draagkrachtige zandlaag.

11.4 Waterdichtheid

De waterdichtheid van de kering wordt gevormd door het materiaal waar de balg van gemaakt is. Dit materiaal dient waterdicht aangesloten te worden op de plaat onder de balg. Voor de ondergrond en de aansluitingen op de rest van de waterkering zijn er net als bij de andere flexibele waterkeringen onder- en achterloopsheidschermen nodig.

11.5 Levensduur

Voor de levensduur van de constructie geldt hetzelfde als voor de hefconstructie en de klepkering. Bij de balgkering moet wel extra aandacht besteed worden aan de aansluiting van het doek van de balg op de rest van de constructie, omdat dit een punt is waar snel problemen optreden (balgkering Ramspol).

11.6 Inspectiemogelijkheden

Een waterkering met veel bewegende delen moet regelmatig geïnspecteerd worden. De balgkering heeft een doek, dat beschadigd kan raken en dat dus ook regelmatig gecontroleerd moet worden. De schermen en de fundering zijn na de bouw niet meer te inspecteren.

11.7 Onderhoudswerkzaamheden

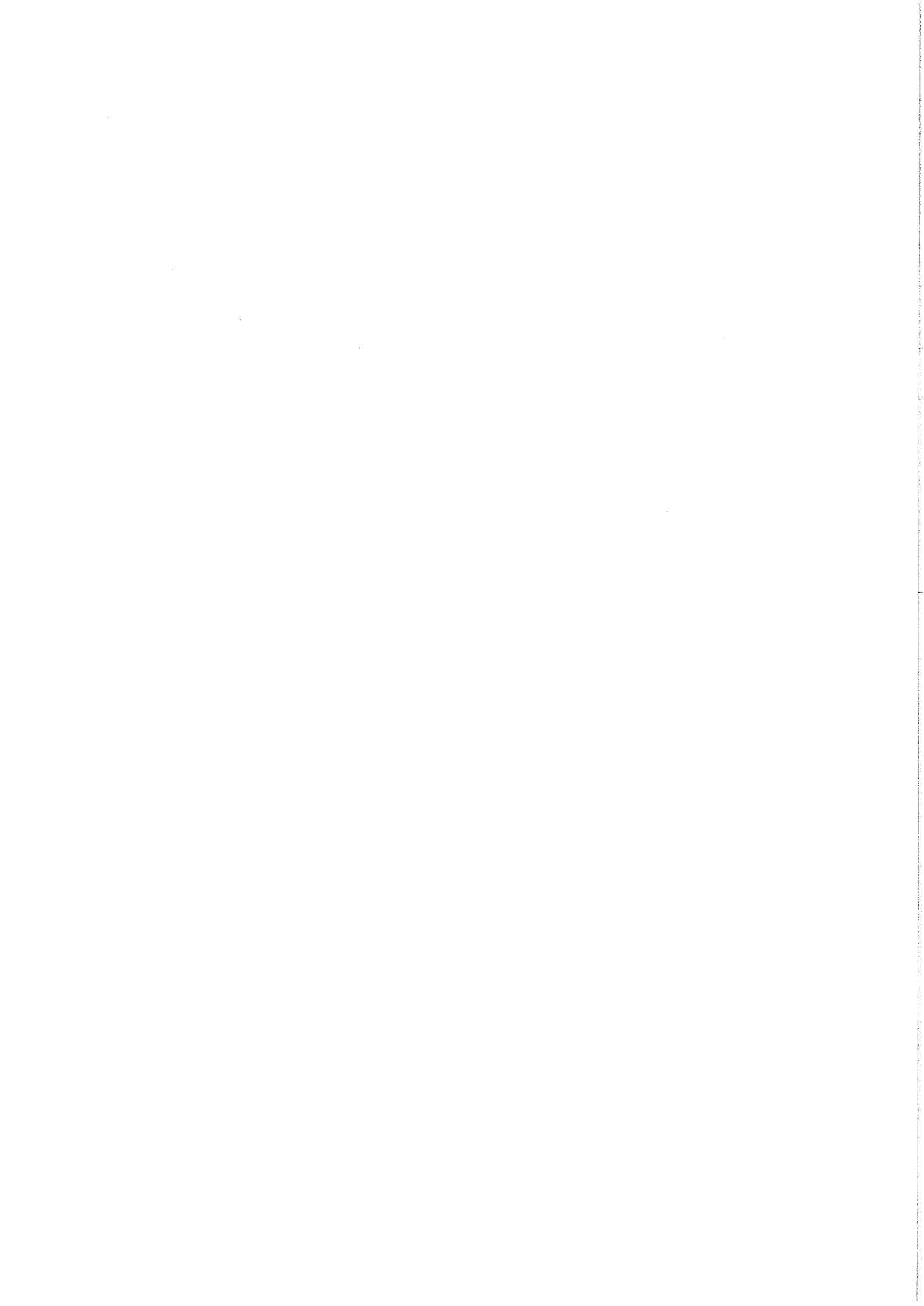
Voor de onderhoudswerkzaamheden geldt eigenlijk hetzelfde als voor de inspectiemogelijkheden. De kering moet goed bereikbaar blijven voor het onderhoud dat nodig is om de bedrijfszekerheid te kunnen waarborgen. Onderhoud aan het doek zal naar alle waarschijnlijkheid alleen mogelijk zijn met speciale apparatuur. Bij het ontwerp van de kering moet met deze specifieke eisen rekening gehouden worden.

11.8 Uitvoeringseisen

De uitvoeringseisen aan de balgkering zijn dezelfde als die aan de klepkering of de hefconstructie. Alleen de opbouw op de bak is anders, maar dat is voor deze analyse niet van belang.

11.9 Conclusie

Een balgkering op de dijk met een hoogte van 1 m is mogelijk. Grotere balgconstructies als waterkering langs een rivier zijn niet mogelijk zonder een ondersteunende constructie voor het geven van zijdelingse steun aan de kant van de polder. Een ander potentieel probleemgebied is de aansluiting van het doek op de rest van de constructie.



Innovatieve waterkeringen



Bijlage E: Casestudy Alblasterdam

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage E: Casestudy Alblasserdam

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Samenvatting Casestudy Alblasserdam

De casestudy Alblasserdam heeft betrekking op een dijkvak langs de Noord, gelegen in Alblasserdam. Dit dijkvak is in 1976 punt van discussie geweest bij de toen uit te voeren



figuur 1: Oude en nieuwe dijk

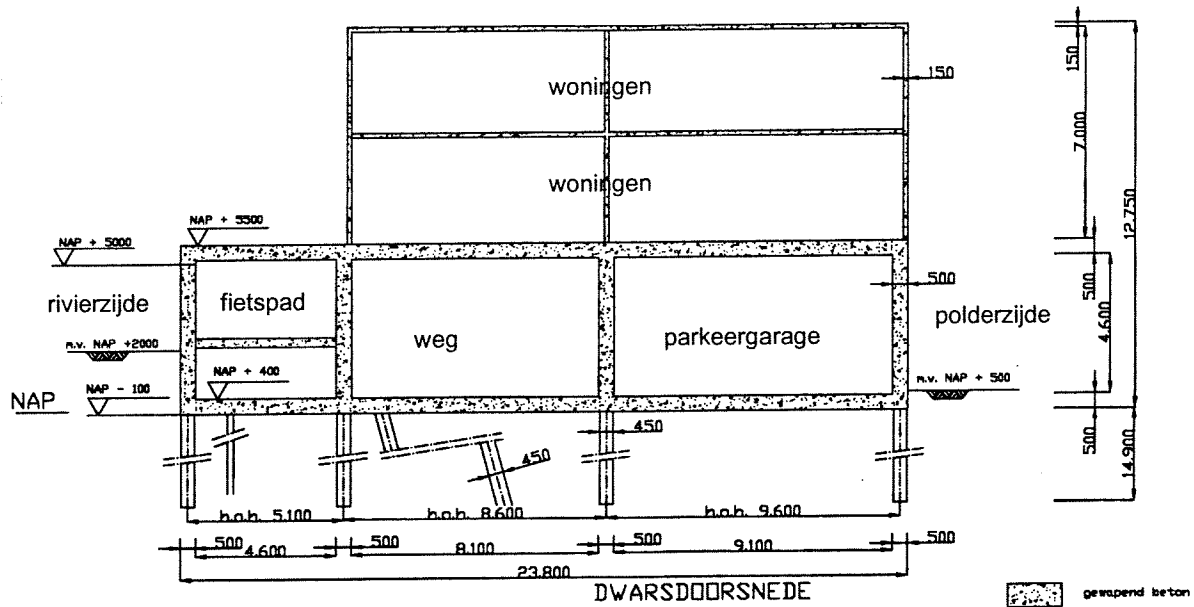
dijkverbetering. Op beide taluds van de dijk staat bebouwing, voornamelijk woningen. Het verbeteren van de dijk was niet mogelijk zonder afbraak van deze woningen. Er is destijds besloten dit niet te doen, maar de dijk te verleggen. De nieuwe dijk loopt over een traject dat ongeveer 50m rivierwaarts ligt ten opzichte van de oude dijk. Naast de woonfunctie heeft de dijk ook een belangrijke verkeersfunctie. Het verkeer van en naar Kinderdijk loopt via de dijk. In Kinderdijk ligt nog een

industrieterrein, dat voor de aan en afvoer van goederen afhankelijk is van deze verbinding. In de casestudy is, met behulp van de eerder in het project ontwikkelde principeoplossingen, naar een oplossing gezocht om de dijk wel te kunnen verhogen. Het blijkt mogelijk de dijk te verhogen met behoud van de functies wonen en verkeer, die de dijk nu ook heeft. Bij het zoeken naar een geschikte oplossing zijn de principeoplossingen nog een keer doorgenomen en is gekeken naar de toepasbaarheid voor de situatie in Alblasserdam. Bij deze voorselectie zijn drie kansrijke alternatieven overgebleven:

1. de Doosconstructie
2. de L-muur
3. de Folieconstructie

Voor deze drie alternatieven is een globaal ruimtelijk-functioneel ontwerp gemaakt. Na afweging van de drie alternatieven blijkt de doosconstructie het beste te voldoen. Bij deze constructie is het goed mogelijk om de drie functies waterkeren, verkeer en wonen, te integreren. De constructies voor het vervullen van de functies verkeer en wonen zijn wel gescheiden. Bij de andere twee waterkeringen zijn deze functies constructief niet te scheiden.

Het basisprincipe van de waterkering is de doosconstructie. Deze is ingevuld met een verkeer- en parkeerfunctie in de doos en een woonfunctie op de constructie. De waterkering is gefundeerd op palen, vanwege de slappe ondergrond. Aan de rivierzijde van de waterkering is een kwel scherm aangebracht tegen onderloopsheid. Een dwarsdoorsnede van de voorgestelde oplossing is weergegeven in figuur 2.



figuur 2: Innovatieve oplossing waterkering Alblaserdam.

De waterkering bestaat uit een dichte constructie, die het water keert en ruimte biedt aan de verkeersfunctie en een opbouw voor de woonfunctie. De waterkeringsconstructie (de doos) laat zich het beste vergelijken met een tunnel. De onderkant van de waterkering ligt op NAP +0,50m. De bovenkant van de reikt tot NAP +5,50m. De lengte van de verbeterde waterkering is 200m. De afmetingen van de doosconstructie zijn:

tabel Fout! Geen tekst met opgegeven opmaakprofiel in document.-1: Afmetingen doosconstructie

kruinhoogte (h_k)	NAP +5,5m
funderingsdiepte palen	NAP -15,0m
constructiedikte	500mm
breedte op maaiveld	23,8m

Het grootste probleem van de waterkering treedt op tijdens de bouwfase. In deze fase moet er een tijdelijke waterkering zijn, die dezelfde veiligheid moet bieden als de uiteindelijke waterkering. In dit geval is er voor gekozen om met een combiwand de tijdelijke waterkering te realiseren. Het beperken van de maximale doorbuiging stelt zware eisen aan de wand. Een ander probleem betreft de relatief korte lengte (200m) van het te verbeteren traject. Dit heeft bij de ruimtelijke vormgeving voor problemen gezorgd. Het eerste ontwerp bestond uit een systeem met drie lagen: verkeer, parkeergelegenheid en wonen. Deze indeling gaf echter een te groot verschil tussen het wegniveau in de tunnel en het niveau van de aansluitende dijk. Met het, in het Programma van Eisen aangegeven, maximale hellingpercentage van 6% voor de toeritten naar de tunnel, bleek het niet mogelijk de indeling met drie lagen vorm te geven. Er is uiteindelijk besloten een indeling met twee lagen te maken: verkeer en parkeren in de tunnel met daarop woningen.

De ramingkosten van de doosconstructie zijn ongeveer f 225.000 per strekkende meter. De kosten voor **het totale project** zijn na aftrek van de baten geraamd op **50 miljoen gulden**.

Conclusies:

- In vergelijking met de oplossing van de buitendijkse dijkverlegging biedt de doosconstructie meer perspectief. De buitendijkse dijkverlegging is lang niet overal mogelijk en in het kader van de beleidslijn *Ruimte voor de rivier* in principe ook niet meer toegestaan, tenzij er compenserende maatregelen worden genomen. De oplossing met de doosconstructie vraagt op maaiveldniveau echter niet meer ruimte dan de oude dijk.
- De doosconstructie wordt voor een langere planperiode (100 jaar) gebouwd, zodat er minder frequent verhoogd hoeft te worden. Het verhogen van de doosconstructie is wel gebonden aan de grenzen uit het ontwerp. Op een gegeven moment zal de gehele constructie vervangen moeten worden.
- De kosten voor de bouw van de doosconstructie als dijkverbetering zijn 60 miljoen. Een gedeelte van de kosten kan terugverdiend worden door de verkoop van de woningen. Een ander deel door de exploitatie van de parkeergelegenheid. Hierdoor kunnen de kosten teruggebracht kunnen worden naar ± 50 miljoen. De kosten voor de buitendijkse dijkverlegging zijn 10 miljoen geweest. De doosconstructie is dus aanzienlijk duurder. Het kan de moeite waard zijn om de hogere kosten te accepteren vanwege het behoud van de functies, in tegenstelling tot het verlies van functies bij een traditionele dijkverhoging.

De doosconstructie lijkt vooral gerechtvaardigd op die plaatsen waar een traditionele dijkverhoging ten koste gaat van de belevingswaarde van de leefomgeving. Deze plaatsen zijn voornamelijk waterkeringen in steden en bij lintbebouwing op de dijk. De innovatieve oplossing gaat gepaard met hogere kosten, die de maatschappij bereid moet zijn om op te brengen, in ruil voor het behoud van functies.

Inhoudsopgave

Samenvatting	
Inhoudsopgave	
1. Inleiding casestudy Alblasserdam.....	3
1.1 Situatieschets	4
2. Probleemverkenning dijkvak Alblasserdam-Noord	5
2.1 Probleemanalyse dijkverbetering	5
3. Randvoorden en uitgangspunten casestudy Alblasserdam	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Randvoorwaarden.....	7
3.3 Uitgangspunten.....	8
3.4 Aannamen	8
4. Programma van Eisen waterkering Alblasserdam.....	9
5. Geotechnisch profiel ondergrond waterkering Alblasserdam.....	13
5.1 Inleiding karakteristiek geotechnisch profiel waterkering Alblasserdam.....	13
5.2 Opbouw karakteristiek geotechnisch profiel waterkering Alblasserdam.....	13
6. Ruimtelijk functionele alternatieven waterkering Alblasserdam	16
6.1 Selectie van uit te werken principeoplossingen waterkering Alblasserdam.....	16
6.1.1 Dijk met aangepaste ophoging	16
6.1.2 Dijk met verbeterde ondergrond	17
6.1.3 L-muur.....	17
6.1.4 Doosconstructie.....	18
6.1.5 Folie	19
6.1.6 Diepwand	20
6.1.7 Kistdam	21
6.1.8 Wand.....	22
6.1.9 Klepkering	23
6.1.10 Hefconstructie	24
6.2 Conclusie	25
6.3 Ruimtelijk functionele vormgeving alternatieven waterkering Alblasserdam	27
6.3.1 Inleiding vormgeving waterkering Alblasserdam Noord	27
6.3.2 Alternatief 1: De Doosconstructie	27
6.3.3 Alternatief 2: De L-muur	28
6.3.4 Alternatief 3: Het folie	29
6.4 Keuze waterkering Alblasserdam	30
7. Uitwerking doosconstructie als waterkering in Alblasserdam	31
7.1 Inleiding uitwerking	31
7.2 Definitieve ruimtelijke vormgeving doosconstructie	31
7.3 Uitvoeringsplan doosconstructie waterkering Alblasserdam	32
7.4 Constructieve uitwerking doosconstructie	40
7.4.1 Controle golfoploop	40
7.4.2 Noodwaterkering	40
7.5 Constructieve vormgeving doosconstructie.....	41
7.5.1 waterdruk	41
7.5.2 Grondbelasting	43

7.5.3	Belastingen uit de opbouw	43
7.5.4	Windbelasting.....	43
7.5.5	Verkeersbelasting.....	43
7.5.6	Eigen gewicht.....	43
7.5.7	Krachten op de constructie.....	43
7.6	Fundering.....	57
7.6.1	Paalpunt draagvermogen	57
7.6.2	Invloed schachtwrijving en negatieve kleef.....	59
7.6.3	Palenplan	60
7.6.4	Kwelscherm.....	62
7.7	Sterkte controle constructie.....	64
8.	Kostenberekening en vergelijking oplossingen	65
8.1	Kosten	65
8.2	Vergelijking doosconstructie met buitendijkse dijkverlegging.....	65
9.	Conclusies casestudy Alblisserdam	67

Bijlage I: Kaartmateriaal

Bijlage II: Karakteristieke doorsnede dijkprofiel

Bijlage III: Geotechnische gegevens nieuwe waterkering

Bijlage IV: Berekeningen toeritten tunnel

Bijlage V: Definitieve ruimtelijke vormgeving doos

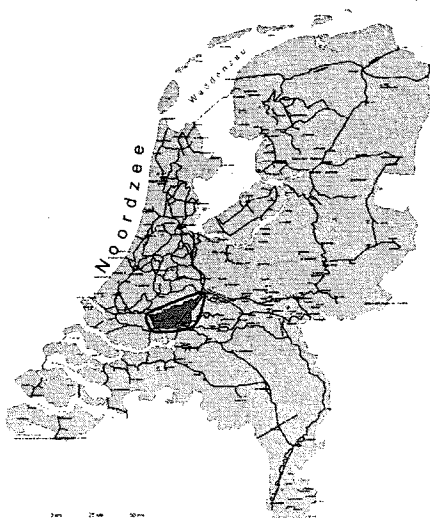
Bijlage VI: Combiwandberekeningen

Bijlage VII Technische tekening doosconstructie

1. Inleiding casestudy Alblasserdam

Het dijkvak Alblasserdam-Noord is gelegen langs de rivier de Noord in de Alblasserwaard (zie figuur 1.1 en bijlage I). Dit gebied kenmerkt zich door een zeer slappe, samendrukbare ondergrond. In 1985 is gestart met de reconstructie van dit dijkvak om de dijk op Deltahoogte te brengen. Op de dijk ligt een verbindingsweg, die Kinderdijk verbindt met Alblasserdam en onderdeel is van de inspectieweg voor de waterkeringen van het dijkkringgebied Alblasserdam en Vijfherenlanden. De waterkering heeft in de loop van de tijd ook een woonfunctie gekregen, aan weerszijden van de dijk staan woningen.

Een verzwaring van de dijk werd niet mogelijk geacht in verband met de bebouwing op beide taluds. Gekozen is voor een buitenwaartse verzwaring, waarbij de nieuwe waterkering 50 meter rivierwaarts opgeschoven is (zie figuur 1.2). De eerste fase betrof het aanbrengen van een laag mijnsteen op de bodem van de rivier. Van 1990 tot 1993 is de dijk versterkt door het aanbrengen van klei in lagen van ca. 0,5 meter. Tijdens de uitvoering bleek het niet mogelijk de dijk op hoogte te brengen i.v.m. gevaar voor instabiliteiten. De waterspanningen dissipeerden te langzaam, zodat de uitvoering een tijd is stilgelegd om de waterspanningen te laten dissiperen. Het maatgevende faalmechanisme bleek macroinstabiliteit van het buitentalud te zijn.



figuur 1.1: Ligging Alblasserwaard en Vijfheerenlanden.

verkeer. Het behouden van deze functies houdt niet in dat de huidige bebouwing behouden moet blijven. In het rapport wordt uitgegaan van de oude situatie, waarbij de oude dijk de waterkering vormt. Alle beschrijvingen met betrekking tot bebouwing, profielen e.d. hebben betrekking op de oude dijk. Indien er over de huidige waterkering gesproken wordt, wordt dit uitdrukkelijk vermeld.

De situatie in Alblasserdam-noord is kenmerkend voor het benedenrivierengebied d.w.z. bebouwing op de bestaande waterkering en bij aanleg van een nieuwe dijk langzame dissipatie van de waterspanningen en macroinstabiliteit als maatgevend mechanisme.

Deze locatie is gekozen omdat het hier een dijkvak betreft met een woon- en verkeersfunctie (zie foto 1.1). Door de recente verbetering van de dijk en de uitwerking in het rapport *Dijken duurzaam veilig* zijn er gegevens en rekenresultaten beschikbaar. De recente dijkverzwaring maakt het ook mogelijk een innovatieve oplossing te vergelijken met een traditionele verbetering.

In de casestudy Alblasserdam wordt een ontwerp gemaakt voor een dijkverbetering van de oude dijk, met behoud van de nevenfuncties wonen en



foto 1.1: Verkeers- en woonfunctie dijkvak Alblasserdam Noord

1.1 Situatieschets

Het dijkvak van de casestudie bevindt zich in de Alblasserwaard. Het dijkvak maakt tegenwoordig geen deel meer uit van de waterkering, omdat er eind jaren tachtig begin jaren negentig een buitendijkse dijkverlegging is gedaan. Bij de beschrijving van het gebied wordt uitgegaan van de oude situatie, dus van voor de dijkverlegging. Indien er over binnen-, buitendijs, taluds e.d. gesproken wordt heeft dit dus betrekking op de oude waterkering.



figuur 1.2: Oude en nieuwe dijk.

Het te beschouwen dijkvak ligt in de gemeente Alblisserdam, aan de Noord, tussen dijkpaal¹ 137^{+circa 180} en dijkpaal 139^{+circa 000} (zie bijlage I). De kruinhoogte van de dijk verloopt van circa NAP + 4 m bij dp 137^{+circa 180} tot NAP + 4,2 m in de buurt van dp 139. Tussen de dijk en de rivier ligt een verhoogd voorland, dat globaal op NAP + 1,5 à 2,3 m ligt. Het maaiveld aan de polderzijde loopt op richting de dijk en ligt aan de teen op ongeveer NAP + 0,5 m. In het

grootste deel van de polder ligt het maaiveld 1,5 tot 2 m onder NAP.

Over de waterkering langs de Noord loopt een regionale verbindings-/ontsluitingsweg. De weg verbindt Kinderdijk met Alblisserdam en de regio met de rijksweg A15. In Kinderdijk bevindt zich langs de Noord een industriegebied met onder andere een scheepswerf. De bedrijven op het industrieterrein maken voor de aan- en afvoer van goederen gebruik van de weg over de dijk. Langs de weg ligt een fietspad en een voetpad. Het fietspad ligt op de aansluitende stukken dijk gescheiden van de weg. Op het te beschouwen dijkvak is er geen fietspad maar een fietsstrook. Het voetpad loopt wel door en ligt op het gehele traject gescheiden van de weg. Voor de bewoners van de dijkhuizen zijn er parkeerplaatsen aangelegd, die direct naast de weg gelegen zijn.

Aan weerszijde van de dijk bevindt zich bebouwing. Aan de rivierzijde staat de bebouwing op het verhoogde voorland en op het talud van de dijk. De bebouwing bestaat grotendeels uit huizen, in één pand zit een autobedrijf, Garage van Asperen. Het talud aan de polderzijde is ook bebouwd, eveneens met voornamelijk huizen. De staat van onderhoud van de panden verschilt erg. Enkele gebouwen zijn slecht tot zeer slecht onderhouden, terwijl de meeste in goede staat van onderhoud verkeren. De karakteristieke doorsnede is weergegeven in bijlage II

Het rapport waarin de casestudy Alblisserdam uitgewerkt wordt is als volgt ingedeeld: In hoofdstuk 1, dit hoofdstuk, wordt het ontwerp ingeleid met een inleiding. Hoofdstuk 2 bevat de probleemanalyse en de probleem- en doelstelling. De randvoorwaarden en uitgangspunten worden behandeld in hoofdstuk 3, gevold door hoofdstuk 4 met het Programma van Eisen. Het vijfde hoofdstuk bevat de behandeling van het geotechnisch profiel. In hoofdstuk 6 komen de ruimtelijk functionele ontwerpen voor het dijkvak aan de orde, die in hoofdstuk 7 constructief uitgewerkt worden. Het innovatieve ontwerp wordt in hoofdstuk 8 vergeleken met de traditionele oplossing waarna in hoofdstuk 9 de conclusies getrokken worden.

¹ Op een dijk staan voor de plaatsbepaling hectometerpaaltjes. De eerste cijfers geven de hectometers aan, het superscript geeft de afwijking ten opzichte van dit paaltje aan. Door de vele dijkverleggingen in het verleden kan het zijn dat er meer dan 100 m tussen twee hectometerpaaltjes zit. De aanduiding 137⁺¹⁸⁰ geeft dus aan dat de bedoelde plaats 180 meter van dijkpaal 137 verwijderd ligt. De dijkpalen staan ook aangegeven op de kaart in bijlage I.

2. Probleemverkenning dijkvak Alblasserdam-Noord

2.1 Probleemanalyse dijkverbetering

De probleemanalyse van de waterkering in Alblasserdam bestaat uit twee belangrijke onderdelen:

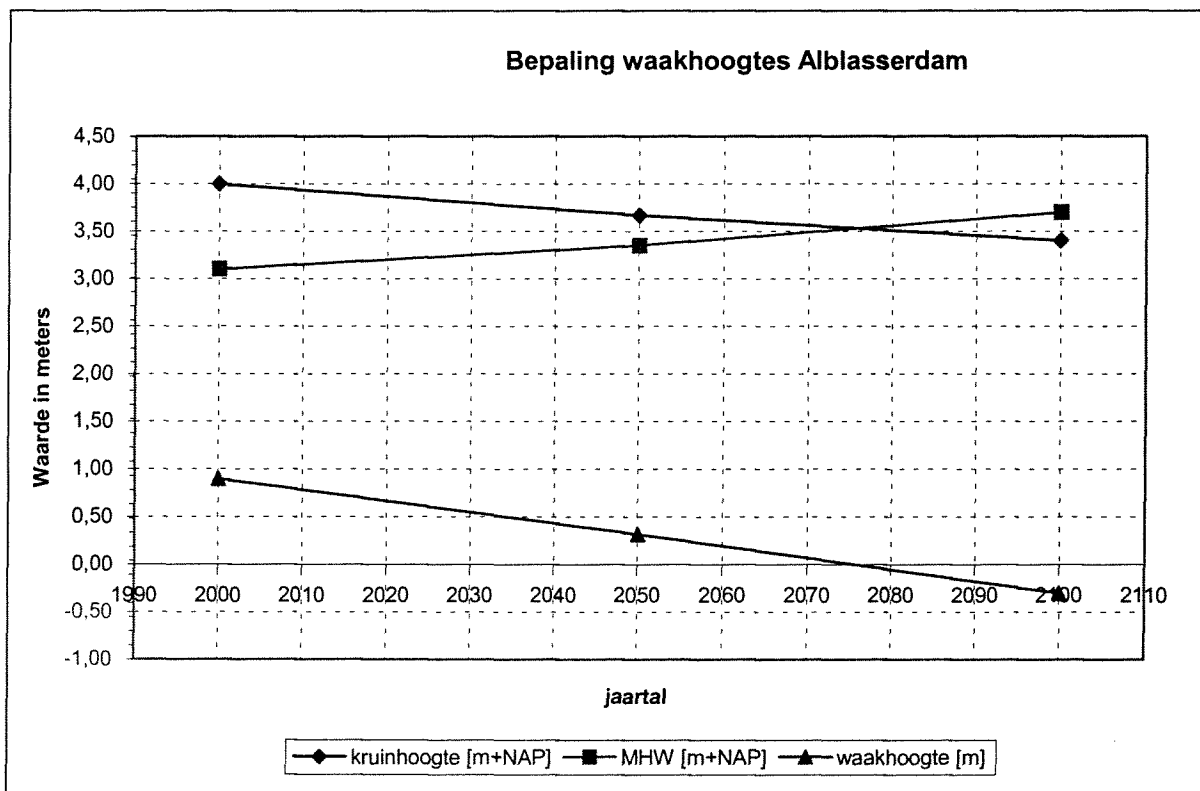
- Wat maakt de dijkverbetering noodzakelijk?
- Wat is ruimtelijk gezien de oorzaak dat een traditionele dijkversterking niet uitgevoerd kan worden?

Op de eerste vraag, wat de dijkverbetering noodzakelijk maakt, is met behulp van de literatuurstudie, het rapport *Dijken duurzaam veilig* en enig rekenwerk een antwoord te geven. Bij een dijkverbetering zijn er over het algemeen twee aspecten die aangepakt moeten worden: de kruinhoogte en de stabiliteit.

Kruinhoogte

De kruinhoogte van de dijk blijkt in de toekomst een probleem te worden. In onderstaande tabel en grafiek zijn de te verwachten MHW, de bodemdaling, de restzetting en de waakhoogte uitgezet. Indien er niets aan de waterkering gedaan wordt, is er rond 2035 een kruinhoogte probleem. De waakhoogte is dan kleiner dan 50 cm en voldoet niet meer aan de wettelijke eisen. Bij de bepaling van het kruinhoogte probleem is geen rekening gehouden met golven, omdat de golfloop bij rivierdijken meestal kleiner is dan de minimale waakhoogte van 50 cm.

	2000	2050	2100	2200
maximaal hoogwater t.o.v. NAP [m]	3,10	3,35	3,70	4,30
kruinhoogtedaling door bodemdaling [m]	0	0,23	0,45	0,90
kruinhoogtedaling door restzetting [m]	0	0,1	0,15	0,25



Stabiliteit

De dijken in de Alblasserwaard zijn bij verbeteringen in het verleden duidelijk anders uitgevoerd dan in bijvoorbeeld de Krimpenerwaard. In de Alblasserwaard zijn de taluds niet steeds steiler opgezet om ruimte te sparen, waardoor een stabiliteitsprobleem kan ontstaan. De taluds van de dijk hebben nu een helling van ongeveer 1:2,5 à 1:3, wat geen problemen oplevert.

Ruimtelijke conflictsituatie

De probleemanalyse voor de ruimtelijke situatie van het dijkvak Alblasserdam-Noord is op te delen in twee onderdelen, de oude en de nieuwe dijk. Het eerste stuk van de analyse heeft betrekking op het oude traject van de dijk, het tweede deel heeft betrekking op de buitendijkse dijkverlegging uit 1990. De nieuwe dijk wordt meegenomen in de analyse, omdat deze met een aantal grote problemen kampt.

Oude dijk

Het oude dijkvak kenmerkt zich door een dichte bebouwing op beide taluds van de dijk en een verbindingsweg over de kruin. De bebouwing heeft grotendeels een woonfunctie, maar heeft geen historische waarde. Een enkel pand huisvest een bedrijf, maar er is langs dit stuk van de dijk geen kapitaal intensieve industrie gevestigd. Buiten het profiel van de waterkering staan op het verhoogde voorland nog enkele panden. Deze panden hebben een woonfunctie of fungeren als loods en zijn evenals de gebouwen op de dijk niet historisch waardevol. Over de kruin loopt de regionale verbindingsweg die Kinderdijk verbindt met Alblasserdam en inspectie van de dijk mogelijk maakt. Kinderdijk en de bedrijven op het industrieterrein van Kinderdijk zijn voor de verbinding met de A15 afhankelijk van de dijkweg.

Nieuwe dijk

De dijkversterkingsronde van de jaren 80 leidde tot een buitendijkse verzwaring van de dijk. Het werd niet mogelijk geacht een dijkversterking te realiseren, waarbij de panden die op de dijk stonden behouden zouden blijven. Er is destijds vanuit gegaan dat niet de functie van de panden maar de panden zelf behouden moesten worden. Het aanleggen van een nieuwe dijk, ongeveer 50 m rivierwaarts ten opzichte van het oude profiel, heeft voor enkele problemen gezorgd. Het dissiperen van de waterspanningen gaat veel langzamer dan voorspeld. Het is hierdoor niet mogelijk de dijk snel op de gewenste hoogte te brengen. Een verzwaring in de toekomst is waarschijnlijk wel mogelijk, maar de wateroverspanningen blijven nog lange tijd aanwezig. Het gevolg van het langzaam dissiperen van de waterspanningen is dat noodzakelijke dijkverhogingen slechts in kleine stappen (van 0,5 m) uitgevoerd kunnen worden. De dijk verkeert langdurig in de uitvoeringsfase en biedt daardoor niet het veiligheidsniveau dat deze dijk volgens de wet moet bieden².

Het dijkvak in Alblasserdam is een probleemsituatie die kenmerkend is voor veel plaatsen in Zuid-Holland. Er is een conflictsituatie tussen waterkeren en de aanwezige woon- en transportfunctie. De aanwezigheid van de slappe ondergrond zorgt voor een extra probleem bij het ontwerpen. De buitendijkse dijkverzwaring die eind jaren tachtig, begin jaren negentig toegepast is, is ook niet gevrijwaard van problemen en met de huidige wet *Ruimte voor de rivier* in principe niet meer toepasbaar. De aanwezigheid van de buitendijkse dijkversterking maakt het wel mogelijk een vergelijking te maken tussen een innovatieve oplossing en een reeds uitgevoerde traditionele oplossing.

² Berekeningen en conclusies zijn afkomstig uit het rapport Dijken duurzaam veilig; effecten van toenemende belastingen op de waterkeringen, versie 8 17 februari 2000.

3. Randvoorden en uitgangspunten casestudy Alblasserdam

3.1 Inleiding

Aan de casestudy zijn enkele grenzen gesteld. Een deel bestaat uit randvoorwaarden, dit zijn beperkingen opgelegd door de omgeving, waaraan niet getornd mag worden. Het andere deel bestaat uit zelfgekozen beperkingen, genaamd uitgangspunten. Deze beperkingen zijn geordend en genummerd per aspect. Volgend op de randvoorwaarden en uitgangspunten komt het Programma van Eisen worden de beperkingen uit de randvoorwaarden en uitgangspunten gekwantificeerd

3.2 Randvoorwaarden

Ruimtelijke randvoorwaarden

- RR 1. Het gebied wordt gekenmerkt door slappe grond, waarin een stabiele waterkering gerealiseerd moet worden.
- RR 2. De waterkering mag geen afbreuk doen aan het winterbed van de rivier, tenzij elders compenserende maatregelen worden genomen.
- RR 3. De nieuwe waterkering mag geen verlies van functieruimten tot gevolg hebben.

Natuurlijke randvoorwaarden

- NR 1. De huidige en toekomstige maatgevende hoogwaters, moeten gekeerd kunnen worden, voor de periode van 2000 tot 2100, met een overstromingsrisico zoals vastgelegd in de Deltawet.
- NR 2. De levensduur van de waterkering dient minimaal 100 jaar te zijn. Bij het ontwerp van de constructie moet dus rekening gehouden worden met onzekerheden in voorspelling van bijvoorbeeld MHW's.
- NR 3. Tijdens de planperiode (100 jaar) zal er een doorgaande bodemdaling zijn.
- NR 4. De bodem zal ook de komende 100 jaar blijven zakken.

Technische randvoorwaarden

- TR 1. De gekozen oplossingen zullen met de hedendaagse techniek realiseerbaar moeten zijn.
- TR 2. De waterkeringen zullen het maatgevend hoogwater moeten keren, zonder daarbij stabiliteit of functie te verliezen. De waterkering mag dus niet falen en niet bezwijken.
- TR 3. De waterkering mag geen hinderlijke golfslag (terugkaatsing golven) voor de scheepvaart opleveren.
- TR 4. Onderdelen van de waterkering die niet meer bereikbaar zijn voor inspectie en/of onderhoud moeten voor de levensduur "gegarandeerd" zijn.

Functionele randvoorwaarden

- FR 1. De waterkerende functie moet ten allen tijde gewaarborgd zijn.
- FR 2. De woonfunctie die de waterkering nu vervult moet behouden blijven.
- FR 3. De verbindingsfunctie voor het wegverkeer tussen Alblasserdam en Kinderdijk moet behouden blijven.
- FR 4. Er dient parkeergelegenheid aanwezig te zijn.
- FR 5. Er moet een apart fietspad komen.
- FR 6. In de nieuwe situatie moet er ook een doorlopend voetpad zijn
- FR 7. De nieuwe waterkering moet maatschappelijk acceptabel zijn.

Economische randvoorwaarden

ER 1. De innovatieve oplossing kan alleen gerealiseerd worden indien dit extra baten oplevert, hetzij direct (financieel), hetzij indirect (woonomgeving, milieu), in vergelijking met een traditionele oplossing waarbij er aantasting van het landschap en/of de bebouwing zou optreden.

3.3 Uitgangspunten

Ruimtelijke uitgangspunten

RU 1. De nieuwe waterkering mag op maaiveld niet meer ruimte innemen dan de huidige dijk. Er wordt vanuit gegaan dat er op maaiveld geen ruimte is voor een traditionele verhoging, zodat deze beperking ook voor de innovatieve waterkering geldt.

Natuurlijke uitgangspunten

NU 1. Voor het voorspellen van de hoogwaters voor de komende eeuw wordt uitgegaan van de voorspellingen volgens het klimaatmodel dat gebruikt wordt bij het KNMI. Dit model is ook gebruikt voor het voorspellen van de hoogwaters in het rapport *Dijken duurzaam veilig*.

Technische uitgangspunten

TU 1. Er kan gebruik gemaakt worden van nieuwe technieken, mits deze vallen binnen concreet uitvoerbare technieken.

Functionele uitgangspunten

FU 1. De te realiseren waterkering zal multifunctioneel moeten zijn, met als hoofdfunctie waterkeren. De waterkerende functie mag niet ondergeschikt worden aan één van de andere functies.

3.4 Aannamen

Ruimtelijke aannamen

RA 1. Aangezien er geen dwarsprofiel van de dijk verkregen kan worden, wordt een aanname gedaan voor het dijkprofiel, dat uitgaat van een kern van klei (oude dijk, kern, uit 13^e eeuw) met enkele ophoogslagen van zand en klei. De deklagen van klei zijn bij de verschillende verbeteringen steeds verwijderd. De geometrie van het dijkprofiel is samengesteld uit gegevens afkomstig van kaartmateriaal en uit het veld.

4. Programma van Eisen waterkering Alblasserdam

In het Programma van Eisen worden alle onderdelen uit randvoorwaarden, uitgangspunten en aannamen geconcretiseerd. Onderdelen waar geen waarde aan toegekend kan worden, zijn dan ook niet terug te vinden in het Programma van Eisen. Alle factoren die invloed hebben op het ontwerp zijn terug te vinden in het Programma van Eisen.

Ruimtelijke Eisen

- RE 1. De waterkering mag geen afbreuk doen aan het winterbed van de rivier, tenzij elders compenserende maatregelen worden toegepast.
RE 2. De nieuwe waterkering mag op maaiveld niet meer dan 35 m in beslag nemen.

Natuurlijke Eisen

- NE 1. Het verwachte maatgevend hoogwater voor 2100 is NAP + 3,70 m.
NE 2. De significante golfhoogte voor het benedenrivierengebied is 0,7 m.
NE 3. De huidige waterkering is opgebouwd uit zand en klei.
NE 4. De grondopbouw ter plaatse van de waterkering bestaat uit:

grondlaag	ligging t.o.v. N.A.P.
dijkmateriaal (klei en zand)	4,0 m tot -1,0 m
klei (siltig)	-1,0 m tot -5,5 m
klei (humeus)	-5,5 m tot -6,8 m
veen	-6,8 m tot -8 m
klei (siltig)	-8 m tot -11,6 m
basisveen	-11,6 m tot -12 m
klei (siltig)	-12,0 m tot -12,5 m
pleistoceen zand	-12,5 m

De gedetailleerde uitwerking van het geotechnisch profiel staat in hoofdstuk 5.

- NE 5. De grondwaterstand onder de dijk is NAP -2 m.
NE 6. De levensduur van de waterkering dient minimaal 100 jaar te zijn vanaf de oplevering.

Functionele Eisen

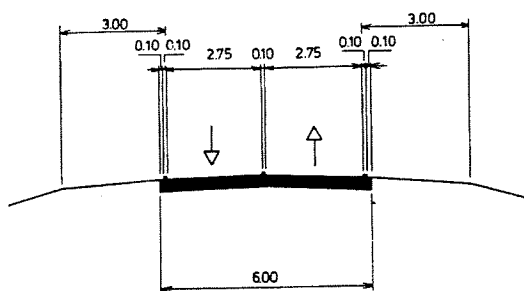
- FE 1. Er moeten minimaal 20 wooneenheden op de innovatieve waterkering komen.
FE 2. De verbindingsweg is een 1 baans weg met twee stroken.
FE 3. Het fietspad is een tweerichtingen fietspad
FE 4. De parkeergelegenheid moet ruimte bieden aan minimaal 1,2 auto's per wooneenheid.

Technische Eisen

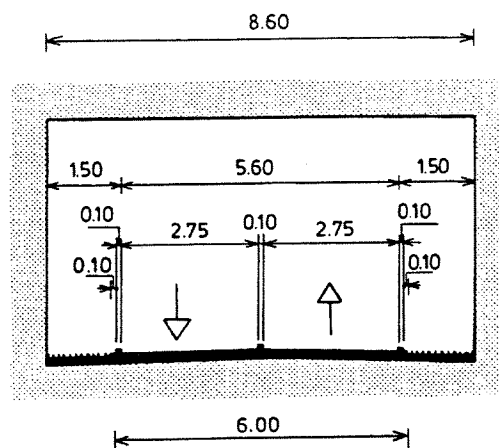
- TE 1. Het dijkvak is onderdeel van het Dijkringgebied Alblasserwaard en Vijfheerenlanden en heeft een overstromingsfrequentie van 1/2000.
TE 2. Het verwachte MHW van NAP + 3,70 m moet veilig gekeerd kunnen worden.
TE 3. de lengte van het traject is 200 m.
TE 4. Het maatgevende voertuig voor het wegontwerp is:
vrachtauto met de volgende voertuigkenmerken

lengte	15,60 m
hoogte	4,00 m
breedte	2,60 m
max. gewicht	50 000 kg

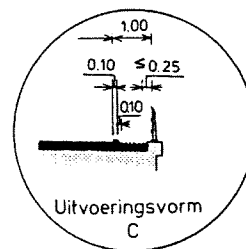
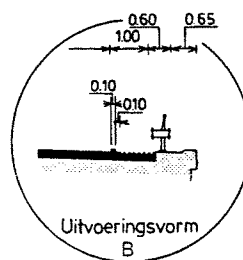
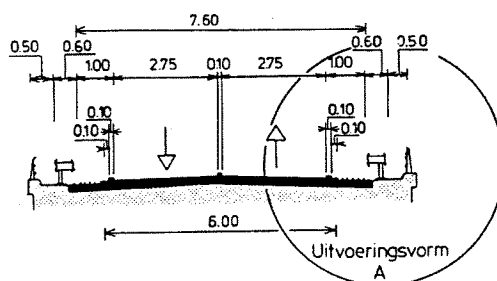
TE 4. De verbindingsweg is van klasse VI, ontwerpsnelheid 60 km/u, met dwarsprofielen afkomstig uit het RONA³.
 Dwarsprofielen voor een klasse VI weg in verschillende situaties:



figuur 4.1: Dwarsprofiel categorie VI op aardebaan.



figuur 4.2: Dwarsprofiel categorie VI in tunnel



figuur 4.3: Dwarsprofiel categorie VI op kunstwerk.

TE 5. Het maximale hellingspercentage voor de toeritten naar de tunnel is 6%.
 TE 6. Met maatgevend voertuig voor het ontwerp van de parkeergelegenheid is:
 9 persoonsbusje met voertuigkenmerken:

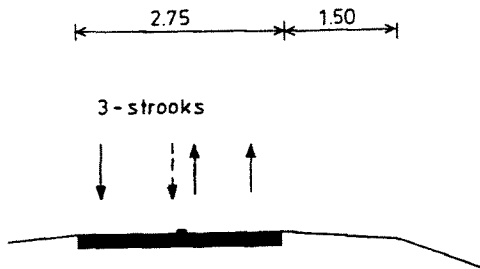
soort	9 persoonsbusje
lengte	5,5 m
hoogte	2 m
breedte	2 m
max. gewicht	3500 kg

³ RONA: Richtlijnen Ontwerp Niet Autosnelwegen.

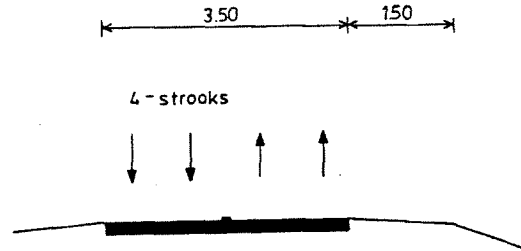
TE 7. De ontwerpafmetingen voor een fietser zijn:

breedte	0,75 m
hoogte	1,75 m

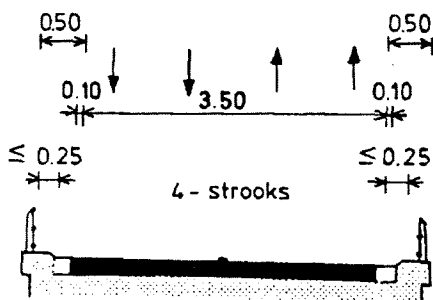
TE 8. De richtlijnen voor het ontwerp van een in twee richtingen bereiden fietspad zijn:



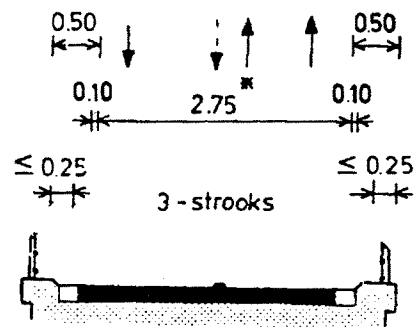
figuur 4.4: Dwarsprofiel fietspad op aardebaan met 3 rijstroken.



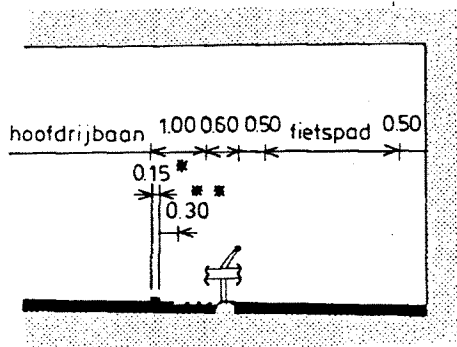
figuur 4.5: Dwarsprofiel fietspad op aardebaan met 4 rijstroken.



figuur 4.6: Dwarsprofiel fietspad op kunstwerk met 3 rijstroken.

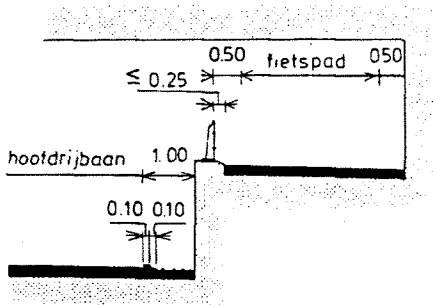


figuur 4.7: Dwarsprofiel fietspad op kunstwerk met 4 rijstroken.



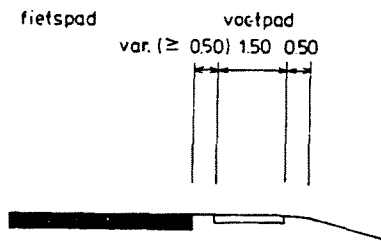
figuur 4.8: Dwarsprofiel fietspad in tunnel.

- * 0.10 m bij categorie IV, V en VI
- ** 0.35 m bij categorie IV en V
- 0.10 m bij categorie VI

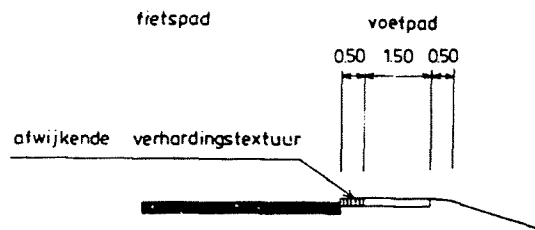


figuur 4.9: Dwarsprofiel verhoogd fietspad in tunnel.

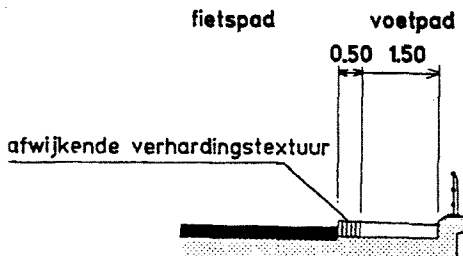
TE 9. De richtlijnen voor het ontwerp van een voetpad zijn:



figuur 4.10: Dwarsprofiel voetpad op aardebaan, vrij naast fietspad.



figuur 4.11: Dwarsprofiel voetpad op aardebaan, verhoogd naast fietspad.



figuur 4.12: Dwarsprofiel voetpad op kunstwerk, verhoogd naast fietspad.

Economische Eisen

EE 1. De innovatieve oplossing kan alleen gerealiseerd worden indien dit extra baten oplevert, hetzij direct (financieel), hetzij indirect (woon omgeving, milieu), in vergelijking met een traditionele oplossing waarbij er aantasting aan het landschap en/of de bebouwing zou optreden.

5. Geotechnisch profiel ondergrond waterkering Alblasserdam.

5.1 Inleiding karakteristiek geotechnisch profiel waterkering Alblasserdam.

Bij de uitwerking van de waterkering voor Alblasserdam wordt allereerst het geotechnisch profiel van de ondergrond uitgewerkt. Er zijn geen gegevens beschikbaar van de locatie zelf, zodat naar een andere alternatief gezocht moet worden. Van de nieuwe dijk blijken wel veel gegevens aanwezig te zijn, omdat dit een locatie is die voor veel problemen heeft gezorgd. Voor de nieuwe dijk zijn veel grondgegevens verzameld, omdat de Dienst Weg- en Waterbouwkunde vanwege de opgetreden problemen dit dijkvak uitgebreid heeft doorgerekend.

De grondgegevens zijn verzameld ter plaatse van de nieuwe dijk en in de rivierbedding. In de kaart in bijlage III is aangegeven waar de boringen en sonderingen gemaakt zijn. Veel van de sonderingen en boringen zijn in de nieuwe dijk gemaakt en daardoor niet representatief voor de case. De nieuwe dijk is uitgebouwd in de rivierbedding en vertoont daardoor dus een andere opbouw van de ondergrond dan het voorland en de oude dijk. Op de kaart in bijlage III is te zien dat sondering 19 is gemaakt in het voorland. Deze sondering zou dus goed kunnen dienen als richtlijn voor de indicatie van de grondopbouw van het voorland. Bij bestudering van de gegevens blijkt dat de sondering slecht bruikbaar is, omdat het een mechanische sondering is zonder kleef. Uit de sondering is dus slecht/niet te interpreteren wat voor soort grond aanwezig is, omdat er geen onderscheid gemaakt kan worden tussen klei en veen. Wel is af te lezen waar de draagkrachtige zandlaag begint. De gegevens uit de sondering met betrekking tot de ligging van het maaiveld zijn tegenstrijdig met het beschikbare kaartmateriaal. Na het veldonderzoek blijkt dat de aangegeven maaiveldhoogte van NAP + 5,43 m in de sondering niet klopt. Er wordt dan ook uitgegaan van gegevens op de rivierkaart, toegevoegd in bijlage I.

Voor het verder uitwerken van de case moet een grondprofiel beschikbaar zijn. Er wordt besloten gebruik te maken van de grondgegevens van de nieuwe dijk. Uit de sonderingen en boringen van de nieuwe dijk en het beschikbare kaartmateriaal en de literatuur wordt een geotechnisch profiel samengesteld. De samenstelling van het profiel zal puntsgewijs behandeld worden.

5.2 Opbouw karakteristiek geotechnisch profiel waterkering Alblasserdam.

- Het maaiveld ligt tussen NAP + 1,85 m en + 2,35 m. In het karakteristieke profiel wordt het maaiveld op NAP + 2,00 m vastgesteld.
- De ligging van de draagkrachtige zandlaag is ook geen probleem. Het pleistocene zand ligt onder het hele profiel en varieert in diepte van NAP – 14m tot – 12,5 m. Voor het karakteristieke profiel wordt het niveau uit sondering 1 aangehouden, omdat dit het dichtst bij het voorland ligt. In het karakteristieke profiel ligt het pleistocene zand op NAP - 12,5 m.
- Op de pleistocene zandlaag ligt een pleistocene kleilaag. De dikte van deze laag is ongeveer 50 cm.
- Op de pleistocene kleilaag ligt een vroeg holocene veenlaag, het basisveen. Deze laag is kenmerkend voor West-Nederland. De dikte van deze laag is ongeveer 40 cm.
- De laag die op het basisveen ligt is een siltige/zandige kleilaag. De dikte van deze laag vertoont veel variatie in het profiel ter plaatse van dp 138⁺¹⁰⁰. De dikte van de laag varieert van 60 cm bij sondering 3 tot 3,6 m bij sondering 1. De laagdikte bij sondering 1: 3,6 m, wordt aangehouden.
- De grondopbouw op de siltige/zandige kleilaag toont veel variatie. Niet alleen de laagdiktes verschillen, zoals met de kleilaag ook al het geval is, maar er bevinden zich ook verschillende grondlagen. Voor de opbouw van het lagenpakket op de kleilaag wordt uitgegaan van sondering 1. De opbouw van het pakket vertoont een aantal stoorlagen, die plaatselijk aanwezig zijn. Aangezien er geen gegevens beschikbaar zijn, die dichter in

de buurt van de dijk liggen dan sondering 1, worden de gegevens van deze sondering gebruikt voor het slappe lagen pakket.

- Op NAP – 8 tot NAP – 6,8 m ligt een veenlaag.
- Op de veenlaag, tot NAP –5,5 m ligt een kleilaag die sterk humeus is en waar stukjes veen inzitten.
- Van NAP – 5,5 m tot NAP – 1 m ligt een kleilaag die opgebouwd is uit lagen met voornamelijk klei en lagen met siltige klei met humeus of zand.
- In het rapport CO-252200/187 CO-254610/119 (gecombineerd rapport) van Grondmechanica Delft wordt het grondmechanisch onderzoek behandeld dat uitgevoerd is voor de dijkversterking van Alblasserdam Noord I en II. In dit rapport is voor het traject dp 137 ^{+circa 180} tot dp 139 ^{+circa 000} sprake van een toplaag van voornamelijk zand met daaronder een puinlaag. De dikte van de puinlaag kon niet vastgesteld worden. Aangenomen wordt dat de laag gemiddeld ongeveer een meter dik is en direct op het bij het vorige punt genoemde kleipakket ligt.
- Op de puinlaag ligt de toplaag die voornamelijk uit zand bestaat en reikt tot aan het maaiveldniveau van NAP + 2 m.

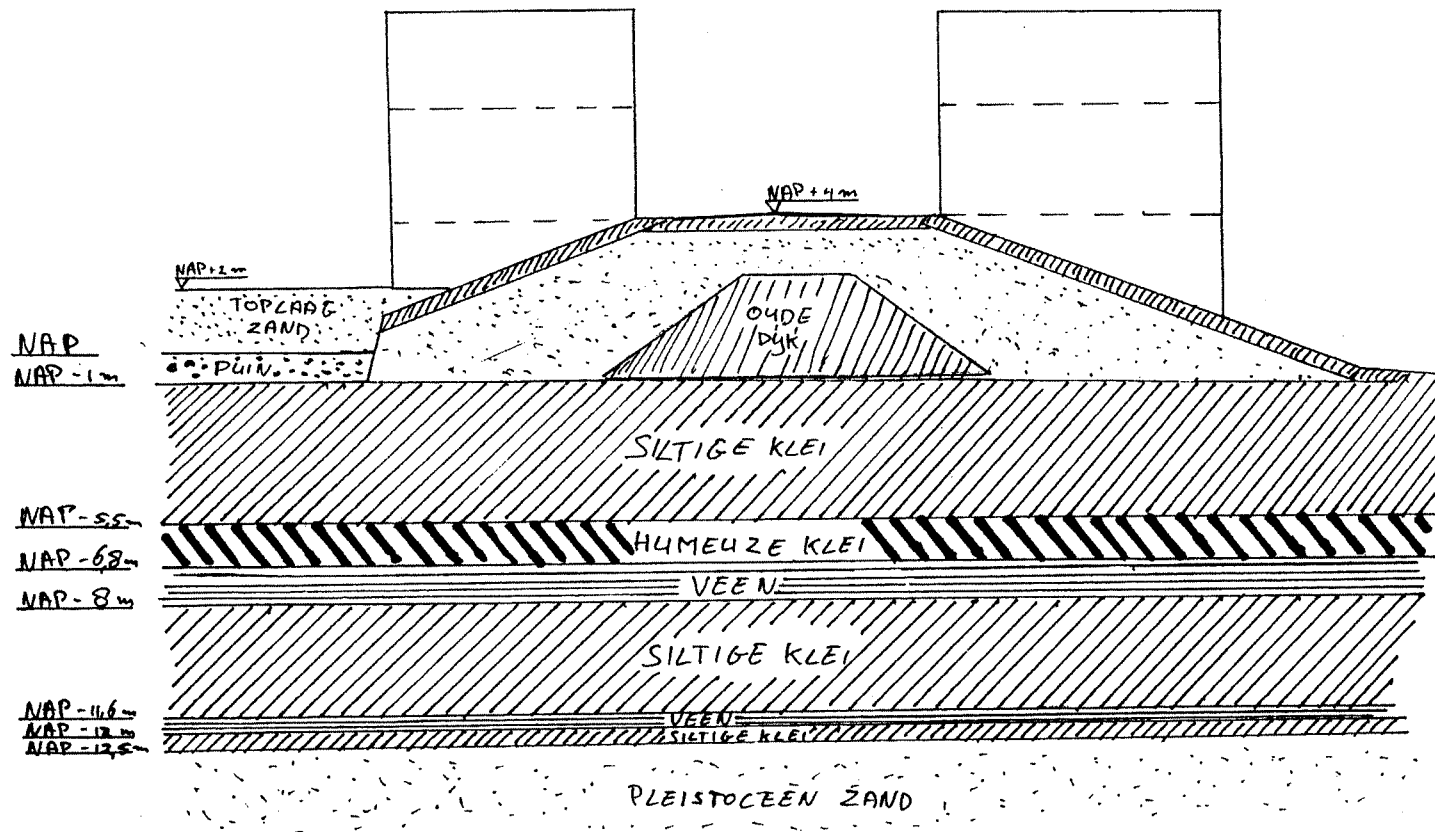
De opbouw van het karakteristieke grondprofiel is grafisch weergegeven in figuur 5.1 Behalve de opbouw van de ondergrond is het ook van belang om de grondparameters van de verschillende lagen te weten. In het rapport Case studie Alblasserdam Noord I van Grondmechanica Delft zijn de benodigde gegevens gerapporteerd.

materiaal	$\gamma_{nat}/\gamma_{droog}$ [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ' [°]	ν [-]
zand toplaag*	20/17	1	30	0,33
puin	19/17	5	35	0,45
siltige klei	17/17	5	22	0,33
klei humeus	13/13	6	19	0,35
veen	11/11	5	25	0,20
siltige klei	14/14	5	21	0,40
basisveen	12/12	5	25	0,35
siltige klei*	17/17			
pleistoceen zand	20/17	1	30	0,33

* Van deze lagen zijn geen gegevens beschikbaar, zodat er een aanname gedaan is. De aannamen zijn gebaseerd op gegevens uit CUR 162, construeren in grond en de gegevens van de andere grondlagen.

De grondopbouw van het karakteristieke profiel geldt in principe niet voor het geotechnisch profiel onder de dijk. De verschillende lagen zijn daar waarschijnlijk wel aanwezig, maar door de bovenbelasting liggen deze op een andere diepte en zijn door zettingen dunner. In principe is het mogelijk met geotechnische rekenprogrammatuur na te gaan wat de zettingen onder de dijk kunnen zijn. Er zijn alleen onzekerheden omtrent: de ligging van het oorspronkelijke maaiveld (is voorland of polder maatgevend), de opbouw van de dijk

In deze fase van het project is de precieze ligging van de lagen onder de dijk niet van belang. Duidelijk is dat de draagkrachtige zandlaag op NAP –12,5 m begint, dat er op de zandlaag klei- en veenlagen aanwezig zijn, met een wisselende samenstellingen. Indien later van belang is dat er berekeningen over de zettingen zijn, bijvoorbeeld in verband met stabiliteitsberekeningen, dan zal er nader naar het geotechnisch profiel gekeken worden.



figuur 5.1: Karakteristiek geotechnisch profiel waterkering Alblasserdam

6. Ruimtelijk functionele alternatieven waterkering Alblasserdam

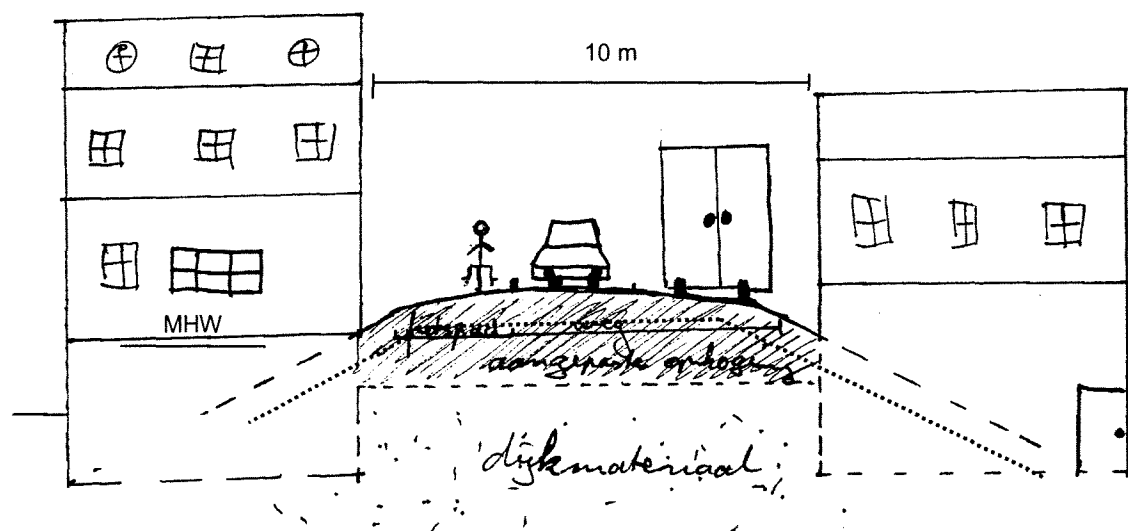
6.1 Selectie van uit te werken principeoplossingen waterkering Alblasserdam

De nieuwe waterkering voor het dijkvak langs de Noord zal eerst ruimtelijk vorm gegeven moeten worden, voordat met een technische uitwerking begonnen kan worden. Voor de ruimtelijke vormgeving zijn de functies die de waterkering moet vervullen van belang. Het gaat bij deze waterkering om een meervoudige functiecombinatie te weten: waterkeren, wonen en transport. In het eerste gedeelte van de afstudeeropdracht is een aantal alternatieven ontwikkeld, die een functiecombinatie van waterkeren met transport of waterkeren met wonen mogelijk maken. Uit de scoretabel principeoplossingen blijkt dat een aantal oplossingen geschikt is voor meervoudige functiecombinatie. Nagegaan zal worden welke oplossingen het meest geschikt zijn voor de functiecombinatie zoals die bij Alblasserdam gewenst is. Alle alternatieven uit de scoretabel zullen kort behandeld worden, zodat nagegaan kan worden of de beoordeling die in het eerste deel van dit rapport gemaakt is nog aangepast moet worden. Lokale omstandigheden kunnen reden zijn voor het afwijken van de in het hoofdrapport gepresenteerde beoordeling. Het nalopen van alle principeoplossingen geeft ook inzicht in de toepasbaarheid van de beoordeling in de scoretabel, indien van een geschematiseerde situatie over gegaan wordt naar een concreet probleemgeval.

Bij de uitwerking zijn snelle schetsen van een mogelijke oplossing gepresenteerd. In de schetsjes is de het oude dijkprofiel aangegeven, zodat een goede indruk van de verandering wordt verkregen.

6.1.1 Dijk met aangepaste ophoging

Het uitvoeren van de aangepaste ophoging is alleen mogelijk indien de weg en de bebouwing tijdelijk gesloopt worden. De bebouwing staat dusdanig dicht tegen de kruin aan, dat er geen verhoging van de dijk mogelijk is zonder afbraak. Na het uitvoeren van de dijkverbetering kan de weg weer over de kruin gelegd worden en zouden er weer huizen op de taluds gebouwd kunnen worden. Een principeschets van een dwarsdoorsnede van deze oplossing is weergegeven in figuur 6.1.



figuur 6.1: Aangepaste ophoging.

De zekerheid van waterkeren moet op hetzelfde niveau gebracht kunnen worden als bij een traditionele ophoging het geval was geweest. De situatie van de functiecombinatie verbeterd niet ten opzichte van de huidige situatie. Voor de meervoudige functiecombinatie geldt dat

deze niet alleen afhankelijk is van de functies wonen en transport, maar op basis van deze functies zou er een neutrale score zijn.

De flexibiliteit van de waterkering is verbeterd, omdat de nieuwe dijk minder belasting op de ondergrond geeft dan de traditionele ophoging in zand. Door deze geringere belastingtoename is er met de aangepaste ophoging een grotere verhoging mogelijk. Dit is dus beter dan bij de oude waterkering.

De functieruimte van de dijk is beter te gebruiken, omdat er door het aangepaste ophoogmateriaal geen of minder ruimte gebruikt hoeft te worden voor het aanleggen van een stabiliteitsberm of een verflauwing van het talud. Bij een traditionele oplossing gaat een deel van de beschikbare ruimte verloren aan de functie waterkeren. Bij de inrichting van de ruimtes moet men wel rekening houden met het effect op de waterkering (stabiliteit van de taluds, zakkingen ondergrond, e.d.). De flexibiliteit van de functieruimte scoort in principe beter dan bij een traditionele oplossing.

De landschappelijke inpassing van de dijk met aangepaste ophoging verschilt niet wezenlijk van de oude dijk. De waterkering blijft qua aanzicht hetzelfde en scoort dus een 0.

Conclusie.

De aangepaste ophoging is geen goed alternatief voor Alblasserdam, omdat het probleem met de bebouwing en de weg op de dijk de volgende dijkversterkingsronde weer terug komt. Het is in dit geval geen duurzame oplossing.

6.1.2 Dijk met verbeterde ondergrond

Bij de dijk met verbeterde ondergrond moeten, afhankelijk van de uitvoering, de bestaande bebouwing en wegconstructie wel of niet afgebroken worden. Voor de uiteindelijke situatie hoeft dit geen verschil te maken. De woonfunctie en de transportfunctie moeten in de nieuwe situatie vervuld worden en dan maakt het niet zo heel veel uit of dit met hergebruik van bestaande constructies gebeurt of met nieuwbouw. Voor de verbeterde ondergrond geldt dat oplossingen met groutinjecties e.d., zodat de grond "opgekrikt" wordt, technisch nog niet haalbaar zijn in een gebied met klei en veen. Bovendien is maar weinig controle over het proces mogelijk. De resultaten van de verbetering zijn alleen indirect te controleren door de stijging van het maaiveld.

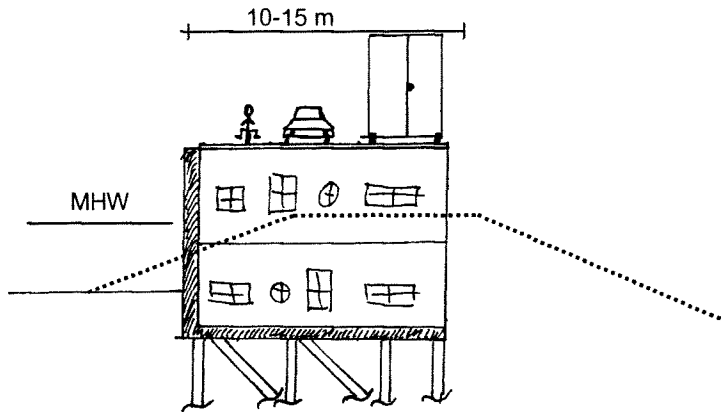
Een andere invulling van de verbeterde ondergrond is de aanleg van een holle constructie in de dijk. Deze holle constructie zorgt voor een vermindering van de ondergrondbelasting, waardoor de dijk hoger kan worden. De constructie kan niet op palen gefundeerd worden, vanwege piping en onderloopsheid. Door de holle constructie kan alleen licht transport plaatsvinden.

Conclusie.

Voor de casestudy Alblasserdam is een dijk met verbeterde ondergrond geen bruikbare oplossing, omdat deze oplossing het probleem van de functiecombinatie wonen, wegtransport en waterkeren niet beter (of goedkoper) oplost dan een traditionele dijkverbetering.

6.1.3 L-muur

De L-muur is een oplossing voor de waterkering die geen gebruik meer maakt van de oude dijk. De oude waterkering en de daarop staande bebouwing wordt gesloopt, de functies waterkeren, wonen en transport worden daarna vervuld in de nieuwe constructie. De voet van de L-muur biedt ruimte voor bebouwing, waar de functies transport en wonen vervuld kunnen worden. Bij het ontwerp van de L-muur moet, vooral bij de fundering, rekening gehouden worden met de belastingen die afkomstig zijn van de nevenfuncties. Een mogelijke ruimtelijke vormgeving van de L-muur in Alblasserdam is weergegeven in figuur 6.2 .



figuur 6.2: L-muur.

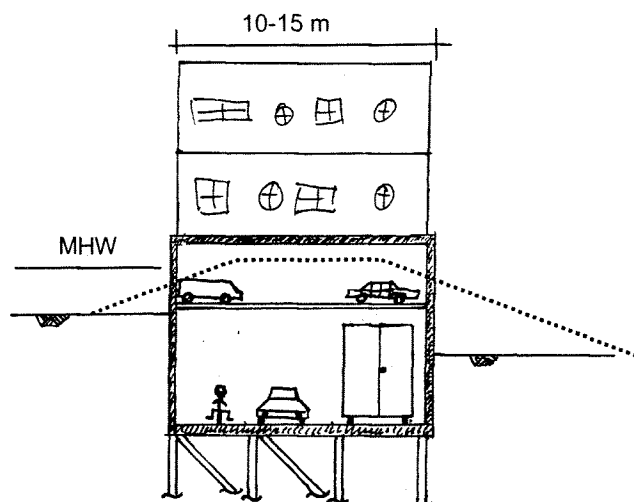
De zekerheid van waterkeren is bij de L-muur beter dan bij de dijk, omdat er minder onzekerheden in het materiaal zitten waar mee gewerkt wordt. Bovendien bevat het doorrekenen van een harde constructie minder onzekerheden dan een grondconstructie. De functies wonen en transport kunnen prima vervuld worden in de opbouw op de voet. Een meervoudige functiecombinatie is mogelijk, door de vormgeving van de constructie die op de voet gebouwd kan worden. De flexibiliteit van de waterkering is beperkt tot de waterstanden uit het ontwerp. Een verhoging van de L-muur is alleen mogelijk indien hier bij het ontwerp rekening mee gehouden is. Tot de grenshoogte uit het ontwerp is een verhoging goed mogelijk, daarboven niet meer. De flexibiliteit van de functieruimten is groot. Bij het ontwerp is de inrichting van de functieruimten vrij vorm te geven, in latere fasen is de inrichting gebonden aan de maximale belasting op de fundering, die in het ontwerp vastgelegd is. De landschappelijke inpasbaarheid van de L-muur is slechter dan die van een dijk. De kering zelf biedt geen mogelijkheden tot verwerking in een stedelijke structuur of opname in de omgeving. De constructie is wel goed aan te passen door de opbouw op de voet af te stemmen op de omgeving.

Conclusie

De L-muur is een goede oplossing voor de dijkverbetering in Alblasterdam, omdat het probleem met de functiecombinatie opgelost wordt. Het gebruik van de functieruimte is in de toekomst aan te passen evenals de hoogte van de waterkering.

6.1.4 Doosconstructie

Een oplossing waar het nevengebruik echt geïntegreerd kan worden in de constructie van de waterkering, is de doosconstructie. In de waterkering is een holle ruimte die gebruikt kan worden voor bijvoorbeeld transport(tunnel). Op de waterkering kan er ook een functie vervuld worden. Voor Alblasterdam zou een indeling met verkeer in en woonruimte op de kering een mogelijke oplossing voor de waterkering zijn. Bij de doosconstructie moet de bestaande bebouwing en waterkering wel gesloopt worden. In de schets in figuur 6.3 is een mogelijke oplossing weergegeven.



figuur 6.3: Doosconstructie.

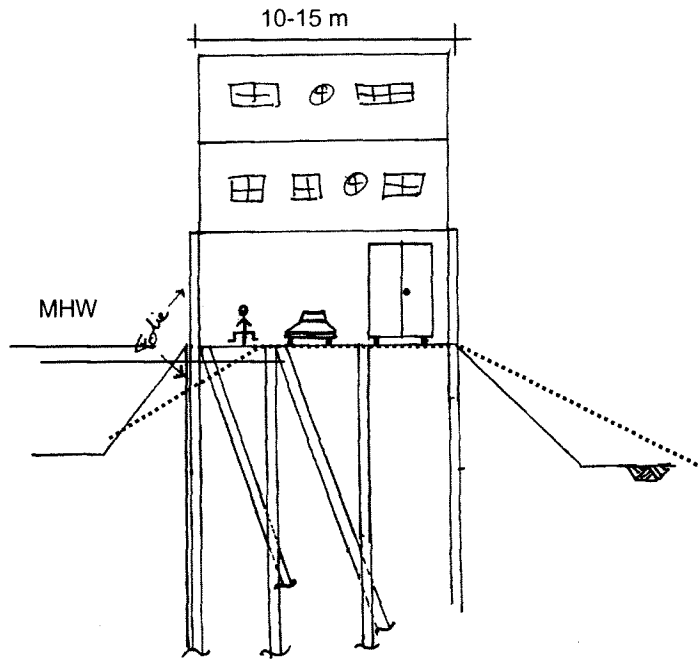
De zekerheid van waterkeren komt overeen met de L-muur, en zal niet verder uitgewerkt worden. De woonfunctie kan vervuld worden in of op de kering. Voor de transportfunctie geldt hetzelfde als voor de woonfunctie. Meervoudige functiecombinatie is zeer goed mogelijk bij de doosconstructie. Eerder is al aangegeven dat er in en op de kering ruimte is om nevenfuncties te vervullen. De flexibiliteit van de waterkering is aan dezelfde beperkingen gebonden als die van de L-muur, met bijkomend probleem dat er een extra constructie op de doos gezet moet worden, omdat verhogen van de doos niet mogelijk is. De functieruimten zijn na de bouw gebonden aan bepaalde afmetingen (lengte en breedte) en de ruimte in de doos is ook gebonden aan de maximale hoogte van de constructie. Ook de belastingen die voortkomen uit het gebruik van de functieruimten zijn na de bouw gebonden aan de maximale waarden waar in het ontwerp rekening mee gehouden is. De functieruimten zijn na de bouw van de doos dus niet meer volledig vrij in te richten. De landschappelijke inpasbaarheid van de kering hoeft geen probleem te zijn. Het ontwerp kan zodanig vorm gegeven worden dat de kering goed in de omgeving past.

Conclusie

De doosconstructie is net als de L-muur goed toepasbaar voor de gewenste functiecombinatie waterkeren, wonen en transport. De doosconstructie is uitermate geschikt voor meervoudige functiecombinatie, omdat de waterkering in en op de constructie ruimte biedt voor het vervullen van andere functies

6.1.5 Folie

Het principe van een folie als waterdichting en een ondersteunende constructie voor de afvoer van de krachten is in Alblasserdam te gebruiken. De woonfunctie en de verkeersfunctie kunnen in de constructie geïntegreerd worden. In figuur 6.4 is een mogelijke vorm geschetst.



figuur 6.4: Folie.

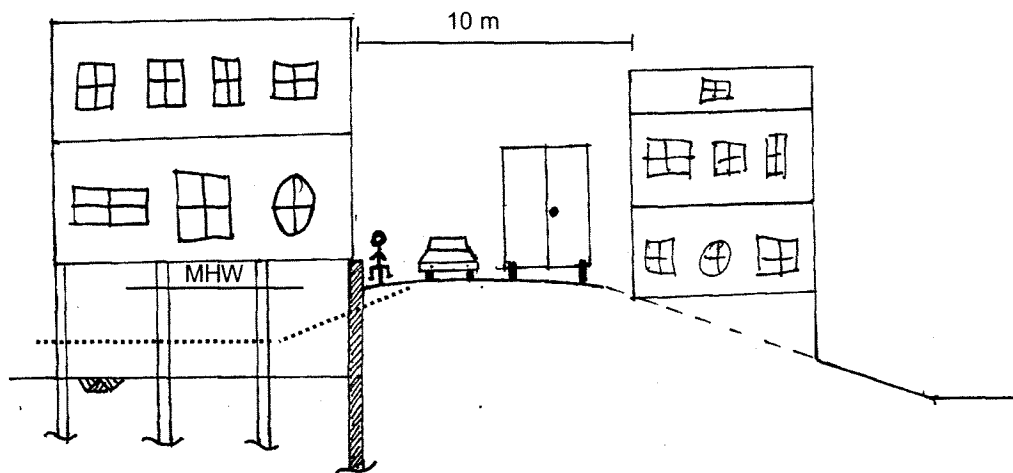
De zekerheid van waterkeren is goed, maar net iets minder dan die van de L-muur en de doosconstructie, omdat het folie gevoeliger is voor beschadigingen. Indien het folie beschadigd wordt, is de waterkering niet meer waterdicht. De woon en verkeersfunctie zijn goed te vervullen door gebruik te maken van de ondersteunende constructie van de waterkering. Binnen de grenzen van het ontwerp lijkt het goed mogelijk de kering aan te passen aan hogere te keren waterstanden. Enigszins onzeker is of en hoe het folie verlengd kan worden. Tijdens het ontwerp kan er met een aantal gevolgen van het gebruik van de functieruimten rekening gehouden worden. Na de bouw gelden er net als bij de doosconstructie beperkingen. Voor de ruimte boven op de kering geldt dat deze beperkingen stelt aan de lengte en breedte en is er sprake van een maximale belasting. Voor de ruimte in de constructie geldt ook nog een beperking voor de beschikbare hoogte. Na de bouw zijn de ruimtes dus niet meer vrij in te richten. Voor de landschappelijke inpasbaarheid van de folie-waterkering geldt hetzelfde als voor de doosconstructie. Met een goed ontwerp hoeft de landschappelijke inpasbaarheid geen probleem te zijn.

Conclusie

Het alternatief met het folie als waterkering is in Alblasterdam ook toepasbaar, alleen moet er bij het ontwerp van de ondersteunende constructie rekening gehouden worden met de eisen van de vrije ruimte die er voor de verkeersfunctie nodig is.

6.1.6 Diepwand

De oplossing met de diepwand alleen is niet voldoende voor Alblasterdam. De huidige dijk is niet hoog genoeg, en er zal op de diepwand dus nog een "muurtje" nodig zijn. In figuur 6.5 is te zien dat de bebouwing dusdanig dicht tegen de weg aan staat, dat het niet mogelijk is een diepwand te bouwen zonder de bebouwing aan één van de twee zijden van de straat te slopen. Hiermee gaat gelijk één van de voordelen van de diepwand verloren, omdat er wel gesloopt moet worden. Het is wellicht mogelijk om in de nieuwbouw de diepwand te gebruiken als fundering van één van de muren.



figuur 6.5: Diepwand.

De zekerheid van waterkeren is bij de diepwand beter dan bij een dijk, omdat er minder variatie in de materiaaleigenschappen zit. Bij een dijk (grondconstructie) is de spreiding in de eigenschappen van het materiaal redelijk groot, bovendien zitten er nog altijd onzekerheden in de sterkteberekeningen van een dijk. De diepwand bestaat uit een betonconstructie, die beter te berekenen is dan een grondconstructie, al is de krachtsafdracht nog steeds via de grond. De waterdichtheid en erosiebescherming worden verzorgd door het beton. De woonfunctie is bij de diepwand iets beter in te vullen dan bij een traditionele dijk, omdat de woningen nu eventueel onderheid kunnen worden. Het grondmassief aan de binnenzijde is nog wel nodig voor de krachtsafdracht, maar daar mogen wel palen in staan. Voor de rivierzijde van de diepwand geldt dat het grondmassief eigenlijk niet meer nodig is, zodat daar ook woningen gebouwd en onderheid kunnen worden. Voor de transportfunctie geldt dat deze niet veel zal veranderen, omdat de kruin naar verwachting niet veel breder zal worden, dus ook de weg niet. De diepwand voegt door zijn constructie niets toe aan de mogelijkheid om meerdere functies te vervullen. De score is wat dat betreft dan ook neutraal ten opzichte van een traditionele waterkering. De flexibiliteit van de waterkering is beperkt tot de maximale hoogte uit het ontwerp. Bij het ontwerp van de diepwand wordt een keuze gemaakt voor de maximaal te keren waterstand. Tot deze waterstand is de diepwand "flexibel" dat wil zeggen makkelijk aan te passen. Indien er een hogere waterstand gekeerd moet worden kan de diepwand niet meer aangepast worden, dus is dan niet meer flexibel. De functieruimten naast de diepwand zijn vrij te gebruiken, mist de grond aan de polderzijde van diepwand maar blijft liggen. Deze grond is nodig voor de krachtafdracht van de diepwand. Wat de landschappelijke inpassing betreft geldt dat die hetzelfde is als bij een gewone dijk. Het aanbrengen van diepwand geeft geen extra mogelijkheden voor bijvoorbeeld aanpassing aan een stedelijke omgeving.

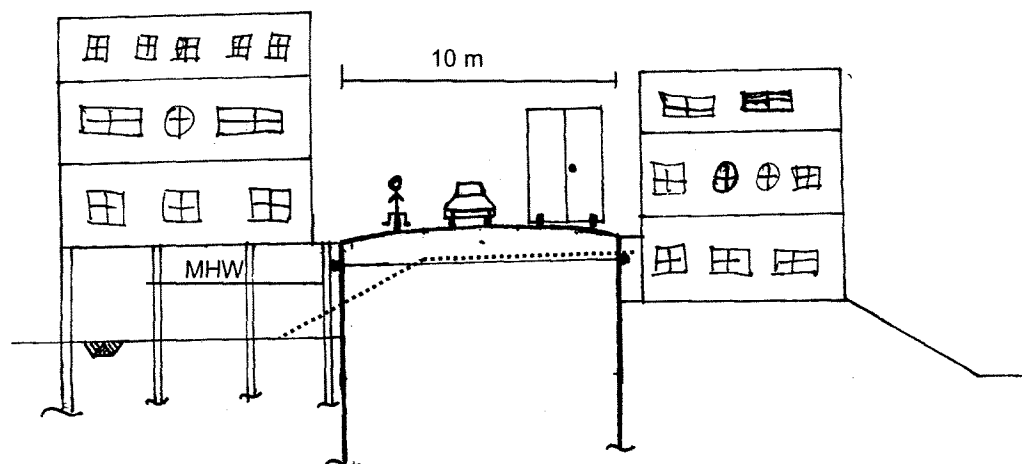
Conclusie

De oplossing met de diepwand kan toegepast worden in Alblasterdam, Een belangrijk voordeel van de diepwand dat normaalgesproken geldt, het niet hoeven slopen van aanwezige bebouwing, gaat verloren. Deze consequentie maakt het toepassen van de diepwand niet aantrekkelijk.

6.1.7 Kistdam

Een oplossing met de kistdam geeft iets meer mogelijkheden dan de oplossing met de diepwand. De transportfunctie kan over de kistdam plaats vinden, zodat er een integratie van constructies is. Voor de woonfunctie is de combinatie met de diepwand niet zo goed/makkelijk mogelijk. Voor de woonfunctie geldt wel dat de kistdam geen grond aan weerszijde van de constructie nodig heeft, zodat er geen (constructieve) beperkingen aan

het gebruik van de ruimte is. De functieruimtes zijn dus ook veel flexibeler in te richten dan bij een dijk. Voor de bouw van de kistdam is het wel noodzakelijk dat op minstens één talud de bebouwing gesloopt wordt, anders is er niet genoeg ruimte beschikbaar. Een mogelijke toepassing van de kistdam voor de case Alblasserdam is geschetst in figuur 6.6.



figuur 6.6: Kistdam.

De flexibiliteit van de waterkering is beperkt. Het verhogen van de damwand is slechts mogelijk onder dezelfde beperkingen als de diepwand. Verhogen is mogelijk tot die hoogte die in het ontwerp is gebruikt en in dat opzicht dus minder flexibel dan een dijk. Indien de kistdam verhoogd moet worden, moet de weg die er op ligt tijdelijk afgebroken worden. De landschappelijke inpasbaarheid van de kistdam is niet zo goed als bij een traditionele dijk. Er zullen extra maatregelen genomen moeten worden om de waterkering in een dijklandschap of een stadsgezicht in te passen, want de kistdam zelf biedt hier geen mogelijkheden voor.

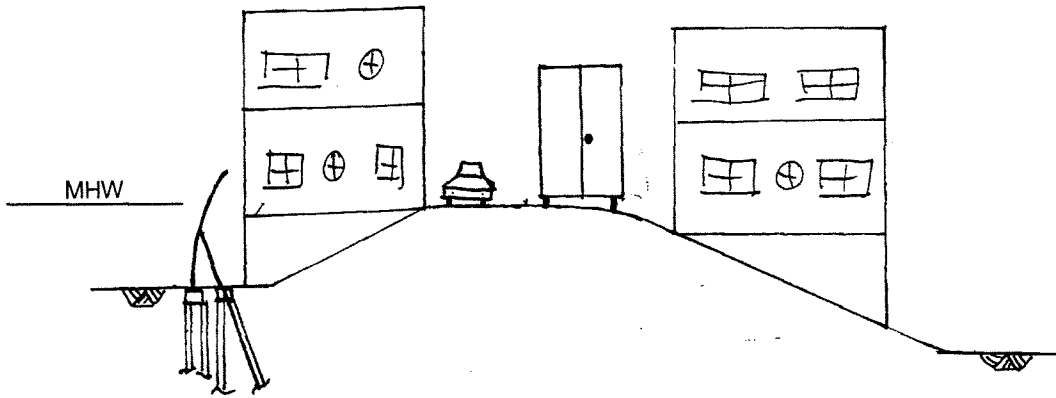
Conclusie

Voor de bouw van de kistdam is het nodig dat op tenminste één talud de bebouwing gesloopt wordt. De nieuwbouw kan echter geen gebruik maken van de constructie van de kistdam. De kistdam maakt dus wel een combinatie van waterkeren en transport mogelijk, maar geen combinatie met wonen. Het toepassen van de kistdam is wel mogelijk, maar biedt weinig voordelen ten opzichte van een traditionele dijkversterking met sloop van de bebouwing.

6.1.8 Wand

De wand is op het dijkvak in Alblasserdam alleen zinvol toe te passen indien de constructie aan de rivierzijde van de buitendijkse bebouwing gemaakt wordt. De wand vormt anders een fysieke scheiding tussen de huizen en de weg. De scheiding zou doorbroken kunnen worden door het aanbrengen van deuren in de wand, maar dit vraagt een uitgekiend systeem, zodat de deuren met hoogwater automatisch sluiten. Dit zal naar verwachting een dusdanig grote kostenpost worden, dat dit alternatief niet haalbaar wordt geacht.

De wand aan de rivierzijde van de bebouwing is misschien wel een realiseerbare oplossing, maar er is weinig meerwaarden ten opzichte van de reeds uitgevoerde oplossing, een buitendijkse dijkverlegging. De stabiliteitsproblemen die nu optreden bij de nieuwe dijk, treden bij de wand niet op. In dat opzicht heeft de wand weldegelijk een meerwaarde. De wand zal naar alle waarschijnlijkheid meer gaan kosten dan de dijk en een barrière vormen. Een dijkverbetering door toepassing van een wand wordt niet realistisch geacht voor Alblasserdam, zodat deze niet verder wordt uitgewerkt.



figuur 6.7: Wand.

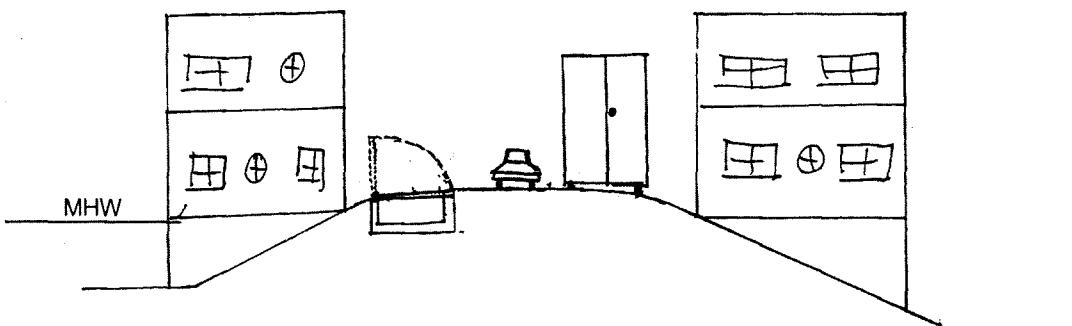
Conclusie

De buitendijkse verlegging van de waterkering vraagt compenserende maatregelen om de oplossing haalbaar te achten binnen de voorwaarden die gesteld zijn in de richtlijn *Ruimte voor de rivier*. De wand vormt ook een grote barrière tussen het gebied voor en achter de dijk. De wand wordt niet gezien als haalbare optie voor de waterkering in Alblasserdam.

6.1.9 Klepkering

De klepkering is een oplossing die goed toegepast kan worden op plaatsen waar weinig ruimte is. Een combinatie van de klepkering met transport is goed mogelijk doordat het transport over de klep plaats kan vinden. De klep wordt alleen in gebruik gesteld als er hoogwater dreigt of is, maar ligt de rest van de tijd horizontaal. In de perioden dat de klep niet wordt gebruikt als waterkering kan hij gebruikt worden als verkeersweg. De verbindingsweg die over de waterkering loopt is een ontsluitingweg voor Kinderdijk en het industrieterrein daar. De enige andere mogelijkheid om Kinderdijk te verlaten/bereiken is via een aantal kleinere wegen door de polder, of dwars door Alblasserdam. Beide alternatieven zijn niet ideaal, maar geen reden om de oplossing met de klepkering op voorhand niet haalbaar te achten.

De huidige waterkering in Alblasserdam hoeft niet geheel verwijderd te worden. De klepkering kan als aanvulling op de huidige waterkering geplaatst worden. Doordat de klep op de dijk gebouwd kan worden blijven de afmetingen beperkt. Een mogelijke oplossing voor de klepkering in Alblasserdam is weergegeven in figuur 6.8.



figuur 6.8: Klepkering.

De zekerheid van waterkeren van de klepkering is minder dan die van een vaste constructie. De beweegbare kering heeft mechanische onderdelen die kunnen weigeren, of er kan een gewicht op de kering staan waardoor deze niet omhoog kan. Een ander probleem is de onderlinge aansluiting van de kleppen. Deze aansluitingen dienen waterdicht te zijn, gedurende de gehele hoogwaterperiode. De combinatie van waterkeren en transport is goed vorm te geven bij de klepkering, doordat het transport over de klep kan plaatsvinden. Een combinatie van waterkeren en wonen is moeilijker, omdat de kering zelf geen mogelijkheid tot integratie biedt. Een meervoudige functiecombinatie met de klepkering is niet mogelijk, omdat de het een beweegbare constructie is, en daardoor geen steun kan bieden aan constructies ten behoeve van andere functies. De enige functie die gecombineerd kan worden met de klep is de transportfunctie.

De flexibiliteit van de waterkering is erg klein. De afmetingen van de kleppen en de hydraulische constructie hangen nauw met elkaar samen. Ook de afmetingen van de bak waar de kering in rust is afhankelijk van de kleppen en de hydraulische constructie. Een aanpassing van de kleppen, zodat een hogere waterstand gekeerd kan worden, is alleen mogelijk met zeer grote aanpassingen. De functieruimten naast de klepconstructie zijn vrij in te richten, zolang er geen "overhang" over de waterkering is. Het ruimtegebruik op de kering is aan zeer strenge eisen verbonden en slechts onder bepaalde voorwaarden mogelijk. De landschappelijke inpasbaarheid van de kering is goed, omdat deze alleen zichtbaar is als hij in gebruik is. In de overige perioden is de kering niet zichtbaar en daardoor makkelijk inpasbaar in de omgeving.

Conclusie

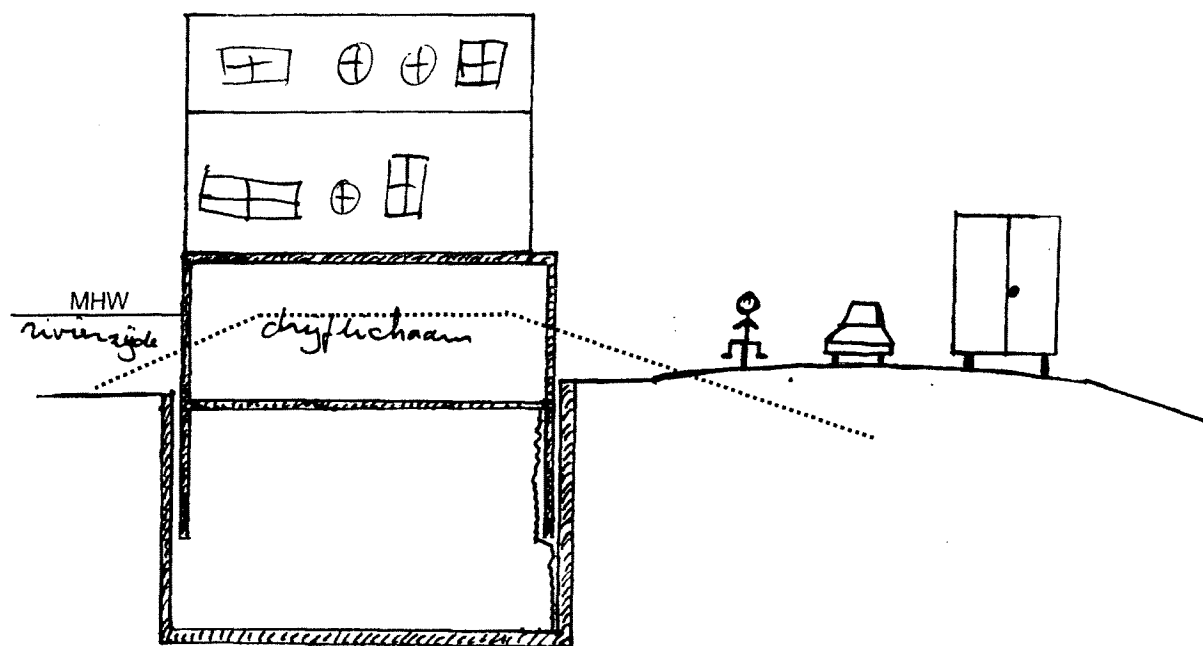
Een probleem bij de kleppenkering is de zekerheid van waterkeren. De kleppen komen in de weg te liggen, waarover zware vrachtauto's rijden (en dus ook stil kunnen staan). Door de woonfunctie van de dijk staan er ook vaak personenauto's geparkeerd. De geparkeerde of stilstaande (vracht)auto's maken het sluiten van de kering onmogelijk. Een ander probleem is de zakking van het grondlichaam van de dijk. Deze zal in de toekomst blijven zakken, terwijl de bak en de klepkering op hoogte blijven, omdat dit deel van de kering op palen is gefundeerd. De klepkering is dus geen goede oplossing voor de waterkering in Alblasserdam.

6.1.10 Hefconstructie

Een oplossing met een hefconstructie is alleen mogelijk indien de huidige dijk voor een groot deel verwijderd wordt. De bak die voor het opdrijven van de constructie moet zorgen, moet een minimale waterdiepte hebben, voordat deze gaat drijven. Op de drijvende delen van de constructie zouden woningen gebouwd kunnen worden. Op de ruimte die achter de waterkering vrij blijft kan de transportfunctie vormgegeven worden. Een mogelijke oplossing voor het dijkvak in Alblasserdam is geschetst in figuur 6.9.

De zekerheid van waterkeren is bij de hefconstructie ook minder dan die bij een vaste waterkering. De kering moet eerst in gereedheid worden gebracht, voordat deze water kan keren. De functie wonen kan gerealiseerd worden door te bouwen op de drijvende bakken. Het transport kan alleen naast de kering plaats vinden, omdat bij verkeer over de drijvende delen de aansluitingen problemen geven. de aansluitingen hebben een bepaalde breedte die overbrugd moet worden, en er kunnen hoogteverschillen ontstaan. Afhankelijk van de belasting zal de ene bak dieper in het water liggen dan de andere. Meervoudige functiecombinatie is slecht haalbaar bij de hefconstructie, omdat de weg eigenlijk niet over de kering heen kan lopen. De flexibiliteit van de waterkering is zeer goed, in ieder geval tot de ontwerpwaterstanden. Bij hogere MHW's drijft de bak gewoon iets verder op. Voor waterstanden boven het maximale peil uit het ontwerp is de flexibiliteit moeilijk in te schatten, maar het lijkt mogelijk de waterkering aan te passen aan waterstanden die hoger zijn dan de maximale ontwerpwaterstand. Voor de flexibiliteit van de functieruimten geldt dat de ruimten op de kering vrij in te richten zijn, mits het maximale gewicht uit het ontwerp niet overschreden wordt. Er blijken alleen wel wat praktische bezwaren, bijvoorbeeld met de

verkeersfunctie. De landschappelijke inpasbaarheid van de hefkering is beter dan die van een gewone dijk. De hefconstructie biedt extra mogelijkheden om de waterkering te integreren in de omgeving.



figuur 6.9: Hefconstructie

Conclusie

De hefconstructie is ook een beweegbare kering, maar heeft niet de problemen van de klepkering. De waterkering hoeft niet vrij te zijn van bebouwing of auto's o.i.d. De waterkering moet echter net als bij de klepkering in gereedheid worden gebracht, wat een extra faalmechanisme met zich meebrengt. Een ander probleem is dat de waterkering buitendijks versterkt wordt, wat problemen oplevert met Ruimte voor de Rivier. Een derde probleem betreft de vele beweegbare delen van de waterkering. Alle aansluitingen voor de huizen moeten flexibel zijn, er is een waterdicht doek nodig, de bak moet voldoende drijfvermogen hebben, en moet regelmatig geïnspecteerd worden enz. De waterkering zal naar verwachting ook duur zijn. In een stedelijke omgeving als Rotterdamse Maasboulevard is de kering misschien wel op zijn plaats, maar in Alblasserdam niet.

6.2 Conclusie

Na de eerste uitwerking van de principeoplossingen is duidelijk geworden dat de beoordeling uit de scoretabel op bijna alle punten overeenkomt met de beoordeling zoals die in het hoofdrapport is gemaakt. Uit de scoretabel is af te lezen dat er drie alternatieven zijn die hoog scoren op zowel de woonfunctie als de transportfunctie. Deze drie alternatieven, de L-muur, de doosconstructie en het folie lijken voor Alblasserdam ook de beste oplossingen. Er wordt voldaan aan het vervullen van de drie functies waterkeren, wonen en transport en de meervoudige functiecombinatie is mogelijk. Het probleem van de slappe ondergrond wordt ondervangen door het toepassen van een paalfundering. In het volgende hoofdstuk, worden de principe oplossingen verder uitgewerkt door goede ruimtelijke ontwerpen te maken. Nadat deze ontwerpen gemaakt zijn, zal er gekozen worden welke oplossing definitief vorm gegeven wordt.

tabel 6-1: Scoretabel Alblaserdam.

Code	Oplossing	Schets	Zekerheid van waterkering	woonfunctie	transportfunctie	Meervoudige functiecombinatie	Flexibiliteit waterkering	Flexibiliteit functieruimte	Uitvoerbaarheid	Landschappelijke inpassing
I-a	Dijk met aangepaste ophoging		○	○	○	-	+	+	+	++
I-b	Dijk met verbeterde ondergrond		-	-	○	○	+	+	--	++
II-a	L-muur		++	++	○	+	○	+	○	+
II-b	Doosconstructie		++	++	++	++	-	○	○	+
II-c	Folie		+	++	○	+	○	+	-	○
II-d	Wand		-	○	○	○	-	++	-	+
III-a	Diepwand		+	○	○	-	-	+	+	-
III-b	Kistdam		+	○	+	-	-	++	++	-
IV-a	Klepkering		--	○	-	--	--	○	--	+
IV-b	Hefconstructie		-	+	-	--	○	○	--	○

6.3 Ruimtelijk functionele vormgeving alternatieven waterkering Alblasserdam

6.3.1 Inleiding vormgeving waterkering Alblasserdam Noord

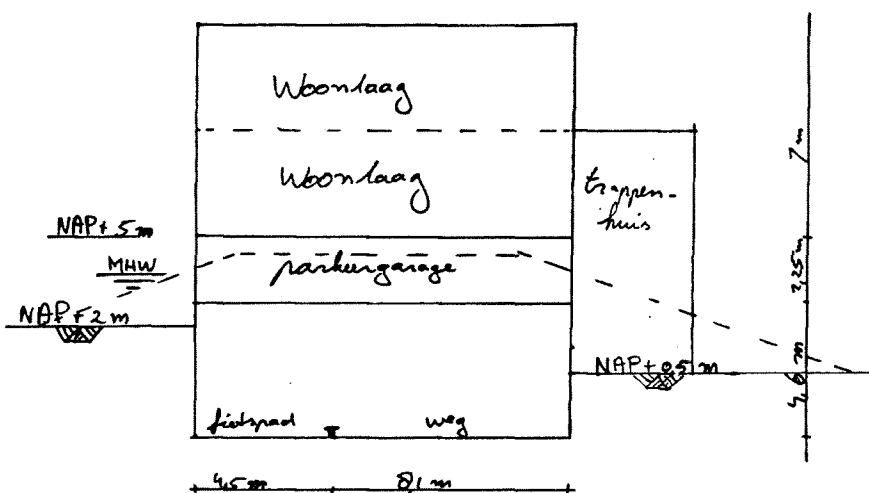
In de voorgaande paragraaf zijn de drie principeoplossing voor de waterkering in Alblasserdam Noord geselecteerd. Deze drie principes, de Doosconstructie, het Folie en de L-muur, zullen vormgegeven worden naar aanleiding van de eisen die er aan de ontwerpen gesteld worden (zie hoofdstuk 3 Randvoorwaarden, uitgangspunten en Programma van Eisen). Binnen de drie alternatieven zullen er nog een aantal verschillende vormgevingen en inrichtingen mogelijk zijn, die aangeduid worden met varianten.

De waterkering moet een MHW van NAP + 3,70 m kunnen keren. De hoogte van kering is afhankelijk van de golfoploop en de overslag die geaccepteerd wordt. In de eerste ontwerpen wordt uitgegaan van een kerende hoogte van NAP + 5 m. In een verdere uitwerking van het gekozen alternatief moet deze hoogte gecontroleerd worden.

6.3.2 Alternatief 1: De Doosconstructie

Alternatief 1 variant A: Doosconstructie met 3 lagen

De oplossing van de doosconstructie met 3 lagen is een stapel oplossing. Op het laagste niveau ligt de weg met het fietspad, het niveau daarboven biedt ruimte aan de parkeergarage en op het hoogste niveau bevinden zich de woningen. Een schets van de dwarsdoorsnede met maten, zonder constructieafmetingen, van de variant is weergegeven in figuur 6.10



figuur 6.10: functionele maten drie lagen variant

Voordat deze oplossing verder uitgewerkt wordt, wordt eerst nagegaan of er geen problemen optreden met de eisen die er aan de helling van de toeritten gesteld worden. Voor de toeritten naar de tunnel geldt een maximaal hellingspercentage van 6%. Uit de berekening in bijlage IV blijkt dat de toeritten een horizontale lengte van 100 m hebben. Bij deze berekening is gerekend met de functionele maten van het ontwerp. De dikte van de constructie moet er later nog bij opgeteld worden.

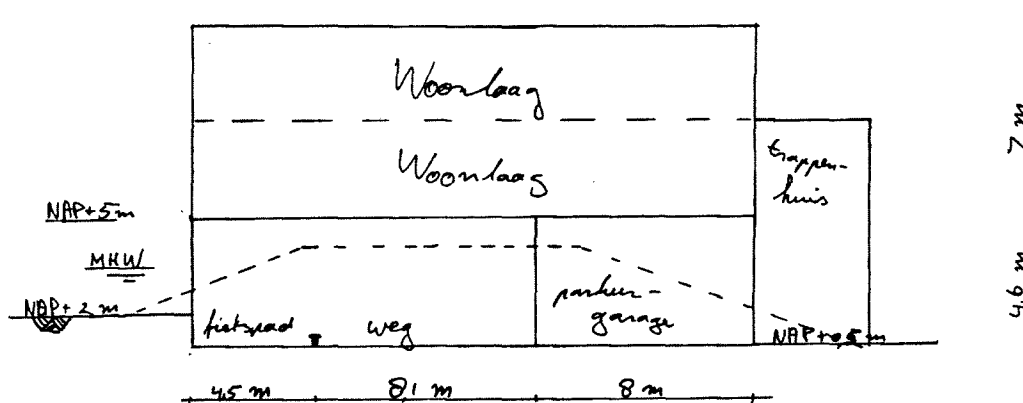
Het ontwerp, met een parkeergarage tussen de verkeersbuis en de woningen, levert problemen op met de beschikbare lengte. Het dijkvak is 200 m lang, waardoor de totale lengte nodig is voor de toe en afritten. Hierdoor is er alleen op het diepste punt van de tunnel de vereiste ruimte van 2,25 m tussen de verkeersbuis en de woonlaag. De toeritten naar de tunnel zullen nog iets langer worden indien er rekening gehouden wordt met de constructie afmetingen.

Het stapelalternatief is misschien wel mogelijk indien er veel tijd gestoken wordt in de uitwerking van een uitgekend ruimtelijk functioneel ontwerp. Binnen de tijdsgrenzen van het afstudeerproject is daar echter geen ruimte voor.

Alternatief 1 variant B: Doosconstructie met 2 lagen

De Doosconstructie met 2 lagen is een aangepaste versie van variant A, met drie lagen. Variant A bleek binnen de beschikbare ruimte van 200 m niet te realiseren, door een te groot hoogteverschil tussen de weg in de tunnel en de weg op de dijk. In variant B wordt de parkeergarage naast de weg geplaatst, zodat de tunnel direct onder de woonlaag komt te liggen. Het plaatsen van de parkeergarage naast de weg levert in de te overbruggen hoogte een winst van 2,25 m op. In bijlage IV is een berekening van de toeritten naar de tunnel gemaakt, waaruit blijkt dat er horizontaal genoeg ruimte is voor dit alternatief.

De parkeergarage moet een eigen toegang krijgen. Een afslag in de tunnel is uit verkeerstechnisch oogpunt niet wenselijk, zodat er naast de toerit voor de tunnel en extra toerit naar de parkeergarage ligt. Een dwarsdoorsnede van de Doosconstructie met 2 lagen is weergegeven in figuur 6.11 In deze figuur zijn de functionele maten weergegeven, dus de afmetingen zonder de maten van de constructie.



figuur 6.11: functionele maten twee lagen alternatief

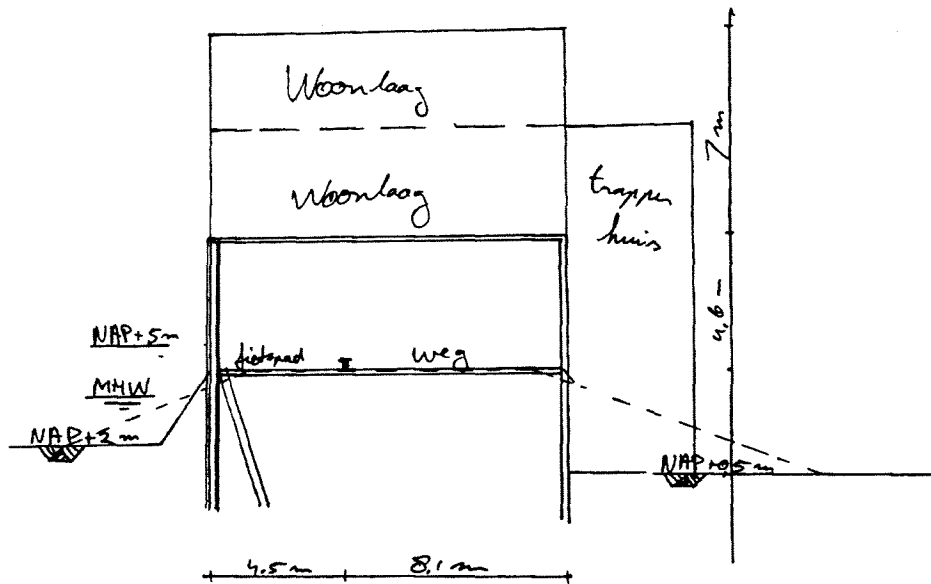
Aanpassingen

De beide varianten van de Doosconstructie kunnen voor het aanzicht een grondtalud tegen de buitenkant krijgen. Dit heeft gevolgen voor de belastingen op de constructie, maar zorgt voor een beter aanzicht van de waterkering. De dijk wordt dan niet onderbroken door een verticale muur. Het aanbrengen van een talud zorgt ook voor een vermindering van de golfterugkaatsing. Het terugkaatsen van golven door een verticale wand kan een zeer vervelend golfveld voor de scheepvaart veroorzaken (bijvoorbeeld Amsterdam-Rijn-Kanaal).

6.3.3 Alternatief 2: De L-muur

Alternatief 2 variant A: L-muur met dijkwoningen

Het waterkerende deel van de L-muur is een relatief dunne constructie. Door deze constructie komt er veel ruimte vrij voor het vervullen van de twee nevenfuncties. De constructie van de L-muur geeft de mogelijkheid naar één kant een goede aansluiting te maken met omgeving, doordat één kant open is. Deze mogelijkheid wordt benut door de woningen direct op de voet te bouwen en de weg over de woningen heen te laten lopen. Het positioneren van de woningen op de voet heeft wel tot gevolg dat de voet aan de polderzijde komt te liggen. In figuur 6.12 is een dwarsdoorsnede met functionele maten geschetst, de maten van de constructie zijn ook hier nog niet aangegeven in de doorsnede.



figuur 6.13: afmetingen functioneel ontwerp folie-constructie

6.4 Keuze waterkering Alblasserdam

De keuze voor de verder uit te werken waterkering voor het dijkvak in Alblasserdam is moeilijk te maken. In principe kunnen alle drie de oplossingen even goed voldoen aan de gestelde eisen. Er is uiteindelijk voor gekozen om de doosconstructie verder uit te werken. De keuze voor dit alternatief is als volgt tot stand gekomen:

De constructie van de doosconstructie leent zich er als vanzelfsprekend voor om een meervoudige functiecombinatie te vervullen. Bij de L-muur en het folie zijn er aanvullende constructies nodig voor het vervullen van de functies wonen en transport.

De woningen in de L-muur hebben geen uitzicht op de rivier, omdat ze achter de muur liggen. Indien er direct achter de waterkering een stad ligt, zouden de woningen mooi aansluiten bij de rest van de bebouwing. Op dit dijkvak is er echter sprake van lintbebouwing, waardoor de woningen in de L-muur alleen uitzicht hebben op de polder. Dit wordt minder gewaardeerd dan uitzicht over de rivier. De uitkijkwoningen en de woningen op de doosconstructie hebben allebei uitzicht op de rivier en zijn verder ook vergelijkbaar, Hier is dus geen onderscheid te maken.

In constructief opzicht is de folieconstructie duidelijk in het nadeel. De belastingen op de constructie zijn in alle drie de gevallen ongeveer gelijk. Bij de folieconstructie is het echter moeilijk de horizontale krachten af te voeren, door de aanwezigheid van de holle ruimte die nodig is voor het transport. De L-muur en de doos zijn uit constructief oogpunt vergelijkbaar.

7. Uitwerking doosconstructie als waterkering in Alblasserdam

7.1 Inleiding uitwerking

Het eerste dat gedaan wordt in de uitwerking van de constructie is een definitief ruimtelijk ontwerp maken. Nadat het ruimtelijk-functioneel ontwerp vast ligt, wordt de uitvoering behandeld. Bij een waterkering is de uitvoering één van de moeilijkste onderdelen van het ontwerpproces, omdat er te allen tijde een waterkering aanwezig moet zijn. De uitvoeringsfase is vaak bepalend voor de constructie. De dimensionering van de constructie is de volgende stap, waarna als laatste de kosten bepaald worden.

In dit hoofdstuk worden de afmetingen en peilen genoteerd in mm. Indien van de eenheid afgeweken wordt, wordt dat duidelijk vermeld. De notatie in mm is mogelijk en wenselijk, omdat het ontwerp verder uitgewerkt is dan in het voorgaande hoofdstuk.

7.2 Definitieve ruimtelijke vormgeving doosconstructie

Bij de vormgeving is er nog een aantal keuzes te maken. De eerste keuze betreft het fietspad. Voor de fietsers is het niet nodig dat er tussen het wegdek en het plafond van de tunnel 4,50 m ruimte beschikbaar is. Voor fietsers is een hoogte van 2,50 m voldoende. Het wegdek komt dan twee meter hoger te liggen, waardoor de fietsers minder hoogtemeters te overbruggen hebben en de hellingen flauwer worden. Deze maatregelen komen ten goede aan het comfort van de fietsers. Een andere mogelijkheid is het fietspad als vluchtweg en aan- en afvoerroute voor hulpdiensten te gebruiken en dus op gelijke hoogte als de weg te leggen. Er is in dit geval echter sprake van een korte tunnel (200 m) waardoor er maximaal 100 m te overbruggen is om de tunnel te verlaten of het ongeval te kunnen bereiken. In geval van brand biedt het fietspad geen extra veiligheid, omdat deze in dezelfde tunnelbuis ligt als de weg.

De uiteindelijke keuze is om het fietspad ten opzichte van de weg verhoogd aan te leggen. In het Programma van Eisen is bij het verhoogde fietspad in de tunnel (figuur 4.9) niet aangegeven wat de constructiebreedte voor het hekje naast het fietspad is. Aangenomen wordt dat dit 0,60 m is, conform de maten in figuur 4.8.

Het voetpad heeft geen plaats in de doosconstructie gekregen, maar zal buiten de waterkering komen te liggen. Het voetpad zal in veel gevallen gebruikt worden om van het uitzicht te genieten en kan daardoor beter buiten de tunnel liggen. Het voetpad komt aan de rivierzijde van de waterkering. Tijdens hoogwaterperioden kunnen voetgangers gebruik maken van het fietspad.

Het derde onderdeel dat voor de vormgeving van de doosconstructie van belang is, is de parkeergelegenheid. De parkeerplaatsen komen in een parkeergarage die naast de rijbaan en het fietspad ligt. De garage wordt door een wand gescheiden van het transportgedeelte. De parkeergelegenheid bestaat uit een rijstrook met daarnaast parkeervakken. De parkeergarage is éénrichtingverkeer, met de ingang aan de zuidkant en de uitgang aan de noordzijde. De parkeervakken liggen aan de polderzijde van de rijstrook, onder een hoek van 60° met de as van de rijrichting (zie bijlage V).

Het laatste onderdeel dat aan bod komt is de verbinding tussen de woningen op de waterkering en de grond. Aan de polderzijde van de doosconstructie komen trappen en liften die voor de ontsluiting van de woningen zorgen. De trappen en liften worden verder niet gedimensioneerd, omdat ze geen invloed hebben op de constructie van de waterkering.

In bijlage V is een schets weergegeven met daarin het definitieve ruimtelijk ontwerp.

7.3 Uitvoeringsplan doosconstructie waterkering Alblasserdam

De uitvoering van de waterkering kan van invloed zijn op de constructie. Het uitvoeringsplan zal dan ook vastgesteld moeten worden, voordat begonnen wordt met de dimensionering. In deze paragraaf zal het uitvoeringsplan opgesteld worden. Het uitvoeringsplan is geen gedetailleerde bouwplanning met een tijdschema, maar dient voor het opsporen van kritische punten met betrekking tot de realisatie van de waterkering.

Bij het opstellen van een uitvoeringsplan is het van groot belang of het bouwwerk met prefab elementen wordt gemaakt of dat er in-situ gebouwd wordt. Bij een bouwwerk met veel herhaling en/of standaard elementen kan goed gebruik gemaakt worden van prefab onderdelen. Bij de waterkering in Alblasserdam gaat het om een relatief kort stuk, 200 m, een nieuw soort bouwwerk en een bouwwerk waar veel aandacht voor aansluitingen is. Deze drie factoren leiden tot een keuze voor een in-situ bouwmethode.

Fase I: slopen bebouwing

De eerste fase van het project betreft de sloop van de bestaande bebouwing op de dijk (zie foto 7.1 en foto 7.2). Deze bebouwing moet verdwijnen, zodat er ruimte vrij komt voor de nieuwe waterkering. De functie die de gebouwen vervullen gaat tijdelijk verloren. Op het verhoogde voorland staat ook bebouwing (zie foto 7.3). Deze bebouwing bestaat uit loodsen en schuren die slecht onderhouden zijn. Deze worden ook gesloopt om ruimte te maken voor de bouwplaats en omdat ze niet of slecht bereikbaar zijn als de nieuwe waterkering klaar is. Het sloopmateriaal dat vrij komt bij het afbreken van de panden moet afgevoerd worden naar een stortlocatie. De afvoer van het sloopmateriaal kan misschien per schip gebeuren, zodat de overlast voor de rest van de dijk zo min mogelijk is.



foto 7.1 Bebouwing dijk, gezien vanuit noordelijk richting.

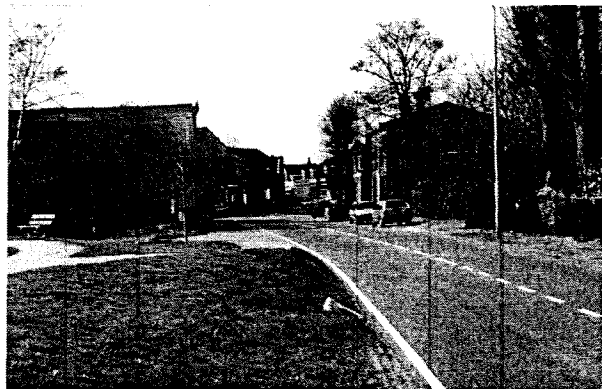
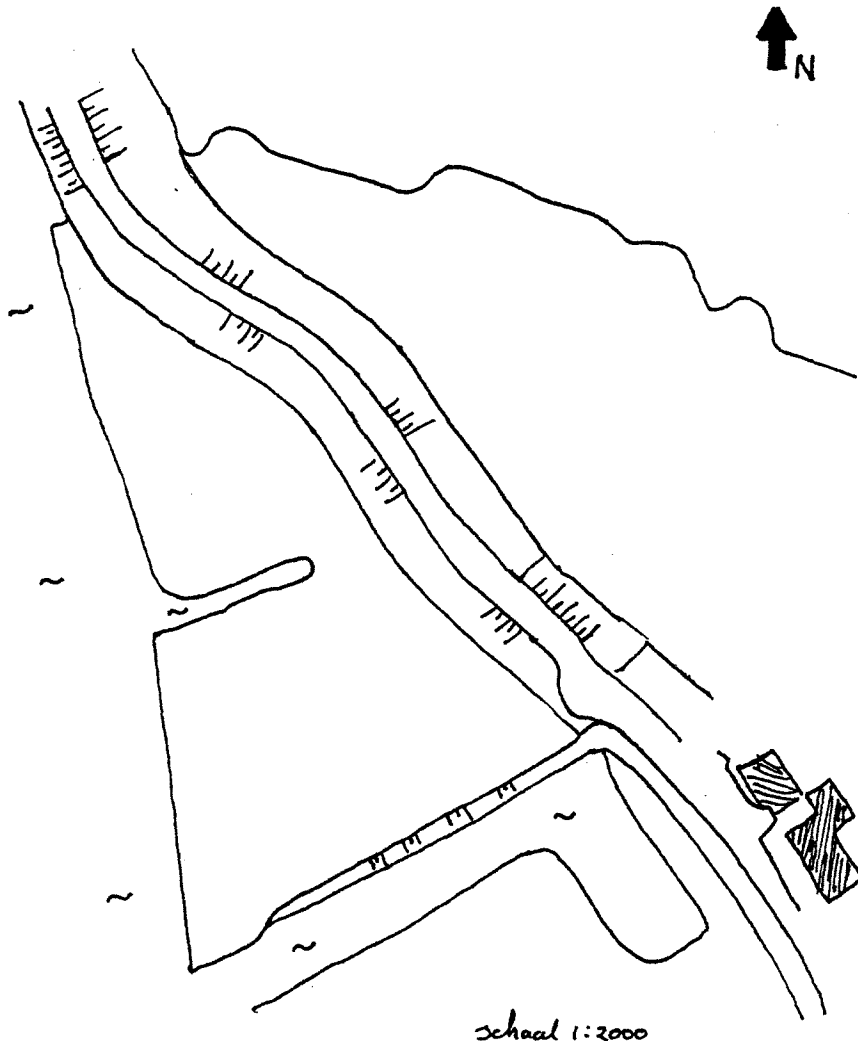


foto 7.2: Bebouwing dijk, gezien vanuit zuidelijke richting.

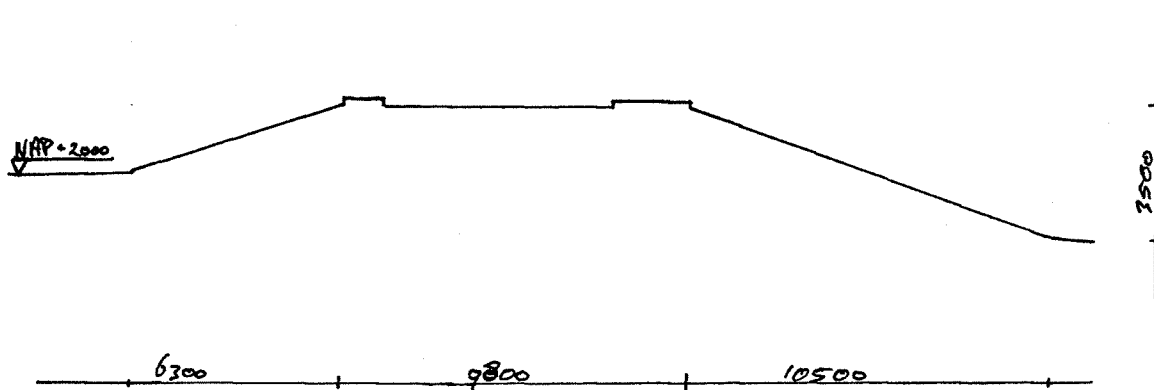


foto 7.3: Bebouwing verhoogd voorland.

Na de sloop van de bebouwing is er alleen nog een kale waterkering met een weg over de kruin over. De waterkering is in staat de benodigde veiligheid te geven tijdens dit deel van het uitvoeringplan, omdat er nog niets aan de dijk zelf gedaan is. Na de sloop van de bebouwing is de locatie als volgt te schematiseren:



figuur 7.1: Plattegrond eind fase I.



figuur 7.2: Dwarsdoorsnede eind fase I.

Fase II: bouw tijdelijke waterkering

De dijk die tijdens fase 1 dienst doet als waterkering moet afgegraven worden om de bouw van de doosconstructie mogelijk te maken. In de wet wordt gesteld dat ook tijdens werkzaamheden aan een waterkering het achterliggende land beschermd moet worden tegen hoogwater. Voordat begonnen wordt met de sloop van de oude dijk zal er dus een noodwaterkering gebouwd moeten worden.

De bouw(methode) en de duur van de uitvoering van de nieuwe waterkering, stellen verschillende eisen aan de noodwaterkering. De verschillende eisen worden kort opgesomd:

1. Moet de bouwplaats binnen of buitendijks komen te liggen? Deze keuze stelt eisen aan de plaats van de noodwaterkering.
2. De tijdsduur van de uitvoering en de verschillende fases waarin de bouw is opgedeeld stellen eisen aan de noodwaterkering. Moet de noodwaterkering een volledige waterkering zijn, die in staat is MHW te keren, of kan ze alleen het lagere zomer-MHW keren?
3. Kan de noodwaterkering onderdeel zijn van iets dat toch al aangelegd moet worden voor de bouw van de doosconstructie, of is het een aparte constructie?
4. Beschikbare ruimte voor de tijdelijke kering.

ad 1

Voor het uitvoeringsplan wordt er vanuit gegaan dat de bouwplaats hoogwater vrij moet zijn. Water op de bouwplaats zal grote schade aanrichten aan de constructie en het materiaal en materieel dat er aanwezig is. De waterkering moet dus aan de rivierzijde komen te liggen.

ad 2

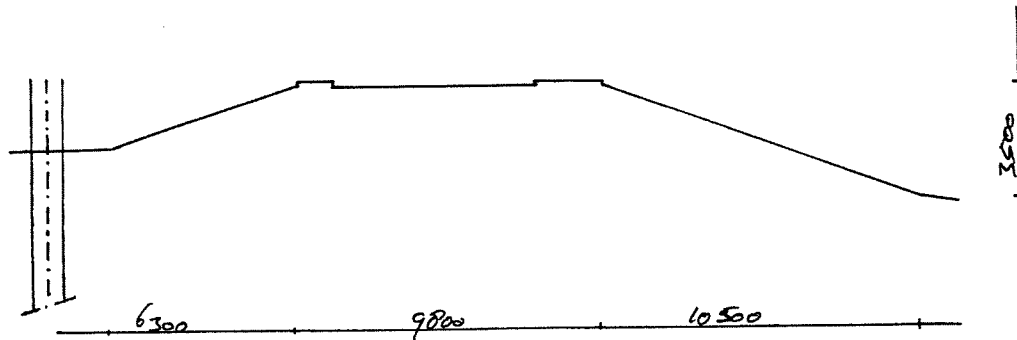
De bouw van de totale waterkering zal langer dan 6 maanden duren, de beschikbare bouwperiode tussen 15 april en 15 oktober. De constructie kan niet gefaseerd aangelegd worden, waardoor de eerste secties al als waterkering op zouden kunnen treden, terwijl het naastliggende gedeelte nog gebouwd moet worden. Er is dus een waterkering nodig die in staat is MHW van NAP +3, 10 m moet kunnen keren met een faalkans van 1/2000.

ad 3

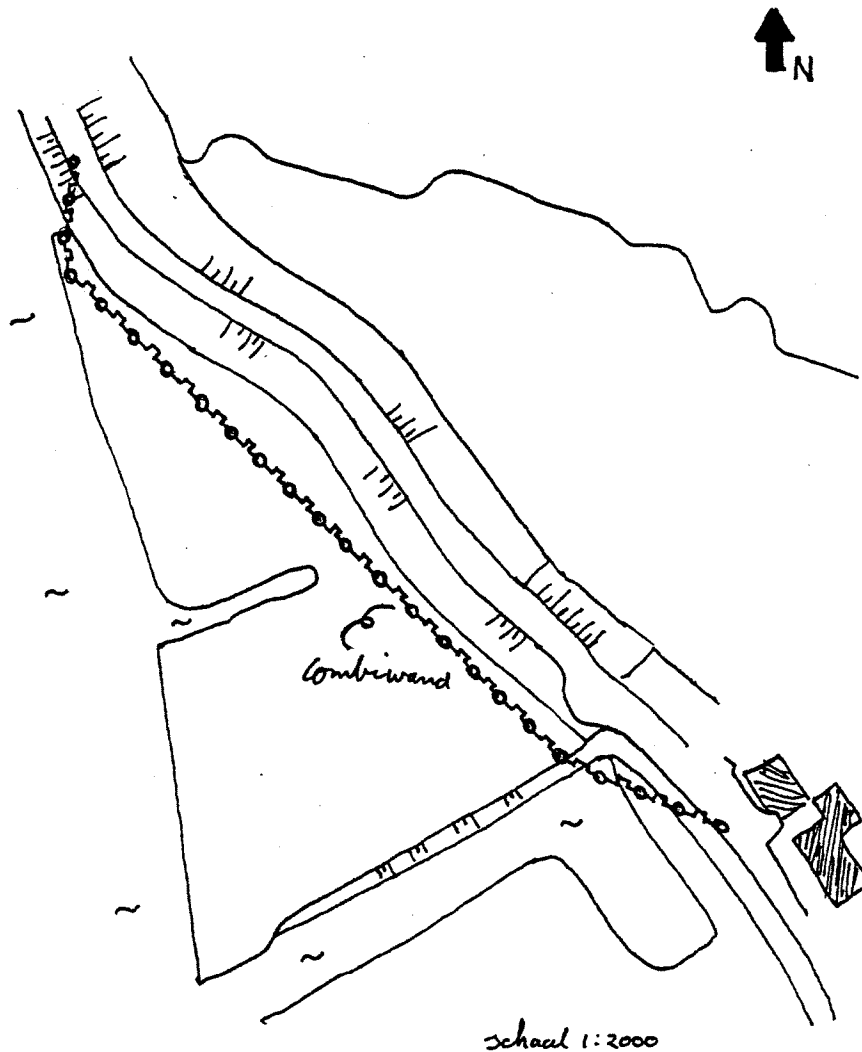
De tijdelijke waterkering kan deel uitmaken van de wand van de bouwkuip, indien deze nodig is. Aangezien er onder maaiveld niveau gewerkt moet worden en de grond slap is, is een bouwkuip noodzakelijk. Stempelen van de constructie is erg moeilijk, omdat het maaiveld aan de polderzijde 1,5 m lager ligt dan aan de rivierzijde. Bovendien is het MHW 2,60 m hoger dan het maaiveldniveau aan de polderzijde.

De noodwaterkering komt aan de rivierzijde van de bouwplaats te liggen, moet MHW kunnen keren en maakt misschien deel uit van de bouwkuip. Voor de noodwaterkering is niet veel ruimte beschikbaar, omdat bijna alle ruimte die vrij komt na het verwijderen van de dijk nodig is voor de bouw van de doosconstructie

Gezien de eisen die aan de noodwaterkering gesteld worden, wordt besloten dat de kering bestaat uit een combiwand, die een MHW van NAP + 3,10 m moet kunnen keren. In figuur 7.3 en figuur 7.4 is de situatie aan het eind van fase II geschetst.



figuur 7.3: Dwarsdoorsnede eind fase II.



figuur 7.4: Plattegrond eind fase II.

Fase III: omleiden verkeer

De weg die over de waterkering loopt moet ook verwijderd worden. De verbindingfunctie die de weg heeft kan niet tijdelijk verloren gaan. Het verkeer zal dan ook omgeleid worden via een route door de stad of via een tijdelijke voorziening naast de bouwlocatie. De omleiding zal verder geen gevolgen hebben voor de bouw, zodat die niet verder uitgewerkt wordt. In deze bouwplanning wordt er vanuit gegaan dat omleiden via het bestaande wegennet van Alblasterdam mogelijk is. Het materiaal dat bij de sloop van de weg vrij komt, moet net als het puin van de panden afgevoerd en verwerkt worden. Dit kan wellicht ook per schip, zodat de overlast beperkt blijft.

Fase IV: afgraven dijk

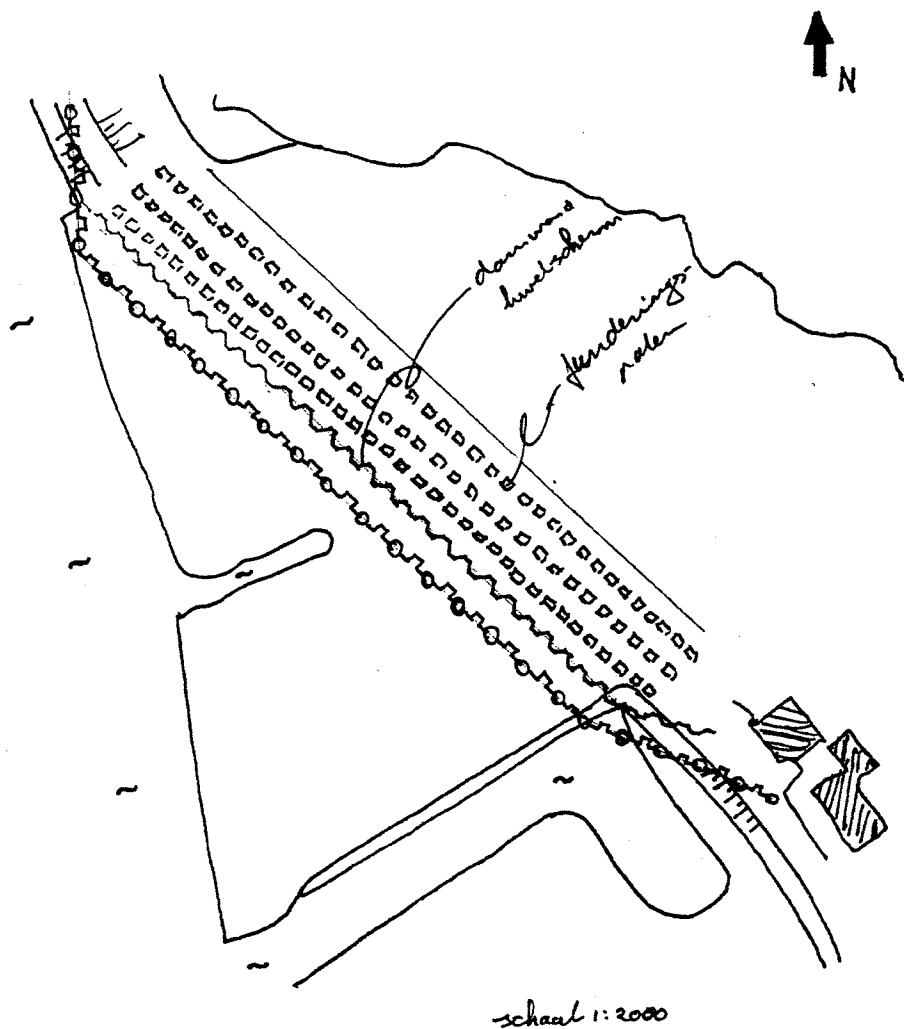
De laatste voorbereidingsfase is het afgraven van de dijk. De nieuwe waterkering zal de dijk volledig vervangen, zodat afgraven noodzakelijk is. Tot welk niveau precies afgegraven moet worden is onder andere afhankelijk van de dikte van de tunnelvloer en de benodigde werkdiepte voor het snellen van de koppen van de palen en het aanbrengen van de vloerbekisting. Voorlopig wordt er vanuit gegaan dat het niveau boven het grondwaterpeil blijft, zodat er geen bouwkuip nodig is. De grond die vrij komt bij het ontgraven moet afgevoerd worden en een gedeelte moet opgeslagen worden, zodat dit later gebruikt kan worden voor het talud dat tegen de doosconstructie aan komt te liggen. Bij het afgraven van de dijk zullen grote hoeveelheden grond vrij komen, zodat afvoeren per schip de beste optie lijkt.

Fase V: fundering maken

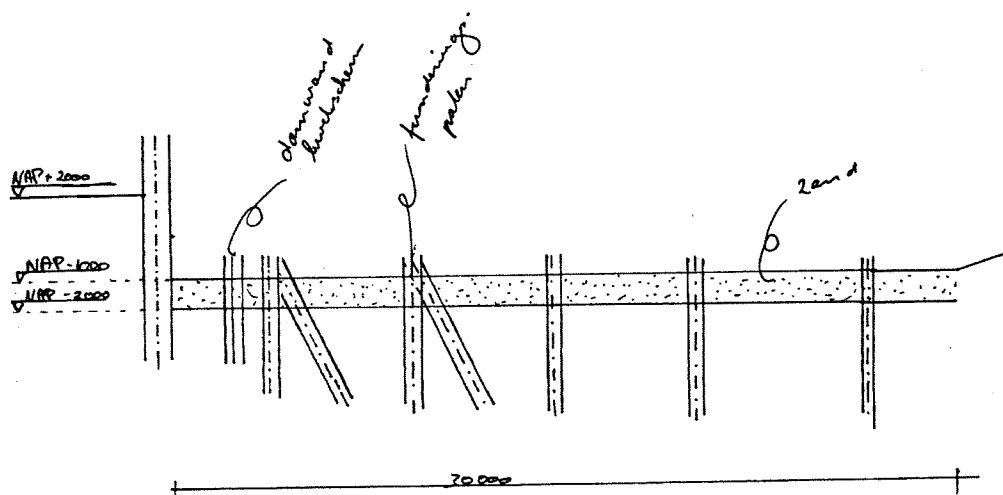
Fase V is de eerste fase waarin er echt aan de nieuwe kering gebouwd wordt. De bouw van de doosconstructie begint met het heien van de palen voor de fundering. Voor deze fase is het noodzakelijk dat de bovenste grondlaag enige draagkracht heeft, zodat de heimachine, vrachtauto's en ander materieel en materialen niet wegzakken. Op de bouwplaats wordt een zandlaag met een dikte van 1 m aangebracht.

De damwanden van de kwelschermen maken ook onderdeel uit van de fundering en dienen ook in deze fase geheid te worden. De volgorde waarin de uitvoering plaats vindt is eerst het heien van de damwanden en daarna de palen. Bij deze volgorde kan voor het aan- en afvoeren van materiaal en materieel tijdens het heien van de damwanden gebruik gemaakt worden van het hele bouwterrein. Indien eerst de palen geheid worden, is dit terrein niet meer te gebruiken vanwege de paalkoppen die boven de grond uitsteken. In figuur 7.5 en figuur 7.6 is de eindfase van fase V geschetst.

Fase V is de kritieke situatie voor de combiwand. Vlak voordat het zand gestort wordt, heeft de combiwand de grootste kerende hoogte. Bij de dimensionering moet dus van deze situatie uitgegaan worden.



figuur 7.5: Plattegrond eind fase V.

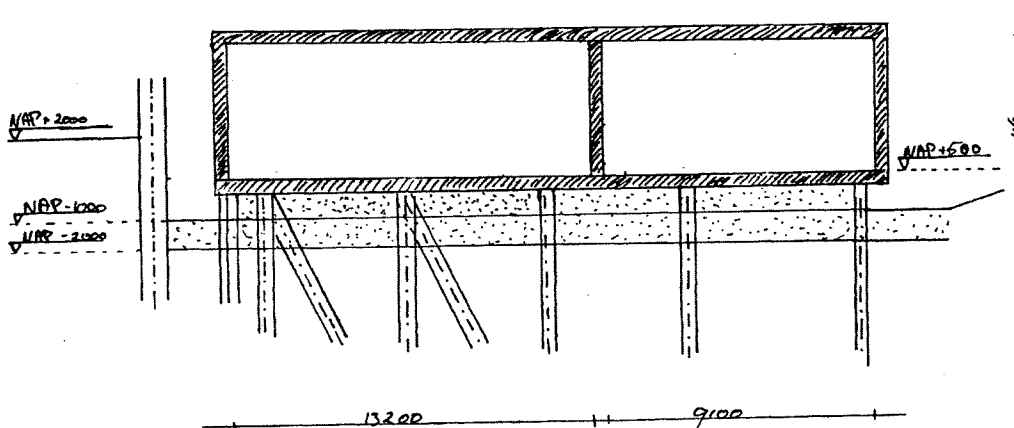


figuur 7.6: Dwarsdoorsnede eind fase V.

Fase VI: doosconstructie bouwen

Op de palen moet de vloer van de tunnel aangebracht worden. Op deze vloer wordt de rest van de doos gebouwd. De doos bestaat uit een ter plaatste gestorte gewapende betonconstructie.

Fase VI begint met koppensnellen van de palen van de fundering. Door het vrij maken van de wapening van de palen is het mogelijk een goede aansluiting te maken met het wapeningsnet van de vloer. De volgende stap is het aanbrengen van de bekisting, gevolgd door het vlechten van de wapening. Nadat het wapeningsnet klaar is kan het beton gestort worden. Tijdens het storten van de vloer moet er veel aandacht besteed worden aan de aansluiting met de kwelschermen. Deze aansluitingen moeten waterdicht zijn, omdat de waterkering anders niet goed functioneert. De aansluitingen zijn later ook niet meer te inspecteren of te repareren. De vloer zal niet in één keer gestort worden, maar opgedeeld worden in verschillende secties. In de ene sectie is men dan bezig met bijvoorbeeld het koppensnellen, in een aanliggende sectie wordt de bekisting gemaakt, in weer een andere sectie wordt de wapening gevlochten, in de volgende sectie wordt het beton gestort en andere secties zijn aan het uitharden of er wordt de bekisting verwijderd. De precieze indeling in secties en welke werkzaamheden er gelijktijdig uitgevoerd worden is niet van belang voor de haalbaarheid en zal ook niet verder uitgewerkt worden. De rest van de doos kan in dezelfde volgorde en met de zelfde bouwmethode (indelen in secties) gebouwd worden. Deze fase stelt geen specifieke eisen aan de constructie zelf. Aan het eind van fase VI, dat wil zeggen nadat alle onderdelen uitgehard zijn, ziet de waterkering eruit zoals geschetst is in figuur 7.7. Vanaf dit moment kan de constructie dienst doen als waterkering en is de combiwand in feite niet meer nodig. Deze fase is wel kritiek voor het opdrijven van de constructie. De opbouw van de huizen en het asfalt van de weg zijn nog niet aanwezig, zodat in deze fase de neerwaartse kracht minimaal is. Als om wat voor reden dan ook het grondwaterpeil stijgt, mag de constructie niet opdrijven. Bij de dimensionering van de doos moet hier terdege rekening mee gehouden worden.



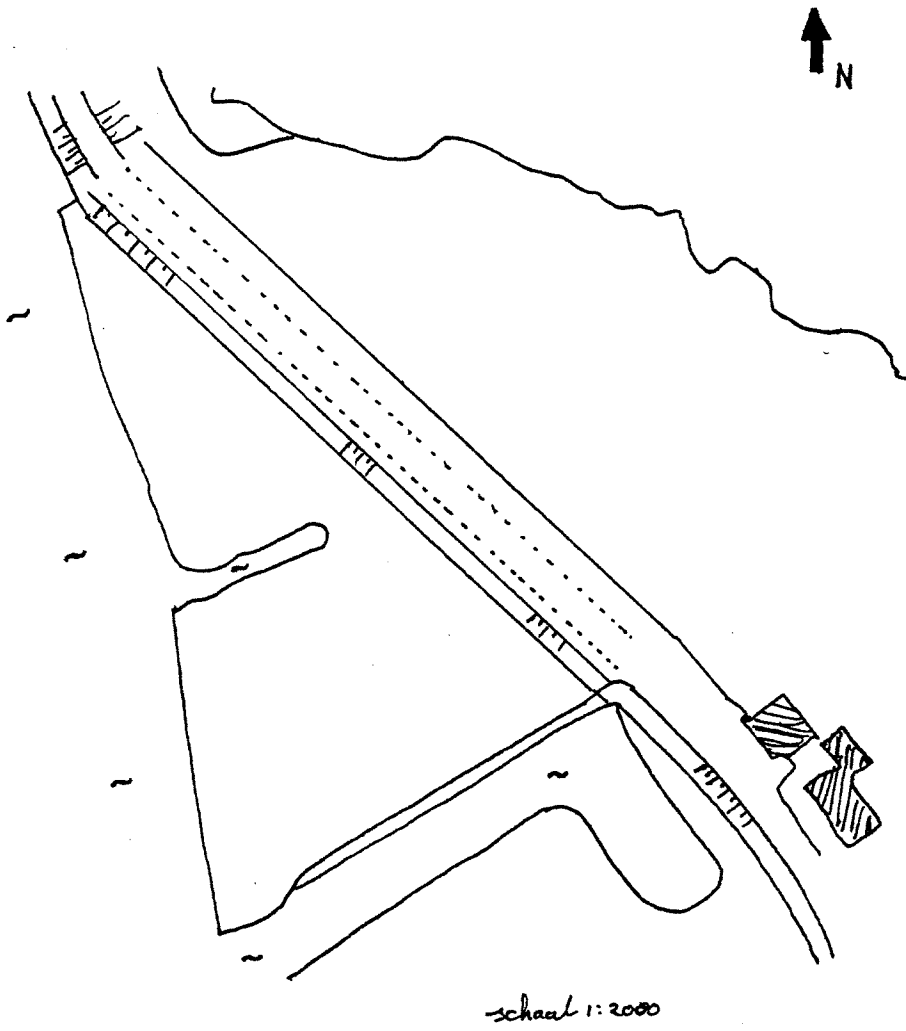
figuur 7.7: Dwarsdoorsnede eind fase VI.

Fase VII: inrichten en opbouwen

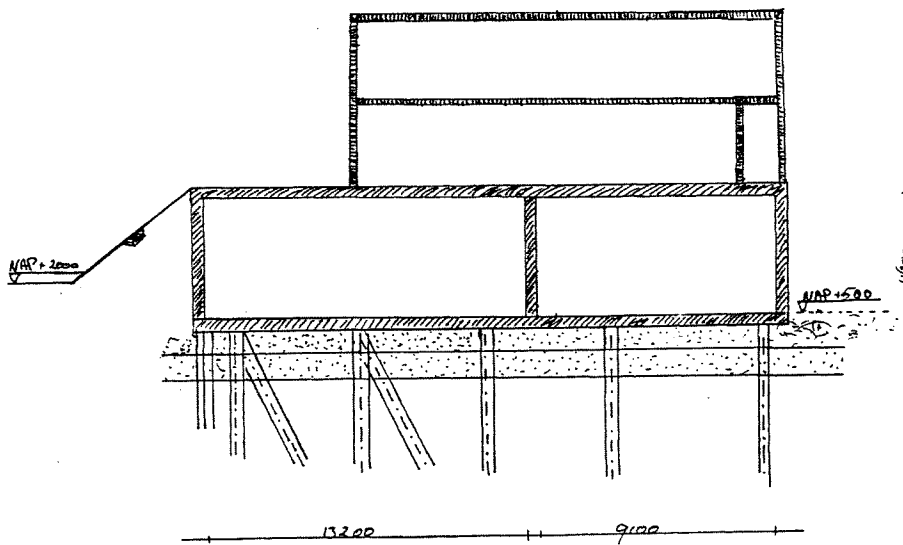
In fase VI is de constructie van de doos gemaakt. In fase VII worden de woningen op de doos gebouwd en het wegdek e.d. in de tunnel aangebracht. De woningen die op de waterkering worden gebouwd hebben grote invloed op de constructie, maar dat zit al in het ontwerp verwerkt. De werkzaamheden die uitgevoerd worden tijdens het bouwen van de woningen en het aanleggen van de weg en het fietspad lijken geen invloed op de constructie te hebben en worden niet verder uitgewerkt.

Fase VIII: afbouwen

De laatste fase bestaat uit het afbouwen van de waterkering. De combiwand moet getrokken worden en het talud moet tegen de waterkering gestort worden. Verder zullen er nog veel kleine werkzaamheden in deze fase plaats vinden, maar die zijn niet van invloed op de constructie van de waterkering. Het talud dat gestort wordt heeft wel invloed op de constructie, maar dit was al voorzien bij het ontwerpen.



figuur 7.8: Plattegrond eind fase VIII.



figuur 7.9: Dwarsdoorsnede fase VIII.

7.4 Constructieve uitwerking doosconstructie

Bij het opstellen van de ruimtelijk functionele alternatieven is er vanuit gegaan dat een waterkerende hoogte van NAP + 5 m voldoende zou zijn. In de constructieve uitwerking wordt gecontroleerd of dit inderdaad voldoet, of dat er een aanpassing van het ruimtelijk functioneel ontwerp nodig is. Na de controle van de golfloop wordt de noodwaterkering berekend. De fundering en de constructie van de doos zijn de laatste onderdelen die aan bod komen.

De berekeningen die voor de verschillende onderdelen gemaakt worden, zijn globale berekeningen die aantonen dat het ontwerp technisch haalbaar is. De berekeningen geven ook inzicht in de afmetingen van de constructie, die nodig zijn voor een kostenschätzung. Bij de constructieve vormgeving wordt uitgegaan van een wanddikte van 500 mm. Dit is een praktische maat voor de dikte van betonconstructies. Het wapeningspercentage is 1% en de betonkwaliteit is B25. Dit zijn waarden die zonder enige twijfel op een bouwplaats gehaald kunnen worden.

De tekening van de constructie, zoals die aan het eind van dit hoofdstuk te maken is, is toegevoegd in bijlage VII.

7.4.1 Controle golfloop

De constructie heeft in het extreme geval geen talud meer voor de constructie liggen. Het talud kan door de eroderende werking van het water wegspoelen, of door de hoge waterstand instabiel worden en afschuiven. Bij de controle op golfloop moet er vanuit gegaan worden dat het talud voor de kering weg is en de verticale wand van de doosconstructie de waterkering is.

In het basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies⁴ wordt de methode voor het bepalen van een kerende hoogte voor een kunstwerk behandeld. Bij deze berekeningen wordt er van uitgegaan dat er achter het kunstwerk een bepaalde berging is, of dat het overslagdebiet (erosie) bepalend is. Voor de doosconstructie geldt dat het overslaande water via afvoeren terug de rivier in wordt geleid en er dus geen sprake is van een maximale berging. Bepalend in dit geval is het maximale overslagdebiet.

Het overslagdebiet moet beperkt worden in verband met overlast voor de bewoners. De woningen grenzen niet direct aan de muur van de waterkering, dus enige overslag is toe te staan. Het overslaande water komt op de terrassen terecht en wordt afgewaterd op de rivier. Een overslag van ongeveer 20 l/s/m wordt acceptabel geacht.

De waakhoogte van een verticale constructie wordt bepaald door de volgende relatie:

$$w = \alpha \cdot H_s + 0,30 \text{ [m]}$$

De significante golfhoogte (H_s) voor het benedenrivierengebied is 0,7 m⁵.

De α -factor wordt bepaald met behulp van grafieken waarin de overslagfactor α is uitgezet tegen het debiet. Voor een debiet van 20 l/s/m in het benedenrivierengebied volgt een α -waarde van 1,2. De waakhoogte wordt dan: $w = 1,2 \cdot 0,7 + 0,30 = 1,15 \text{ m}$

De totale kerende hoogte komt dan op: $3,70 + 1,15 = 4,85 \text{ m}$

De hoogte die nodig is in het functioneel ontwerp is NAP + 5 m, zodat de kering voldoet en zelfs nog over enige reserve beschikt.

7.4.2 Noodwaterkering

Bij het uitvoeringplan is aangegeven dat er een tijdelijke waterkering moet komen, aan de rivierzijde van de bouwplaats. De tijdelijke waterkering is een combiwand, die de scheiding tussen de rivier en de bouwplaats vormt. De combiwand is een volledige waterkering die in

⁴ Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW juni 1997.

⁵ idem

ieder geval 1 hoogwaterseizoen dienst moet doen en moet dus gedimensioneerd worden op een belasting bij hoog water.

Bij de uitvoering is in fase 5 aangegeven dat de hoogwaterperiode de meest kritieke situatie voor de damwand is. De combiwand kan in deze fase een hoogwater aan de rivierzijde hebben en maximale ontgraving aan de polderzijde. De maximale ontgravingsdiepte is NAP – 2 m, het MHW is 3,10 m. De dimensionering van de combiwand is gedaan met Msheet⁶, waarvan de resultaten opgenomen zijn in bijlage VI.

De berekeningen voor de combiwand zijn uitgevoerd voor een constructie bestaande uit:

- stalen buispalen met een buitendiameter van 1420 mm
- een wanddikte van 14 mm
- damwandplanken AZ 18 traagheidsmoment 43040 cm⁴.
- traagheidsmoment systeem: 572240 cm⁴.

De gegevens voor de combiwand zijn ook opgenomen in bijlage VI.

De lengte van de buispalen is minimaal 25 m bij de meest kritieke situatie. De uitbuiging van de damwand is dan maximaal 493 mm. De uitbuiging neemt wel iets af bij een langere wand, maar niet veel. De uitbuiging van 493 mm is teveel om de combiwand als waterkering te laten fungeren, omdat de kering niet meer waterdicht is. Er zijn ook berekeningen uitgevoerd voor palen met een grotere diameter, maar dit had niet genoeg effect.

De volgende stap die gezet is, heeft invloed op de maaiveldhoogte van de bouwplaats. Indien er vanuit gegaan wordt dat het ontgraven in de zomer gebeurt, dan ligt het maaiveld aan polderzijde tijdens hoogwater op NAP –1 m. De minimale lengte van de damwand is bij deze situatie 17 m. De maximale doorbuiging neemt sterk af bij het langer worden van de damwand. Bij de minimum lengte van 17 m is de doorbuiging bijna 600 mm. Bij een lengte van 20 m is dit nog ongeveer 200 mm. Dit is echter nog steeds teveel voor een waterkering. Ook in dit geval leidde een stijvere paal niet tot een grote reductie van de doorbuiging.

Als laatste is geprobeerd het maaiveld nog een meter op te hogen. De combiwand hoeft niet direct naast de bouwplaats te staan. Het voorland is breed genoeg voor een rivierwaartse verschuiving van enkele meters. Bij een maaiveldniveau van NAP + 0 m aan de polderzijde kan de doorbuiging beperkt worden tot 50 mm. De lengte van de damwand is dan 16 m. Deze doorbuiging wordt klein genoeg geacht om de waterkering waterdicht te laten zijn.

7.5 Constructieve vormgeving doosconstructie.

De constructieve vormgeving van de waterkering is op te splitsen in twee delen:

- de doos zelf
- de fundering

Bij de dimensionering van de waterkering wordt eerst nagegaan wat de belastingen zijn die op de constructie werken. Als de belastingen bekend zijn, kunnen de krachten in de constructie en de krachten op de fundering berekend worden.

Belastingen

Voor de berekening van belastingen en sterkte wordt, indien niet anders vermeld, gebruik gemaakt van de Leidraden en bijbehorende rapporten van de TAW.

7.5.1 waterdruk

Op de waterkeringsconstructie werken twee waterdrukken:

- hydrostatische druk afkomstig van het MHW (stilwaterstand)
- waterdruk als gevolg van golven

⁶ Rekenprogrammatuur ontwikkeld door Grondmechanica Delft.

Voor de waterdruk die afkomstig is van golven moet eerst een ontwerpgolfhoogte bepaald worden.

Berekening ontwerpgolf

De ontwerpgolfhoogte is te berekenen uit:

- De significante golfhoogte
- Het aantal golven
- Kansverdeling

De voorgeschreven kansverdeling is een Rayleigh verdeling. Na berekening van de golfhoogte moet wel gecontroleerd worden of deze mogelijk zijn (steilheid en diepte).

Gegevens:

significante golfhoogte: $H_s = 0,7$ m

significante golfperiode: $T_s = 2,6$ s

golflengte: 10.6 m

waterdiepte D: 1,7 m (MHW = NAP + 3,70 m mv. = NAP +2, m)

duur stormpiek: $T_{\text{stormpiek}} = 4$ uur

Rayleigh-verdeling: $\Pr(H > H_d) = 1 - e^{-N \cdot e^{-2(H_d/H_s)}}$

Het aantal golven $N = T_{\text{stormpiek}} / T_{\text{gem}} = 4 \cdot 3600 / 2,6 = 5538$

De golfhoogte waar op ontworpen moet worden is die, die door 10% van de inkomende golven overschreden kan worden. De vergelijking wordt dus:

$$0,1 = 1 - e^{-N \cdot e^{-2(H_d/H_s)}} \Rightarrow 2,3 = H_d / H_s$$

De ontwerpgolfhoogte is dus 1,6 m

Deze ontwerpgolf lijkt aan de hoge kant, en moet bij een verdere uitwerking van het project gecontroleerd worden aan de hand van de strijklengte, waterdiepte en windsnelheid. De golf zal in geen geval hoger worden, zodat de uitgevoerde berekeningen aan de veilige kant zitten.

Voor de golfhoogte van een staande golf geldt:

$$H_{d,\text{max}} = 0,2 \cdot L \cdot \tanh(2\pi D / L) \Rightarrow 0,2 \cdot 10,6 \cdot \tanh(2\pi \cdot 1,7 / 10,6) = 1,6 \text{ m}$$

De golf kan dus net in stand blijven.

Als gevolg van reflectie wordt de ontwerpgolfhoogte voor een verticale wand groter. De reflectiecoëfficiënt is afhankelijk van de:

- stilwaterstand (MHW) NAP + 3,70 m
- amplitude van de ontwerpgolf $\frac{1}{2} \cdot 1,6 = 0,80$ m
- kruinhoogte NAP + 5,00 m

De afstand kruin-MWH = 1,30 m

De amplitude van de ontwerpgolf is 0,80 m

De reflectiecoëfficiënt K_r is dan ongeveer 1.

De ontwerpgolf voor het kunstwerk wordt dan: $H_{kw} = (1+K_r) \cdot H_d = 3,2$ m. Deze golf kan echter niet bestaan bij de waterdiepte van 1,7 m, zodat de maximale golf 1,6 m is (zie boven).

De ontwerpgolf voor het kunstwerk wordt dus: $H_{kw} = 1,6$ m; de amplitude is 0,8 m. Deze waarden lijken aan de hoge kant. Bij een optimalisatie van het constructieve ontwerp moeten deze waarden gecontroleerd worden aan de hand van de windroos, waterdiepte en strijklengte.

7.5.2 Grondbelasting

Aan de rivierzijde van de constructie ligt tot NAP + 2 m grond tegen de waterkering aan. Het voorland bestaat uit zand, $\gamma_{\text{nat}}=20 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{droog}}=17 \text{ kN/m}^3$, een inwendige hoek van wrijving van 30° en een cohesie van 0 kN/m^2

7.5.3 Belastingen uit de opbouw

De woningen die op de waterkering staan zullen een bepaalde belasting met zich meebrengen. In de berekeningen die uitgevoerd worden, wordt er van de volgende gegevens uitgegaan:

- eigen gewicht van een woning: 1500 kN
- momentane belasting op de vloeren: $0,7 \text{ kN/m}^2$
- momentane belasting op balkons en terrassen: $1,25 \text{ kN/m}^2$
- het e.g. van de woning plus de belasting van de bovenliggende verdiepingen, het dak en de windbelasting worden via de muren overgebracht op de waterkeringsconstructie

7.5.4 Windbelasting

De windbelasting is een belasting, die alleen op vrije oppervlakken werkt. Op het gedeelte van de constructie dat onder water zit, werkt geen windbelasting. De windbelasting wordt berekend aan de hand van tabellen. Bij de windbelasting moet er rekening mee gehouden worden dat die ook vanuit de polderzijde kan werken. Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat de horizontale belasting door wind dermate klein is, dat er vanuit gegaan wordt dat deze belasting door de verticale heipalen opgenomen kan worden. (zie paragraaf 7.6)

7.5.5 Verkeersbelasting

De tunnel en de parkeergarage geven een belasting op de constructie. Voor de parkeergarage en de tunnel wordt uitgegaan van de volgende momentane belastingen:
 $3,5 \text{ kN/m}^2$ voor de parkeergarage
 $7,5 \text{ kN/m}^2$ voor de weg in de verkeerstunnel
 $0,5 \text{ kN/m}^2$ voor het fietspad

7.5.6 Eigen gewicht

Voor het eigen gewicht van de constructie zijn de volgende eigenschappen van belang:

- materiaal
- afmetingen van de dwarsdoorsneden

Het materiaal van de constructie is gewapend beton, met een volumieke gewicht van 24 kN/m^3 . Voor de afmetingen van de doorsneden wordt uitgegaan een constructiedikte van $0,5 \text{ m}$.

7.5.7 Krachten op de constructie

De belastingen die in de meest ongunstige situatie op de constructie werken zijn nu bekend. Voor het berekenen van de krachten in de constructie en de oplegreacties wordt gebruik gemaakt van het programma Matrixframe. Voordat de belastingen in het programma ingevoerd kunnen worden moet van de waterdruk, de gronddruk en de windbelasting het precieze verloop nog berekend worden. De belastingfactoren van de verschillende belastingen moet ook nog bepaald worden.

Het verloop van de belastingen is uitgewerkt op de volgende (handgeschreven) pagina's. De belastingfactoren die toegepast worden zijn:

belastingen	gunstig	ongunstig
eigen gewicht	0,9	1,2
veranderlijke		1,5
permanente		1,2

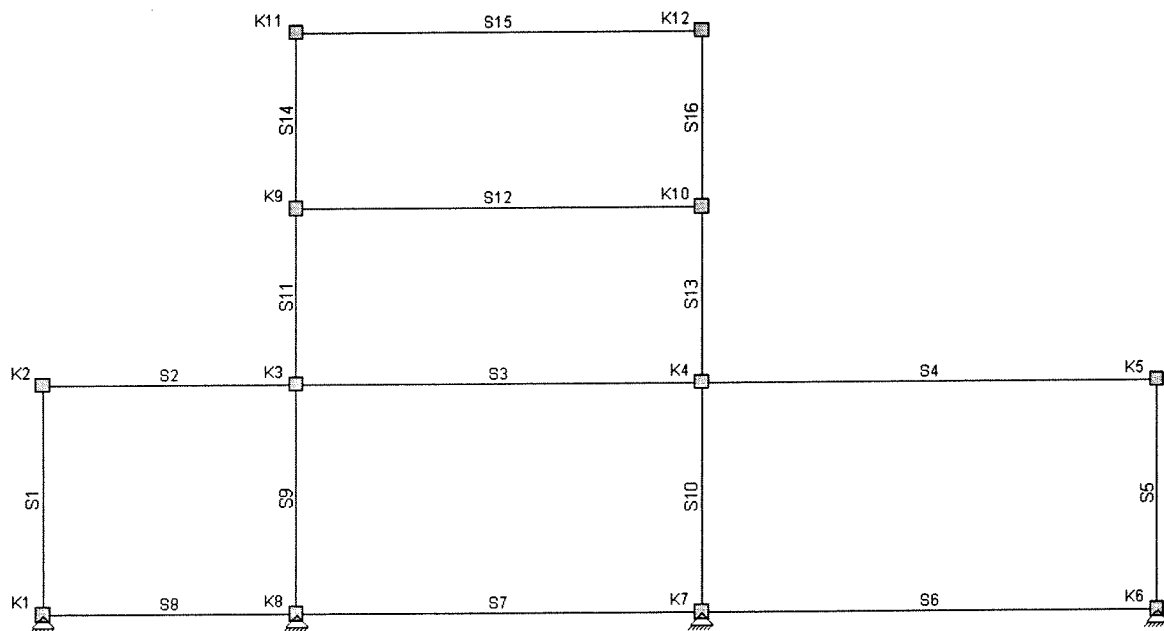
Voor de berekening van de oplegreacties moet bekend zijn waar de palen van de fundering gepland zijn. Bij de bepaling van de krachten in de constructie is er vanuit gegaan dat de palen zijn gesitueerd onder de vier "wanden" van de constructie. De verticale belastingen zullen via de twee buitenwanden en de twee tussenwanden afgevoerd worden naar de onderkant van de constructie. Door de palen onder deze wanden te plaatsen, worden de krachten direct afgedragen naar de palen.

Bij de berekening van de krachten op de constructie, zijn er twee schematisaties doorgerekend:

- 4 scharnieropleggingen
- 1 scharnier, 3 rolopleggingen

Deze twee gevallen zijn doorgerekend om na te gaan wat de invloed van de schematisatie van de palen is, op de krachten in de constructie is.

In het geval van de vier scharnieropleggingen wordt er vanuit gegaan dat de palen een horizontale kracht op kunnen nemen. In het tweede geval wordt er vanuit gegaan dat de verticale palen absoluut geen horizontale krachten op kunnen nemen en de horizontale krachten afgedragen worden met een schoorgeheide paal. In de schematisatie is dit gedaan door één rol te vervangen door een scharnier.

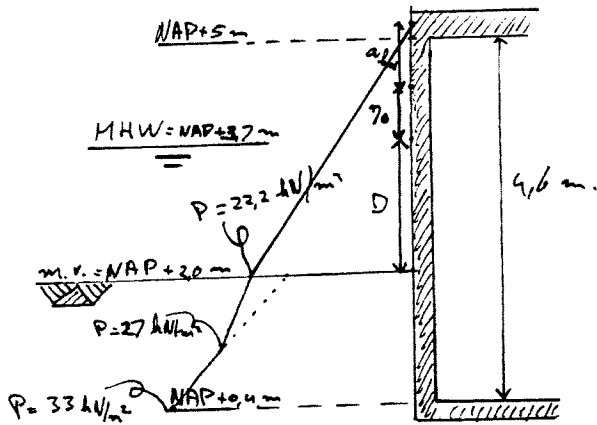


figuur 7.10: Schematisatie waterkering in Matrixframe.

Waterdruk

stilwaterstand: MHW = NAP + 3,70 m
 golf lengte: $L = 10,6$ m
 significante golfhoogte: $H_s = 1,6$ m
 ontwerp golfhoogte: $H_d = 1,6$ m

volumieke massa water: $\rho = 1000$ kg/m³
 zwaartebrachtwormetting: $g = 10$ m/s²



Deze waarde is afhankelijk van het functioneel ontwerp
 De constructie v.d. waterkering komt 'buiten' deze
 maan

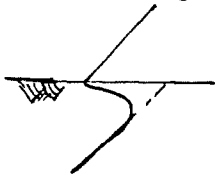
$$\text{middelenstandverhoging } \eta_0 = \frac{1}{f} \pi \frac{H_d^2}{L} \coth\left(2\pi \frac{D}{L}\right) = 0,7 \text{ m}$$

$$f = \frac{0,3}{1 + 4 \sinh\left(2\pi \frac{D}{L}\right)} - \frac{1}{4 \cosh^2\left(2\pi \frac{D}{L}\right)} = 1,4$$

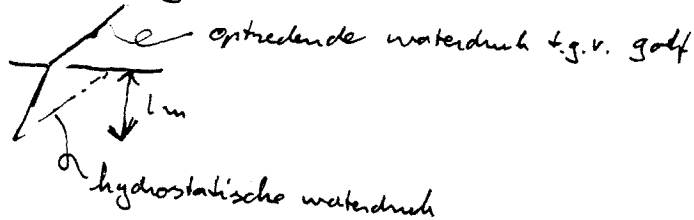
$$\text{De waterdruk op m.v.} = \rho g \left(D + \frac{a h_w}{\cosh\left(2\pi \frac{D}{L}\right)} \right) = 22,2 \text{ kN/m}^2$$

De waterdruk in de grond vertoont geen hydrostatisch drukverloop, omdat er (een kleine) stroming is en omdat het water van het MHW niet lang genoeg aanwezig is om ver door te dringen in de ondergrond. In de berekeningen wordt wel uitgegaan van een hydrostatisch verloop, omdat er gemakkelijk een kleine spleet tussen het beton van de waterkering en de grond kan ontstaan.

De extra waterdruk door de golf wordt snel weerwaarloosbaar. Waarschijnlijk treedt een volgend drukverloop op:



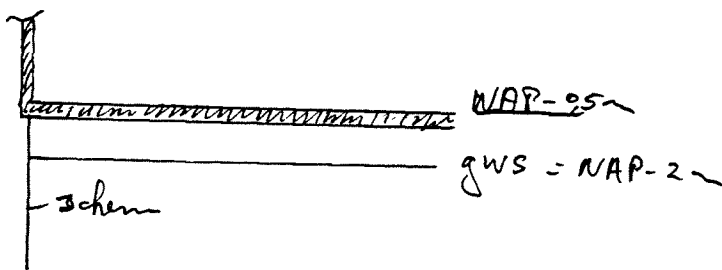
De invloed diepte wordt geschat op 1 m. De schematisatie zal als volgt zijn:



Opwaartse waterdruk.

Aan de linker kant van de constructie zit een damwand scherm, om piping te gaan. De grondwaterstand onder de heining is NAP - 2 m.

MHW



Er wordt vanuitgegaan dat door het MHW de grondwaterstand onder de heining niet omhoog komt. De grond is slecht doorlatend en bovendien is er een luvetscherm aangebracht. Het grondwater staat niet tegen de vloer van de constructie, zodat er ook geen opwaartse waterdruk is.

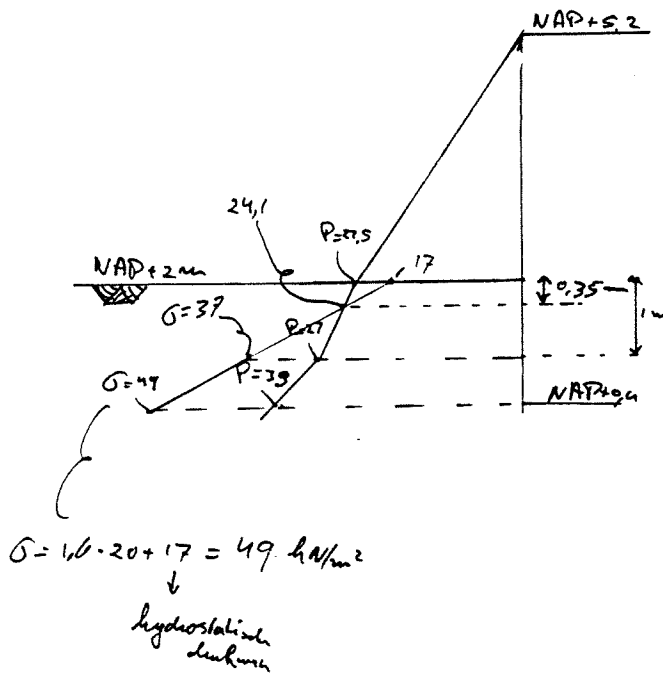
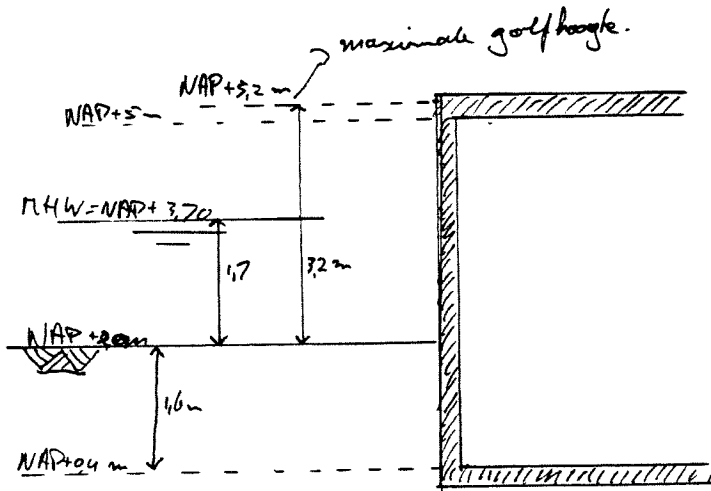
Grondbelasting

Zand voorland: $\gamma_{nat} = 20 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_{droog} = 17 \text{ kN/m}^3$

$\varphi = 30^\circ \rightarrow K_a = 0,33 \quad K_p = 3 \quad K_0 = 0,5$

$c = 0$

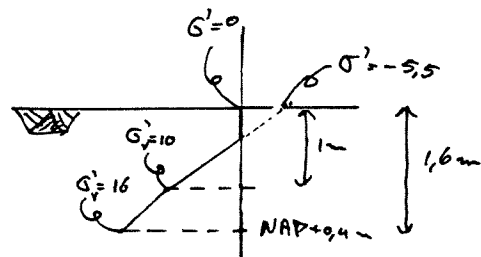


De waterdruk $p =$ afhankelijk uit eerdere berekening

Voor de grondspanning geldt dat de stilwaterstand genomen moet worden.

Voor de gronddruk geldt: $\sigma = 49 \text{ kN/m}^2$ op NAP+0.40m

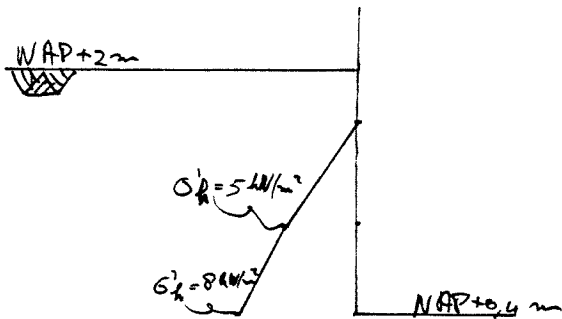
De horizontale = $\sigma'_v = \sigma - p$



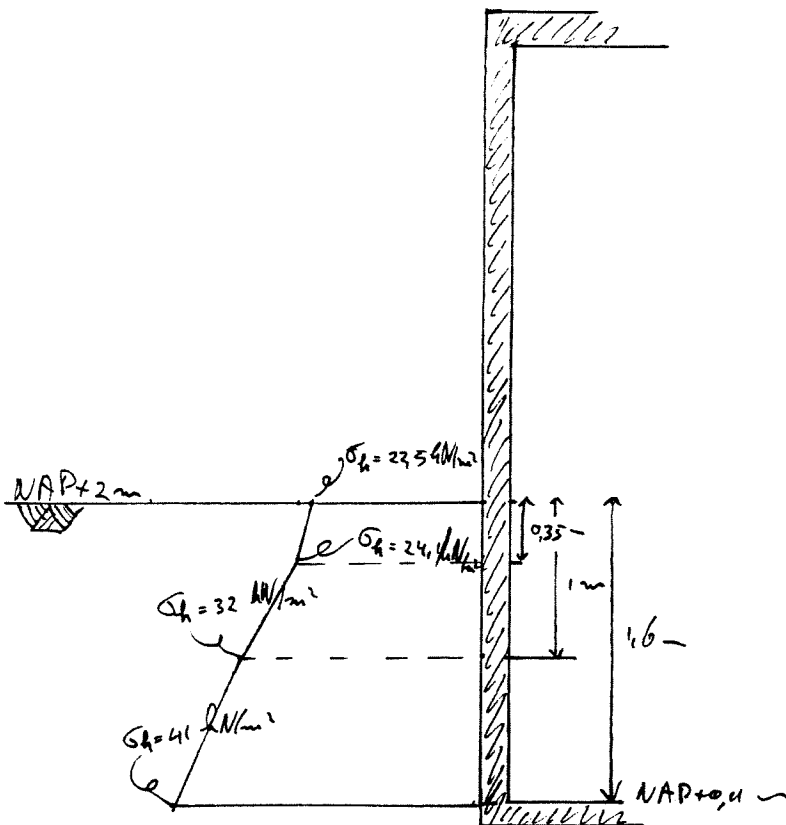
De horizontale gronddruk kan afgeleid worden van de verticale horizontale spanning en de waterspanning.

De water hevingconstructie is een stijve constructie, die niet noemenswaardig zal verplaatsen. Er zal dan ook met neutrale gronddruk gerekend worden i.p.v. actieve gronddruk.

Voor σ'_h geldt: $\sigma'_h = \sigma'_v \cdot 0,5$

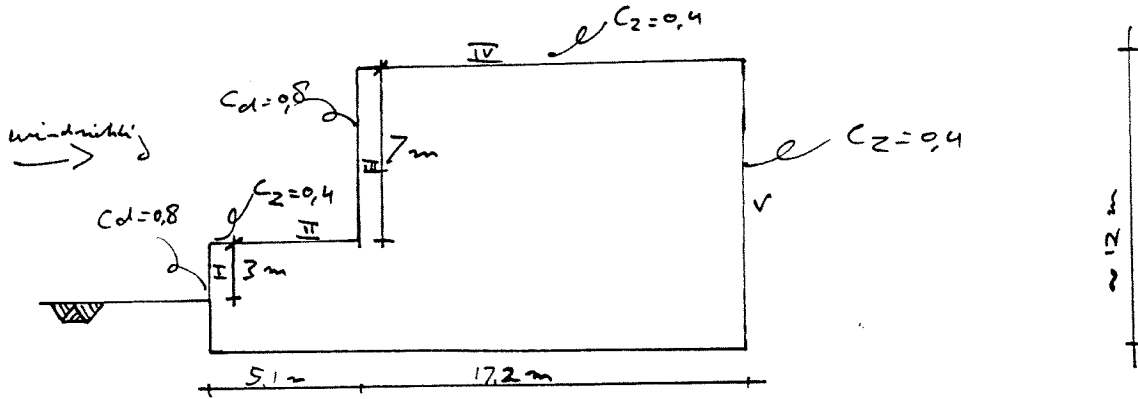


De waterdruk is afzijdig, zodat de belastingfiguur er als volgt uitziet:



Windbelasting

Voor de windbelasting wordt gewerkt met een uit de NEN 6702, TGB1990 afgeleide (vereenvoudigde) formule



Voor de windbelasting W_i geldt: $W_i = A_i \cdot C_i \cdot P_w$

P_w = extreme waarde steurdruk

C_i = windvormfactor

A_i = betreffende oppervlakte

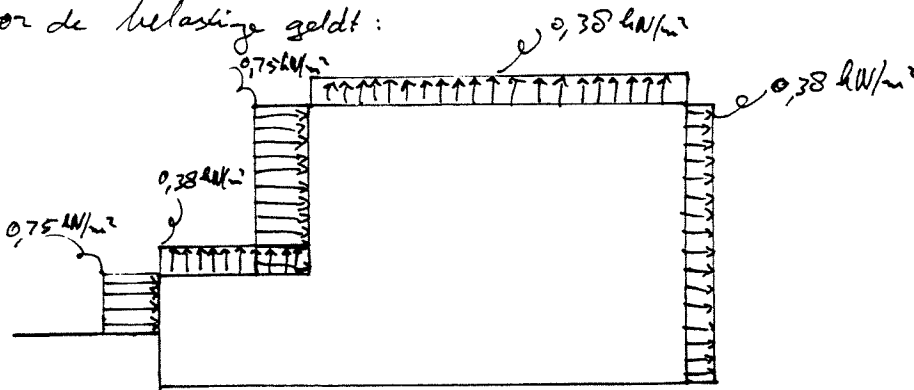
Druk = + zuiging = -

$P_w = 0,94 \text{ kN/m}^2$

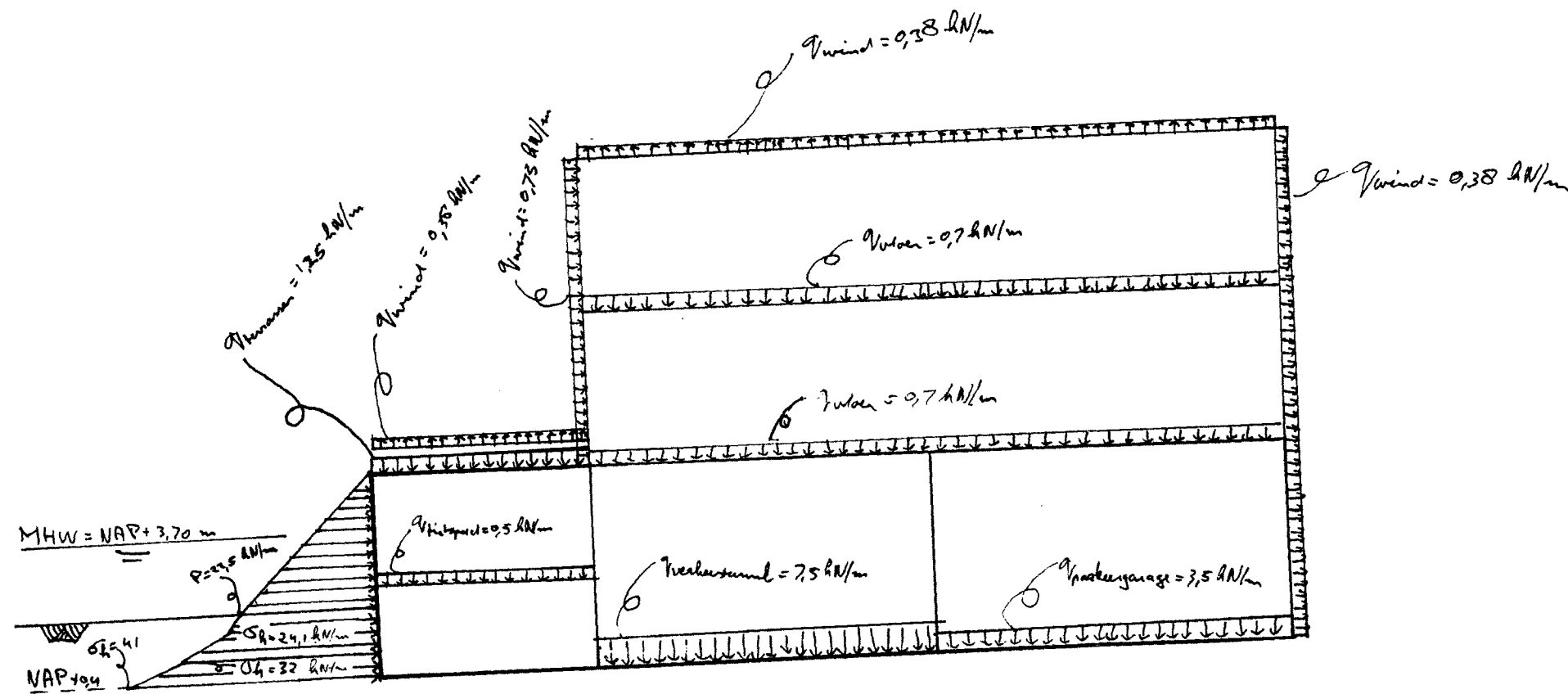
per stralende meter:

Opp I = 3 m ²	→ $W_I = 3 \cdot 0,8 \cdot 0,94 = 2,26 \text{ kN}$
II = 5,1 m ²	→ $W_{II} = 5,1 \cdot 0,4 \cdot 0,94 = -1,92 \text{ kN}$
III = 7 m ²	→ $W_{III} = 7 \cdot 0,8 \cdot 0,94 = 5,26 \text{ kN}$
IV = 17,2 m ²	$W_{IV} = 17,2 \cdot -0,4 \cdot 0,94 = 6,47 \text{ kN}$
V = 12 m ²	$W_V = 12 \cdot -0,4 \cdot 0,94 = 4,51 \text{ kN}$

Voor de belastingen geldt:



In onderstaand figuur zijn alle belastingen die in het extreme geval op de waterkering werken opgenomen. De belastingen gelden voor 1 strekbreedte meter waterkering



Resultaten berekening krachtsverloop

De invoer van de geometrie van de constructie is weergegeven in figuur figuur 7.10. In de resultaten van de uitvoer worden de nummers van de knopen en staven gebruikt. De uitvoer wordt zowel grafisch als in tabelvorm gepresenteerd.

De invloed van de schematisatie van de fundering op de krachten in de constructie is beperkt. Bij de oplegreacties zitten er hele kleine variaties in de verticale krachten. Dit blijft beperkt tot enkele kilo Newtons. In de horizontale oplegreacties zit vanzelfsprekend wel variatie, omdat de rolopleggingen geen horizontale krachten op kunnen nemen. Voor de controle van de sterkte wordt uitgegaan van de schematisatie met scharnieren, omdat de palen kleine horizontale krachten op kunnen nemen. De grote horizontale oplegreactie in)1 wordt opgenomen met een schoorgeheide paal.

Schematisatie met scharnieroplegging

Oplegreacties (BG)

B.G.	Oplegging	Knoop	Oplegreacties		
			X	Z	My
BG1	O1	K1	-103.88	-103.69	0.00
	O2	K8	0.28	-422.02	0.00
	O3	K7	-6.64	-500.62	0.00
	O4	K6	-49.32	-224.94	0.00
Som van de reacties			-159.56	-1251.27	
Som van de lasten			159.56	1251.27	

Knoopkrachten B.G.

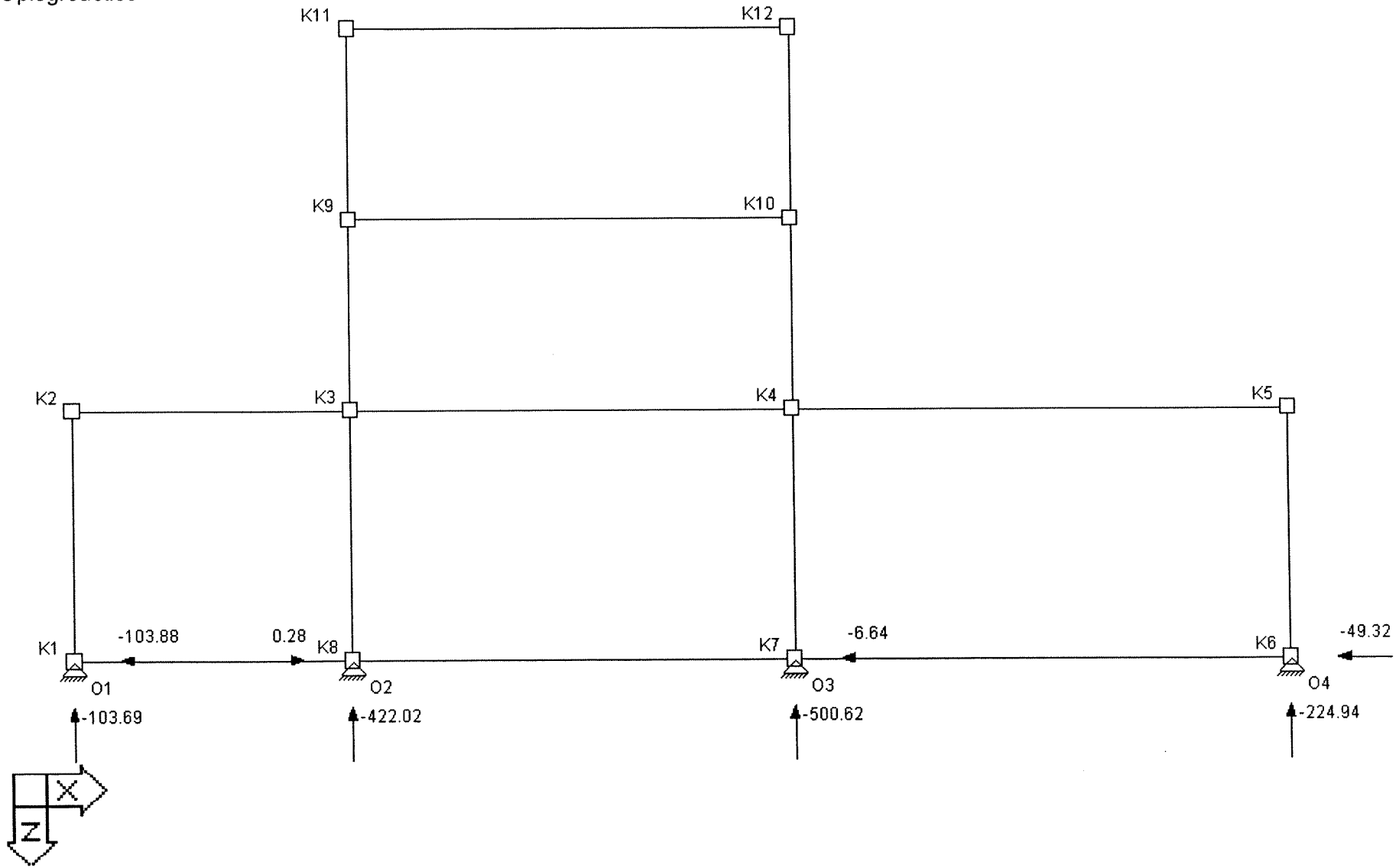
Staf	B.G.	Knopen	Trek/Druk	Knoopkrachten		
				Nx	Vz	My
S1	BG1	B K1	Druk	98.4	-103.9	54.7
		E K2	Druk	-32.2	-41.0	-21.2
S2	BG1	B K2	Druk	41.0	-32.2	21.2
		E K3	Druk	-41.0	-47.9	-61.3
S3	BG1	B K3	Druk	41.9	-55.0	54.4
		E K4	Druk	-41.9	-70.6	-117.4
S4	BG1	B K4	Druk	46.6	-69.1	91.9
		E K5	Druk	-46.6	-71.9	-104.6
S5	BG1	B K5	Druk	71.9	-46.6	104.6
		E K6	Druk	-138.2	49.3	116.0
S6	BG1	B K6	Trek	0.0	86.8	-116.0
		E K7	Trek	0.0	92.0	139.9
S7	BG1	B K7	Trek	0.0	110.3	-161.8
		E K8	Trek	0.0	97.4	109.6
S8	BG1	B K8	Trek	0.0	68.2	-105.7
		E K1	Trek	0.0	5.3	-54.7
S9	BG1	B K3	Druk	190.2	0.3	2.7
		E K8	Druk	-256.4	-0.3	-3.9
S10	BG1	B K4	Druk	232.0	-6.6	8.6
		E K7	Druk	-298.3	6.6	22.0
S11	BG1	B K3	Druk	87.3	-0.6	4.3
		E K9	Druk	-67.1	-3.2	-8.8
S12	BG1	B K9	Trek	-6.6	-26.9	28.7
		E K10	Trek	6.6	-30.3	-42.7
S13	BG1	B K10	Druk	72.2	-9.2	18.8
		E K4	Druk	-92.3	11.3	16.9
S14	BG1	B K9	Druk	40.3	9.8	-19.9
		E K11	Druk	-20.1	-13.7	-21.2
S15	BG1	B K11	Druk	13.7	-20.1	21.2
		E K12	Druk	-13.7	-21.7	-27.6
S16	BG1	B K12	Druk	21.7	-13.7	27.6
		E K10	Druk	-41.8	15.8	23.9

Staafkrachten B.G.

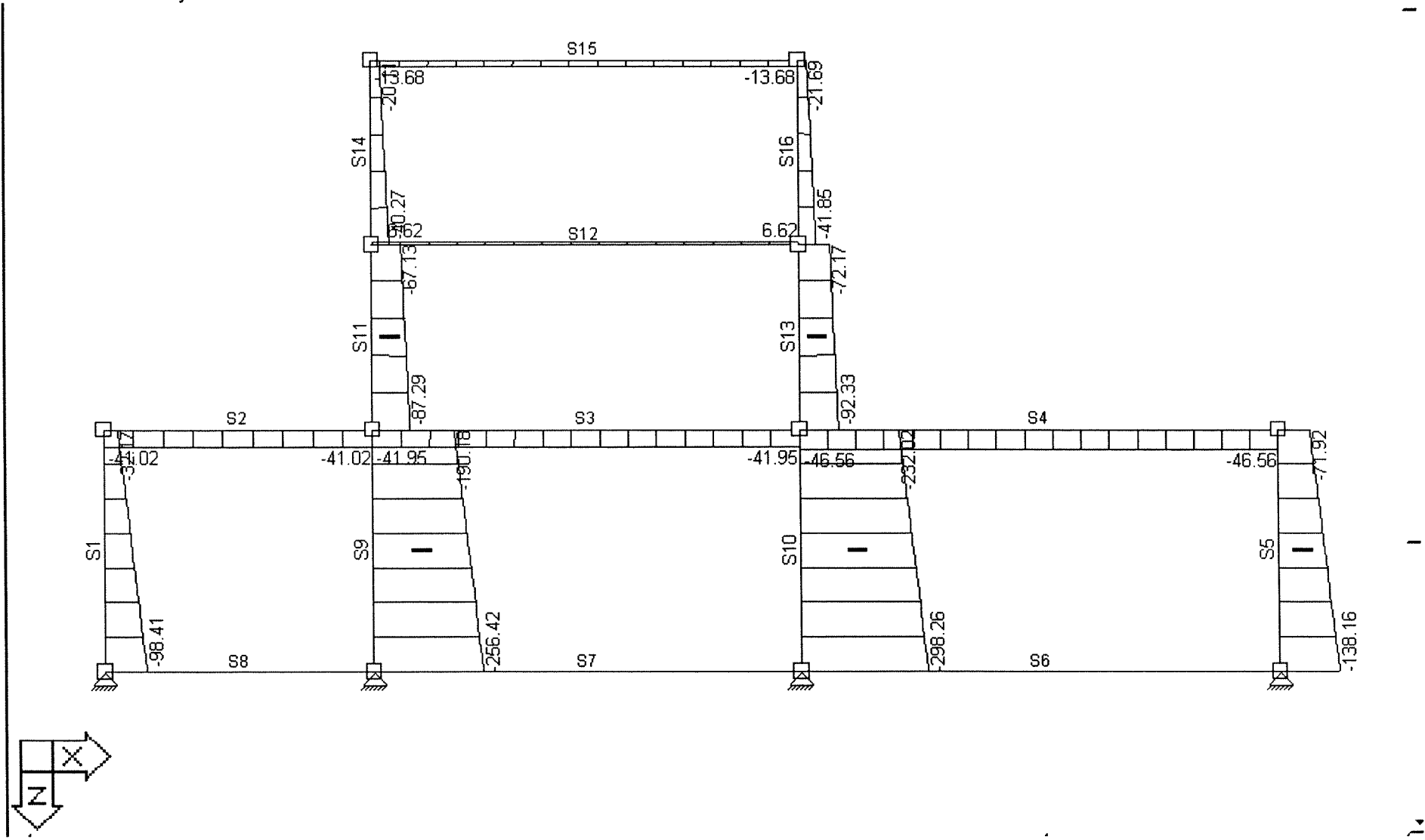
Staf	B.G.	Mb	Mmax	x-Mmax	Me	x-M0	x-M0	Nmax	Vb	Ve	
S1	BG1	-54.7	45.7	2.153	-21.2	0.647	4.076	D	-98.4	103.9	-41.0
S2	BG1	-21.2	11.7	2.049	-61.3	0.824	3.273	D	-41.0	32.2	-47.9
S3	BG1	-54.4	43.1	3.548	-117.4	1.186	5.909	D	-41.9	55.0	-70.6
S4	BG1	-91.9	62.1	4.460	-104.6	1.625	7.293	D	-46.6	69.1	-71.9
S5	BG1	-104.6	116.0	4.600	116.0	2.213	-	D	-138.2	46.6	49.3

S6	BG1	116.0	-75.4	4.416	139.9	1.640	7.190	D	-0.0	-86.8	92.0
S7	BG1	161.8	-75.2	4.301	109.6	1.875	6.726	D	-0.0	-110.3	97.4
S8	BG1	105.7	-55.5	4.733	-54.7	1.952	-	D	-0.0	-68.2	5.3
S9	BG1	-2.7	-3.9	4.600	-3.9	-	-	D	-256.4	-0.3	-0.3
S10	BG1	-8.6	22.0	4.600	22.0	1.292	-	D	-298.3	6.6	6.6
S11	BG1	-4.3	-4.1	0.587	-8.8	-	-	D	-87.3	0.6	-3.2
S12	BG1	-28.7	22.4	3.805	-42.7	1.283	6.326	T	6.6	26.9	-30.3
S13	BG1	-18.8	-18.8	0.000	16.9	1.929	-	D	-92.3	9.2	11.3
S14	BG1	19.9	-21.2	3.500	-21.2	1.837	-	D	-40.3	-9.8	-13.7
S15	BG1	-21.2	18.0	3.897	-27.6	1.259	6.534	D	-13.7	20.1	-21.7
S16	BG1	-27.6	-27.6	0.000	23.9	1.938	-	D	-41.8	13.7	15.8

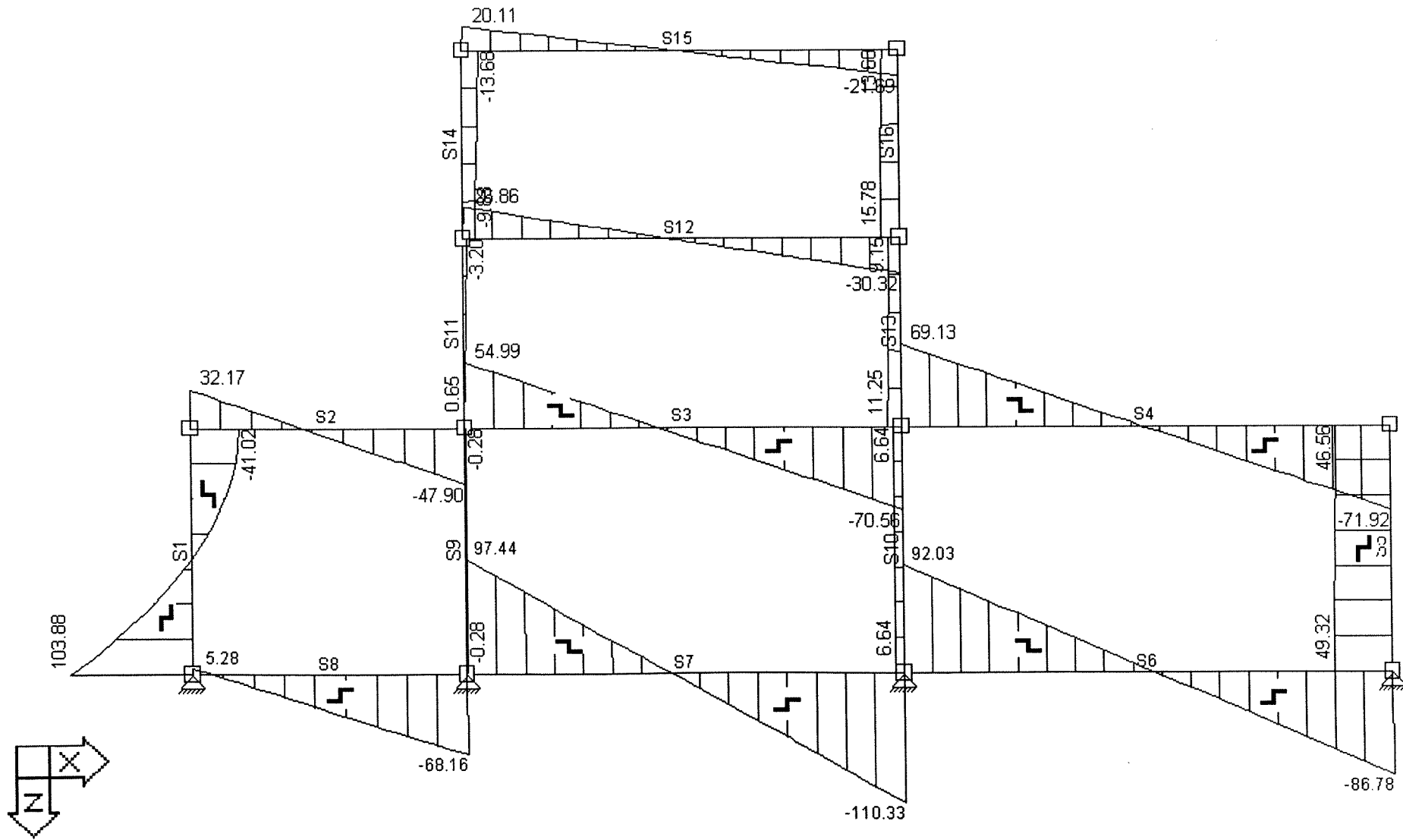
Oplegreacties



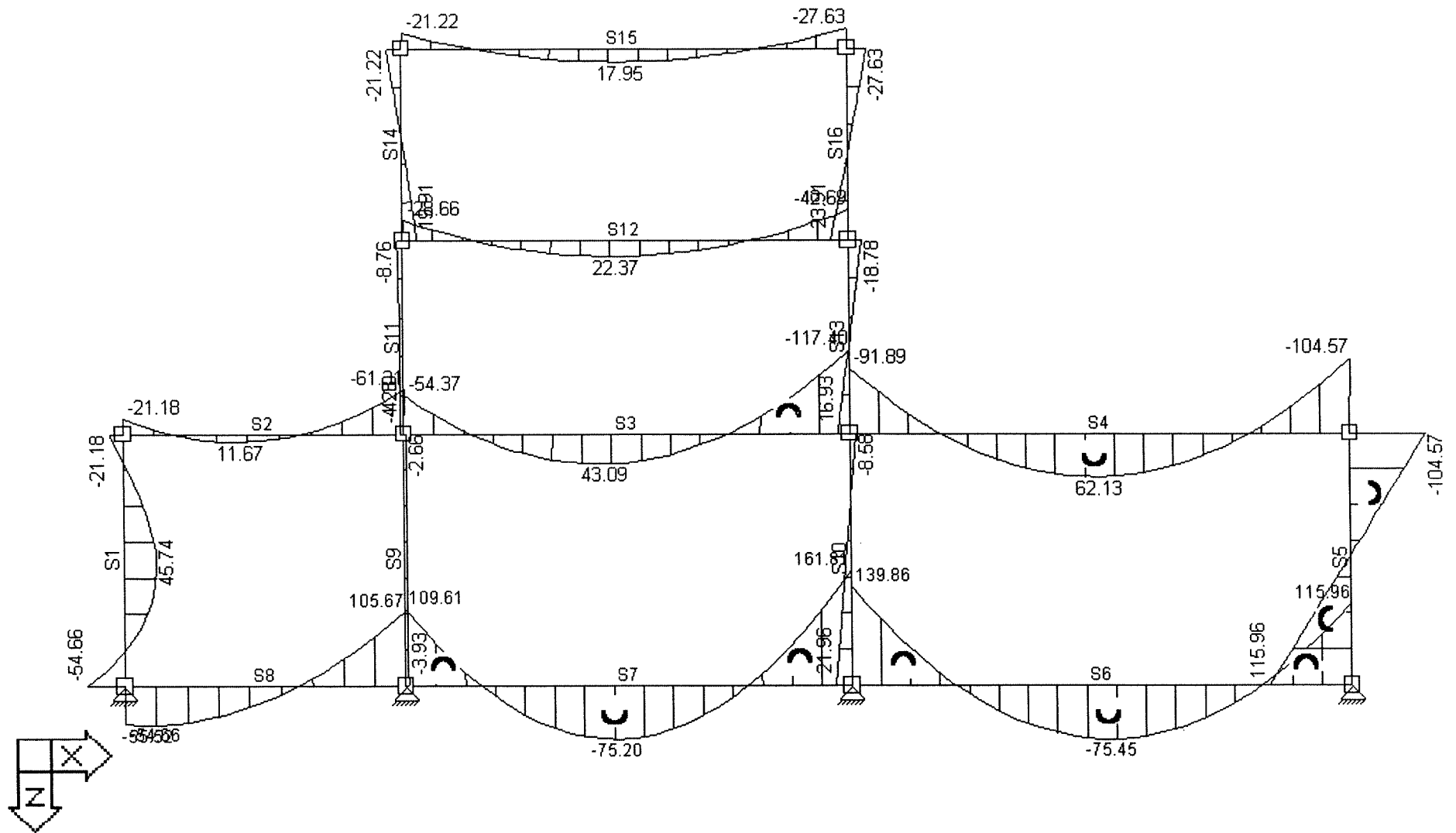
Normaalkrachtenlijn



Dwarskrachtenlijn



Momentenlijn



7.6 Fundering

Voor een fundering over deze lengte (200 m) mag eigenlijk niet van 1 sondering uitgegaan worden. Er is echter maar 1 sondering beschikbaar, zodat de berekeningen toch gedaan worden aan de hand van deze sondering. In de berekeningen wordt ook uitgegaan van de draagkracht van één paal. Er is geen rekening gehouden met de werking van de paalgroep.

7.6.1 Paalpunt draagvermogen

In deze paragraaf wordt de draagkracht van een paal met een inheidiepte tot NAP - 15 m bepaald. De palen zijn van gewapend beton en hebben een vierkante doorsnede van 450x450 mm. Uitgangspunt is dat uitwendig evenwicht wordt bereikt. Eerst dient de equivalente diameter (D_{eq}) te worden bepaald van elke paal. Deze diameter is $\sqrt{4/\pi}$ maal de dwarsafmeting van de paal. Op basis hiervan worden de drie trajecten geschematiseerd van de invloedzone volgens Koppejan⁷:

- Traject I loopt vanaf de paalpunt tot 0,7 à 4 maal de equivalente diameter naar beneden.
- Traject II loopt vanaf onderkant traject I tot de paalpunt.
- Traject III loopt vanaf de paalpunt tot 8 maal de equivalente diameter omhoog.

tabel 7-1: Bepaling invloedzones

afmeting (d*d)	$D_{eq} = \sqrt{4/\pi} * d$	0,7 * D_{eq}	4 * D_{eq}	8 * D_{eq}
450x450 mm	0,51 m	0,36 m	2,0 m	4,1 m

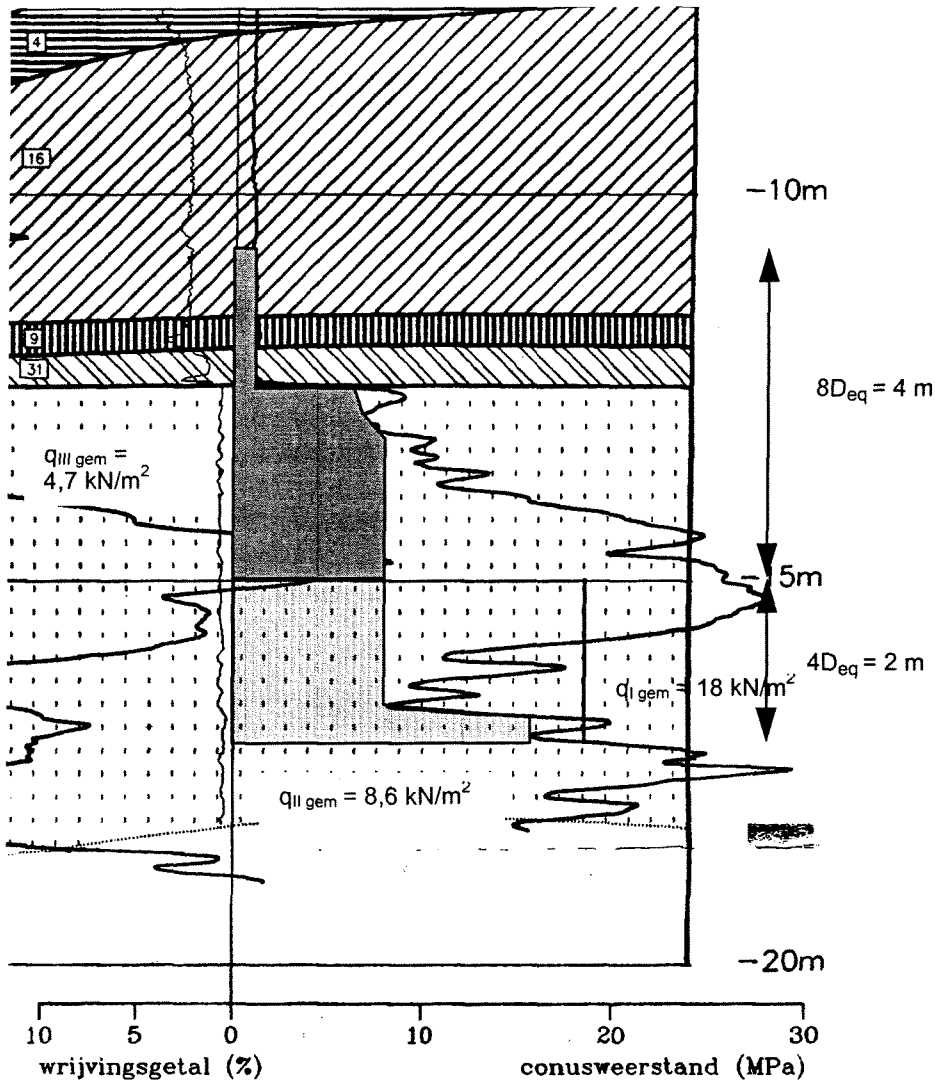
De formule voor het bepalen van de maximale puntweerstand luidt:

$$p_{r; \max; punt} = \frac{1}{2} \left(\frac{q_{c; I; gem} + q_{c; II; gem}}{2} + q_{c; III; gem} \right)$$

waarin:

$p_{r; \max; punt}$	maximale puntweerstand
$q_{c; I; gem}$	gemiddelde conusweerstand over traject I (vanaf paalpunt tot 0,7 - 4 * D_{eq})
$q_{c; II; gem}$	gemiddelde conusweerstand over traject II (vanaf traject I tot paalpunt)
$q_{c; III; gem}$	gemiddelde conusweerstand over traject III (vanaf paalpunt tot 8 D_{eq} boven)

⁷ Funderingstechnieken, collegedictaat van CTwa303, Prof.ir. A.F. van Tol, TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Delft 1993 pag. 3.9 – 3.15



Bij de berekening van de fundering wordt uitgegaan van de gegevens van sondering 1 in bijlage III.

Waarde $q_{c,I,gem}$:

$$(1/1,8) * (0,3 * 26,6 + 0,7 * 19,4 + 0,2 * 14 + 0,2 * 15,2 + 0,1 * 11,2 + 0,1 * 13,8) = 16,6 \text{ MPa.}$$

Waarde $q_{c,II,gem}$:

$$(1/1,8) * (0,20 * 13,8 + 1,6 * 8) = 8,6 \text{ MPa.}$$

Waarde $q_{c,III,gem}$:

$$(1/4) * (1,8 * 8 + 0,6 * 4,4 + 1,5 * 1,2) = 4,7 \text{ MPa.}$$

Op basis van deze conusweerstand kan, met behulp van de formule van Koppejan, de maximale puntweerstand per paal worden bepaald. Door deze puntweerstand te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de doorsnede van de paal kan het draagvermogen per paal worden bepaald:

$$\text{De draagkracht van de paal } F_{r,max;punt} = A_{punt} * p_{r,max;punt} = (0,45\text{m})^2 * 8,7 \text{ MN/m}^2 = 1,7 \text{ MN.}$$

tabel 7-2: Conusweerstand van de trajecten, maximale puntweerstand en draagvermogen per paal

Afmetingen	$q_{c,I,gem}$	$q_{c,II,gem}$	$q_{c,III,gem}$	$p_{r,max;punt}$	$F_{r,max}$
0,45m * 0,45m	16,6 MN/m ²	8,6 MN/m ²	4,7 MN/m ²	8,66 MN/m ²	1,7 MN

De designwaarde van de draagkracht van de paal is te berekenen uit de representatieve waarde, door de materiaalfactor toe te passen. De materiaalfactor voor grond is in dit geval 1,25. De draagkracht voor de paalpunt wordt dan 1400 kN

Ontwerpwaarde draagkracht paalpunt: 1400 kN.

7.6.2 Invloed schachtwrijving en negatieve kleeft

Naast de draagkracht van de paalpunt, is ook de invloed van de bovenliggende lagen op de paal van belang. De grond kan zowel bijdragen aan de draagkracht (schachtwrijving) als zorgen voor een extra belasting (negatieve kleeft).

Schachtwrijving

De maximale schachtwrijving wordt bepaald volgens: $F_{r,max;schacht} = O_p \Delta L p_{r,max;schacht}$
waarin:

$F_{r,max;schacht}$	de maximale schachtwrijving
O_p	de omtrek van de paalschacht (= 4 * diameter paal)
ΔL	de lengte waarover de schachtwrijving wordt gerekend (= dikte zandlaag)
$p_{r,max;schacht}$	de maximale paalschachtwrijving = $\alpha_s * q_c$ (conusweerstand)

$p_{r,max;schacht}$ is te berekenen door de conusweerstand van de onderste zandlaag te vermenigvuldigen met de factor α_s (het percentage van de conusweerstand dat als schachtwrijving in rekening gebracht mag worden), hier 0,010 groot.

In het beschouwde geval is q_c :

$$(1/2,5) * (0,3*22,4 + 0,2*22 + 0,8*17,4 + 0,1*11,8 + 0,4*10 + 0,3*7,2 + 0,2*6,2 + 0,2*8 = 14 \text{ MPa}$$

Hiermee komt $p_{r,max;schacht}$ op 140 KN/m². ΔL is 2,5 m, O_p is 4* 0,45m

De maximale schachtwrijving is dan 630 kN per paal.

De designwaarde van de schachtwrijving kan ook berekend worden door het toepassen van de materiaalfactor 1,25.

Ontwerpwaarde schachtwrijving: 504 kN.

Negatieve kleeft

Volgens de voorspellingen⁸ zal de kruin van de huidige dijk de komende 100 jaar door restzetting en bodemdaling zo'n 60cm zakken. Dit is een dusdanig grote waarde, dat er negatieve kleeft te verwachten is.

De neerwaarts gericht wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleeft wordt bepaald volgens: $F_{s,nk} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$

waarin:

$F_{s,nk}$	de wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleeft
O_p	de omtrek van de paalschacht (= 4 * diameter paal)
h	de dikte van de laag waarvan de negatieve kleeft wordt berekend
K_0	de neutrale horizontale gronddrukcoëfficiënt (zie tabel 7-3)
σ_v'	de gemiddelde verticale effectieve spanning in de beschouwde laag
δ	de wrijvingshoek tussen paal en grond

Voor alle realistische waarden van K_0 en δ varieert de factor $K_0 \tan \delta$ tussen 0,2 en 0,3. In de praktijk wordt derhalve 0,25 aangehouden

Hieruit volgt dat $F_{s,nk}$ op te splitsen is in 6 trajecten, elk bestaande uit één grondlaag.

⁸ Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen, F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999

tabel 7-3: Rekenparameters grondeigenschappen

Van [m]	Tot [m]	Materiaal	O_p [m]	h [m]	σ_v' [kN/m ²]	$F_{s,nk}$ [kN]
0	-5,5	siltige klei	1,80	5,5	29,3	73
-5,5	-6,8	humeuze klei	1,80	1,3	60,5	35
-6,8	-8,0	veen	1,80	1,2	63	34
-8,0	-11,6	Siltige klei	1,80	3,6	70,8	115
-11,6	-12,0	Veen	1,80	0,4	78,4	14
-12,0	-12,5	siltige klei	1,80	0,5	80,6	18
					totaal	290

Dit betekent dat voor alle trajecten de neerwaartse wrijvingskracht kan worden bepaald met $F_{s,nk} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$. De totale neerwaartse wrijvingskracht voor de paal komt op 290 kN.

De negatieve wrijving is wordt niet beschouwd als een belasting op de paal, maar als negatief draagvermogen. De rekenwaarde voor de negatieve kleef wordt verkregen door de representatieve waarde te vermenigvuldigen met de materiaalfactor. De materiaalfactor voor grond is 1,25.

Ontwerpwaarde negatieve kleef: 360 kN.

Totale invloed

De draagkracht die ontleend kan worden aan de schachtwrijving is groter dan de belasting door de negatieve kleef. Netto kan er 140 kN (500 kN – 360 kN) opgeteld worden bij de draagkracht geleverd door de paalpunt. Het totale draagvermogen van een paal wordt dan:

paalpunt: 1400 kN
 schacht: 140 kN +
 totaal 1540 kN/paal

7.6.3 Palenplan

Onder de Doos zijn twee soorten palen nodig:

- palen die de verticale krachten afdragen
- palen die de horizontale krachten afdragen

Verticale palen

De plaatsing van de verticale palen in de dwarsdoorsnede is bekend. In een eerder stadium is reeds besloten dat de palen onder de vier wanden komen te staan. Wat nog berekend moet worden is de hart op hart afstand in de lengterichting.

De berekende palen kunnen een kracht van 1550 kN per paal opnemen. In de berekening van de oplegreacties is berekend dat de grootste verticale kracht per steunpunt 500 kN/m¹ bedraagt.

(zie hiervoor in *Resultaten berekening krachtsverloop*). De palen kunnen in langsrichting dus h.o.h. 3 m komen te staan, zodat de belasting maximaal 1500 kN per paal is.

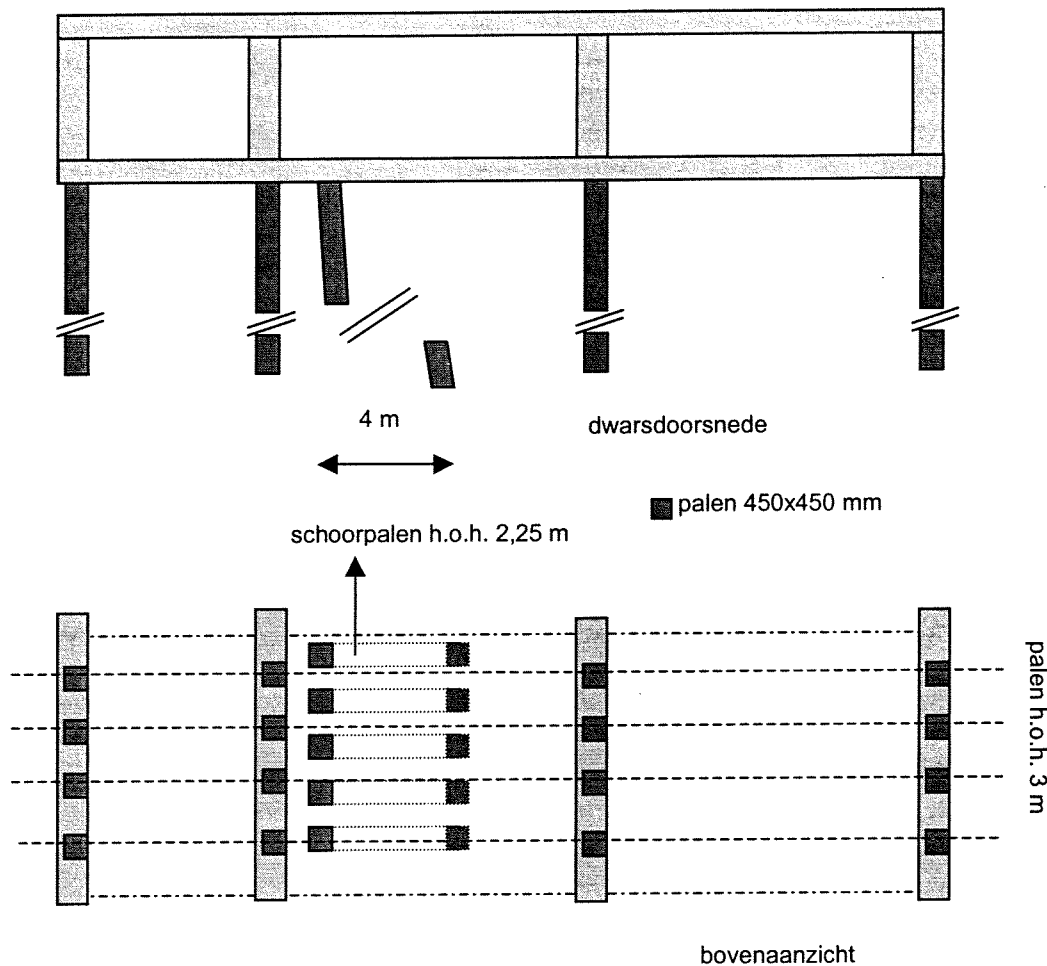
Schoorgeheide palen

In de schematisatie met de scharnieroplegging is de horizontale oplegreactie onder de twee middelste wanden te verwaarlozen ($0,3$ en $6,6 \text{ kN/m}^1$). Onder de twee buitenste wanden bedragen de horizontale oplegreacties 104 en 49 kN/m^1 . Deze reacties worden te groot verondersteld om opgenomen te kunnen worden door de verticaal geheide palen. Kleine horizontale krachten, zoals windbelasting vanaf de polderzijde, kunnen wel opgenomen worden door de verticale palen. Bij de berekening van de krachten in de constructie, in voorgaande paragraaf *Krachten op de constructie*, is ook een berekening gemaakt indien de verticale palen als rolopleggingen worden geschematiseerd (de resultaten van deze berekening zijn niet gerapporteerd). De grootte van de horizontale oplegreactie is in dat geval 160 kN/m^1 . Bij de berekening van de schoorgeheide palen wordt uitgegaan van deze belasting.

- De schoorgeheide palen zijn dezelfde palen als de verticale.
- De hoek met de verticaal bedraagt 15° .
- De op te nemen kracht wordt berekend aan de hand van de verticale draagkracht van de paalpunt, 1400 kN .

Horizontale draagkracht paal: $1400 \cdot \sin(15^\circ) = 360 \text{ kN}$.

Per strekkende meter waterkering moet er 160 kN opgenomen worden, zodat de palen h.o.h. $2,25 \text{ m}$ komen te staan. De palen hebben in de dwarsdoorsnede 4 m ruimte nodig. De palen worden tussen de tweede en de derde rij geheid (zie figuur 7.11)



figuur 7.11: Palenplan Doostructie

7.6.4 Kwelscherm

Tegen de onderloopsheid van de waterkering moet een kwelscherm aangebracht worden. Het kwelscherm is een dunne damwand, die aan de bovenkant in het beton van de vloer zit. De lengte van de damwand wordt bepaald door het waterstandsverschil, de doorlatendheid van de grond en de maximaal toelaatbare stroomsnelheid. De lengte van de damwand is te berekenen met de rekenregel van Lane.

$$L_v \geq -1/3 * L_h + H * c_{w,creep}$$

De grond zal zakken, waardoor er een spleet tussen de vloer van de waterkering en de grond ontstaat. Er mag dus een horizontale weerstand tegen piping in rekening gebracht worden. Het waterstandsverschil tussen de grondwaterstand in de polder (NAP - 2 m) en het MHW (NAP + 3,70 m) is 5,70 m. De materiaalcoëfficiënt $c_{w,creep}$ van klei is 2⁹. Het verval over de kering is Ingevuld levert dit:

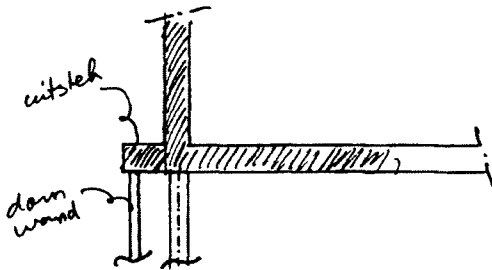
$$L_v \geq -1/3 * 0 + 5,70 * 2 = 11,4 \text{ m}$$

⁹ Technische rapport voor controle op het mechanische piping bij rivierdijken, Ir. E.O.F. Calle, Ir. J.B. Weijers, TAW, Delft, januari 1994 pag. 1

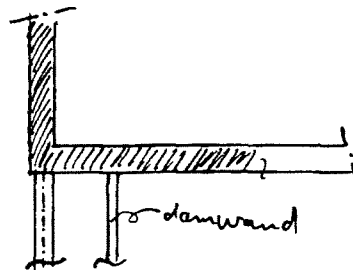
De benodigde verticale kwelweglengte is 11,4 m. De benodigde lente voor de damwand is dan ongeveer 6 m.

De plaats van de damwand bepaald de opwaartse waterdruk op de constructie. In eerste instantie is uitgegaan van plaatsing onder de linker wand van de kering. De linker palenrij zou dan iets naar binnen geplaatst worden. Het naar binnen plaatsten van palen heeft tot gevolg dat de verticale krachten uit de linker wand als dwarskracht via de vloer naar de palen worden gebracht. Een ander nadeel is dat er spanningsconcentraties in de vloer ontstaan, op die plaatsen waar de palen onder de vloer zitten. Deze twee overwegingen leiden er toe dat de damwand verplaatst wordt. De twee mogelijkheden zijn:

- met een uitstek aan de rivierzijde van de kering (zie figuur 7.12).
- aan de binnenzijde van de linker palenrij (zie figuur 7.13).



figuur 7.12: Kwelscherm aan uitstek.



figuur 7.13: Kwelscherm aan binnenzijde linker palenrij.

Indien de damwand met een uitstek aan de vloer wordt bevestigd, heeft dit een aantal nadelen t.o.v. de plaatsing aan de binnenzijde van de linker palenrij. Het maken van het uitstek vraagt extra bekisting. De bouwkuip moet breder worden, waardoor er extra ontgraven moet worden. Over een lente van 200 m levert dit behoorlijk wat extra kosten op. De damwand komt aan de binnenzijde van de linker palenrij. Het nadeel hiervan is wel dat er op een klein deel van de vloer (het deel links van de damwand) een opwaartse waterkracht kan staan tijdens MHW.

7.7 Sterkte controle constructie.

Bij de sterktecontrole wordt nagegaan of de optredende krachten in de constructie opgenomen kunnen worden. De constructie bevat geen dwarskrachtwapening, zodat het beton de dwarskracht op moet kunnen nemen. Voor het opnemen van het moment wordt uitgegaan van een wapeningspercentage van 1%.

schuifspanningscontrole:

materiaal: beton B25

dwarskrachtwapening: geen

$$\tau_{\max} = 0,4 - 1 \text{ N/mm}^2$$

De maximaal optredende dwarskracht in de constructie is de dwarskracht in S7. De dwarskracht heeft daar een waarde van 110 kN/m^1 . De constructie heeft ter plaatse van de maximale dwarskracht een doorsnede van $1000 \cdot 500 = 500.000 \text{ mm}^2$. De optredende schuifspanning bedraagt: $110.000 \text{ N} / 500.000 \text{ mm}^2 = 0,22 \text{ N/mm}^2$. De constructie voldoet dus wat betreft de dwarskracht.

Momentencontrole

materiaal: beton B25

wapening: 1%

Met behulp van wapeningstabellen uit de TGB is te berekenen dat het maximaal op te nemen moment 900 kNm bedraagt. Het maximale moment in de constructie treed op in S7 en is 162 kNm . Ook wat het moment betreft voldoet de constructie dus ruimschoots.

Normaalkrachtcontrole

materiaal: beton B25

wapening 1%

$$f'_b = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{oppervlak doorsnede} = 500.000 \text{ mm}^2$$

Indien de doorsnede niet gewapend zou zijn, is de maximaal op te nemen normaalkracht $15 \cdot 500.000 = 7500 \text{ kN}$. Met wapening wordt deze waarde nog hoger. De maximale normaalkracht zit in S10: 298 kN . Ook wat de normaalkracht betreft voldoet de constructie dus ruimschoots.

8. Kostenberekening en vergelijking oplossingen

8.1 Kosten

De haalbaarheid van veel projecten wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kosten. Een kostenschatting voor de casestudy is moeilijk, omdat het ontwerp slechts globaal uitgewerkt is. Voor het vergelijken van de innovatieve oplossing met de traditionele dijkverbetering, is het wenselijk een schatting van de orde van grootte van de kosten te hebben. Voor een kostenraming is contact opgenomen met de afdeling Waterbouw Bedrijfszaken van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Zij hebben een raming van de kosten gemaakt.

De kosten voor de Doosconstructie bedragen:

onderdeel	prijs per eenheid	eenheid	totaal	kosten/onderdeel	opmerkingen
slopen woningen	100.000,-	st	20	2 mln	
combiwand (leveren + aanbrengen)	1.600	m ²	3500	5,6 mln	zie toelichting volgende alineea
aanleg tunnel	225.000,-	m ¹	200	45 mln	
nieuwbouw woningen	350.000	st	20	7 mln	
<i>totaalkosten</i>				<i>60 mln</i>	

De combiwand is een erg dure oplossing voor de tijdelijke waterkering. Het terugwinnen van de combiwand is praktisch niet mogelijk. Het trekken van de wand is 1,5 keer zo duur als het aanbrengen en bij het trekken ontspant de grond, waardoor de palen van de fundering horizontaal belast worden.

Een oplossing waarbij de tijdelijke waterkering deel uit maakt van de bouwkuip is veel goedkoper. In de bouwkuip moeten dan wel gordingen aangebracht worden. Deze oplossing is eerder in het ontwerpproces komen te vervallen, vanwege het grote verschil in maaiveldhoogte aan beide kanten van de bouwkuip. Vanwege de kosten is het de moeite waard om deze variant, of een variant waarbij de combiwand deel uit maakt van de bouwkuip, nader te onderzoeken.

De totale bouwkosten van de waterkering zijn geraamd op 60 miljoen gulden. Een deel van deze kosten, ongeveer 10 miljoen, is waarschijnlijk terug te verdienen door de verkoop van de huizen, waardoor de totale kosten zakken naar 50 miljoen gulden.

8.2 Vergelijking doosconstructie met buitendijkse dijkverlegging.

De innovatieve oplossing en de reeds toegepaste oplossing van de buitendijkse dijkverlegging verschillen wezenlijk van elkaar. Beide oplossingen bieden (in de toekomst) het gewenste veiligheidsniveau tegen overstromingen, maar hebben totaal andere gevolgen voor de omgeving. Een belangrijk punt waarop beslissingen vaak gebaseerd zijn, zijn de kosten van een project, zodat op dit vlak ook een vergelijking gemaakt moet worden.

ruimtelijke gevolgen

De toegepaste oplossing met de buitendijkse dijkverlegging heeft weinig tot geen invloed op de waterkering die verbeterd moet worden. De bebouwing die op beide taluds van de dijk staat kan blijven staan en ook de verkeersfunctie blijft gehandhaafd. De buitendijkse dijkverlegging heeft wel invloed op de rivier, doordat er een gedeelte van de bergende en stroomvoerende capaciteit ontnomen wordt. Tijdens de uitvoering zijn er grote problemen opgetreden met de stabiliteit van de waterkering. De waterkering is 10 jaar na de start van de

bouw nog steeds niet op hoogte, en biedt dus niet de gewenste bescherming. Uit berekeningen die gemaakt zijn in de studie *Dijken duurzaam veilig* blijkt dat de dijk aan het eind van de planperiode, 2050, wel aan de wettelijke eisen voldoet.

De doosconstructie heeft vanwege de paalfundering geen last van de slappe ondergrond. De problemen van overspannen water, waar de huidige oplossing mee te kampen heeft, spelen dus niet bij de innovatieve oplossing. In tegenstelling tot de buitendijkse dijkverlegging heeft de innovatieve oplossing verregaande gevolgen voor de waterkering. De weg en de bebouwen dienen gesloopt te worden. de functies wonen en verkeer keren wel weer terug in de innovatieve waterkering, maar in een totaal andere vorm. Of de vervanging van de woningen positief of negatief wordt beoordeeld zal verschillen van persoon tot persoon. De verkeersfunctie wordt in de doosconstructie wel beter vervuld dan bij de buitendijkse dijkverlegging, omdat deze opnieuw vormgegeven is en nu voldoet aan de richtlijnen.

De buitendijkse dijkverlegging is ten koste gegaan van een deel van de stroomvoerende en bergende capaciteit van de Noord. Volgens de huidige richtlijnen mag dit alleen indien er elders compenserende maatregelen worden genomen. Ten tijde van het uitvoeren van de dijkversterking was dit nog niet noodzakelijk. De mogelijkheden voor compenserende maatregelen zijn in de Noord zeer beperkt. De dijken liggen bijna overal direct naast de stroomvoerende geul. De vraag is dan ook of de gekozen oplossing nu nog uitgevoerd kan worden. De doosconstructie daartegen ligt op dezelfde plaats als de oude waterkering en kan wat betreft de wet Ruimte voor de rivier probleemloos uitgevoerd worden.

kostenvergelijking

De kosten van de traditionele en de innovatieve oplossing liggen ver uit elkaar. Van de buitendijkse dijkverlegging zijn de kosten niet te achterhalen, zodat voor dit alternatief ook een kostenraming bij de Bouwdienst van Rijkswaterstaat is gemaakt. Volgens die kostenraming kost de aanleg van de nieuwe dijk ongeveer 10 miljoen. Deze kosten zijn exclusief de compenserende maatregelen. De doosconstructie kost ongeveer 50 miljoen, en is daarmee een factor 5 duurder. Dit verschil zal echter kleiner worden na verrekenen van de kosten voor de compenserende maatregelen die nodig zijn bij de buitendijkse dijkverlegging.

9. Conclusies casestudy Alblasserdam

In het begin van de casestudy Alblasserdam is aangegeven dat de dijkverhoging voor het dijvak dp 137⁺¹⁸⁵ tot 139⁺⁰⁰⁰ gerealiseerd is door een buitendijkse dijkverlegging, omdat verhogen van de aanwezige dijk niet mogelijk was door de bebouwing op beide taluds. In de casestudy is, met behulp van de eerder in het project ontwikkelde innovatieve waterkeringen, naar een oplossing gezocht om de dijk wel te kunnen verhogen. Het blijkt mogelijk de dijk te verhogen met behoud van de functies wonen en verkeer, die de dijk nu ook heeft.

Het basisprincipe van de waterkering is de doosconstructie. Deze is ingevuld met een verkeers- en parkeerfunctie in de doos en een woonfunctie op de constructie. De constructie is gefundeerd op palen, vanwege de slappe ondergrond. Aan de rivierzijde van de waterkering is een kwelscherm aangebracht tegen onderloopsheid. Eén van de grootste problemen met de waterkering heeft betrekking op de bouwfase. In deze fase moet er een tijdelijke waterkering zijn, die dezelfde veiligheid moet bieden als de uiteindelijke waterkering. In dit geval is er voor gekozen om met een combiwand de tijdelijke waterkering te realiseren. Het grootste probleem hierbij was de maximale doorbuiging te beperken.

De relatief korte lengte van het te verbeteren traject, 200 m, heeft bij de ruimtelijke vormgeving voor problemen gezorgd. Het eerste ontwerp bestond uit een systeem met drie lagen: verkeer, parkeergelegenheid en wonen. Deze indeling had echter een te groot verschil tussen het wegniveau in de tunnel en het niveau op de aansluitende dijk. Met de in het Programma van Eisen aangegeven maximale helling voor de toeritten naar de tunnel bleek het niet mogelijk de indeling met 3 lagen vorm te geven. Er is uiteindelijk besloten een indeling met twee lagen te maken: verkeer en parkeren met daarop woningen.

In vergelijking met de oplossing van de buitendijkse dijkverlegging biedt de doosconstructie meer mogelijkheden. De buitendijkse dijkverlegging is lang niet overal mogelijk en in het kader van de wet Ruimte voor de rivier in principe ook niet meer toegestaan. De oplossing met de doosconstructie vraagt op maaiveldniveau niet meer ruimte dan de oude dijk. De doosconstructie wordt ook voor een langer planperiode gebouwd, 100 jaar, zodat er minder frequent verhoogd hoeft te worden. Het verhogen van de doosconstructie is wel gebonden aan de grenzen uit het ontwerp. Op een gegeven moment zal dus de gehele constructie vervangen moeten worden.

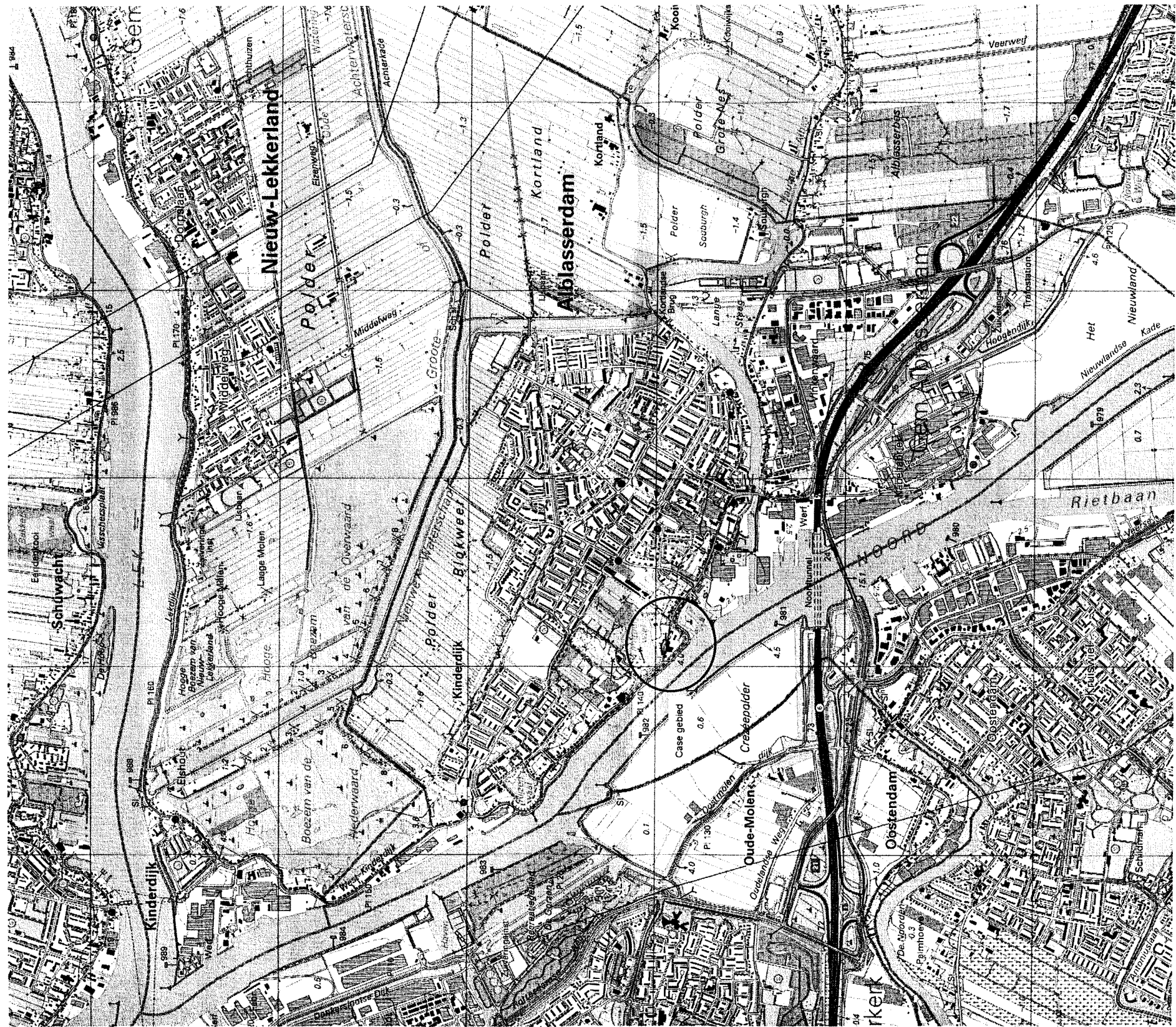
De kosten voor de dijkverbetering middels het bouwen van de doosconstructie zijn 60 miljoen. De kosten voor de buitendijkse dijkverlegging bedragen 10 miljoen. De doosconstructie is dus aanzienlijk duurder. Een gedeelte van de kosten kan terugverdiend worden door de verkoop van de woningen en de parkeergelegenheid, zodat de kosten terug gebracht kunnen worden tot 50 miljoen. Verder kan het de moeite waard zijn om de hogere kosten te accepteren, met behoud van de functies tegen het verlies van functies bij een traditionele dijkverhoging. De kosten voor de buitendijkse dijkverlegging zullen hoger uitkomen, door de compenserende maatregelen die genomen moeten worden.

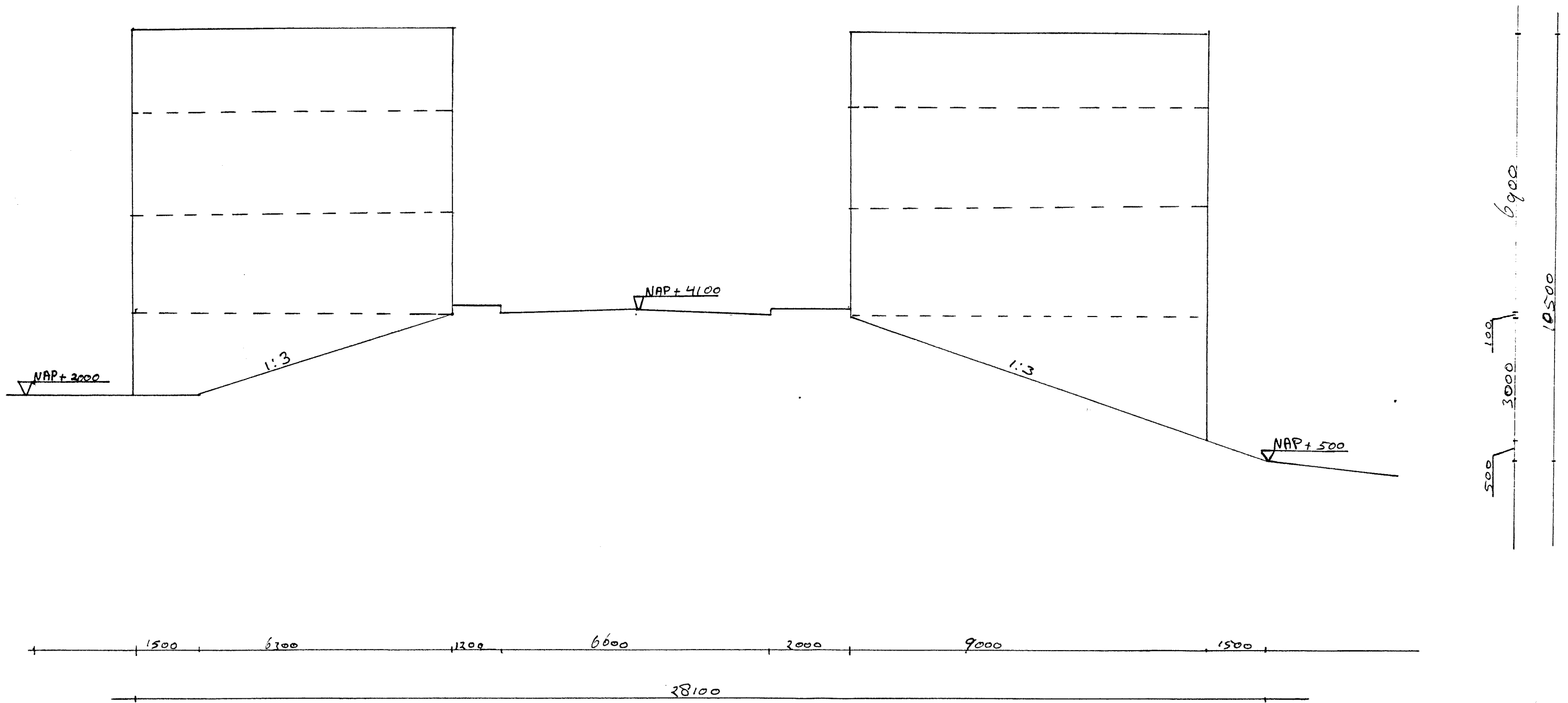
De doosconstructie lijkt vooral gerechtvaardigd op die plaatsen waar een traditionele dijkverhoging ten kosten gaat van de belevingswaarde van de leefomgeving. Deze plaatsen zijn voornamelijk waterkering in steden en bij lintbebouwing op de dijk. Het te verbeteren traject moet een bepaalde minimale lengte hebben om de doosconstructie nuttig te kunnen toepassen. De 200 m van het te verbeteren traject uit deze casestudy is absoluut de ondermaat, maar was eigenlijk al te kort.

De innovatieve oplossing gaat duidelijk gepaard met hogere kosten, die de maatschappij bereid moet zijn om op te brengen, in ruil voor het behoud van functies.

Bijlage I: Kaartmateriaal
afdruk top25 kaart schaal 1:25000 formaat A3
afdruk rivierkaart 753 en 754 schaal 1:2000 formaat A3

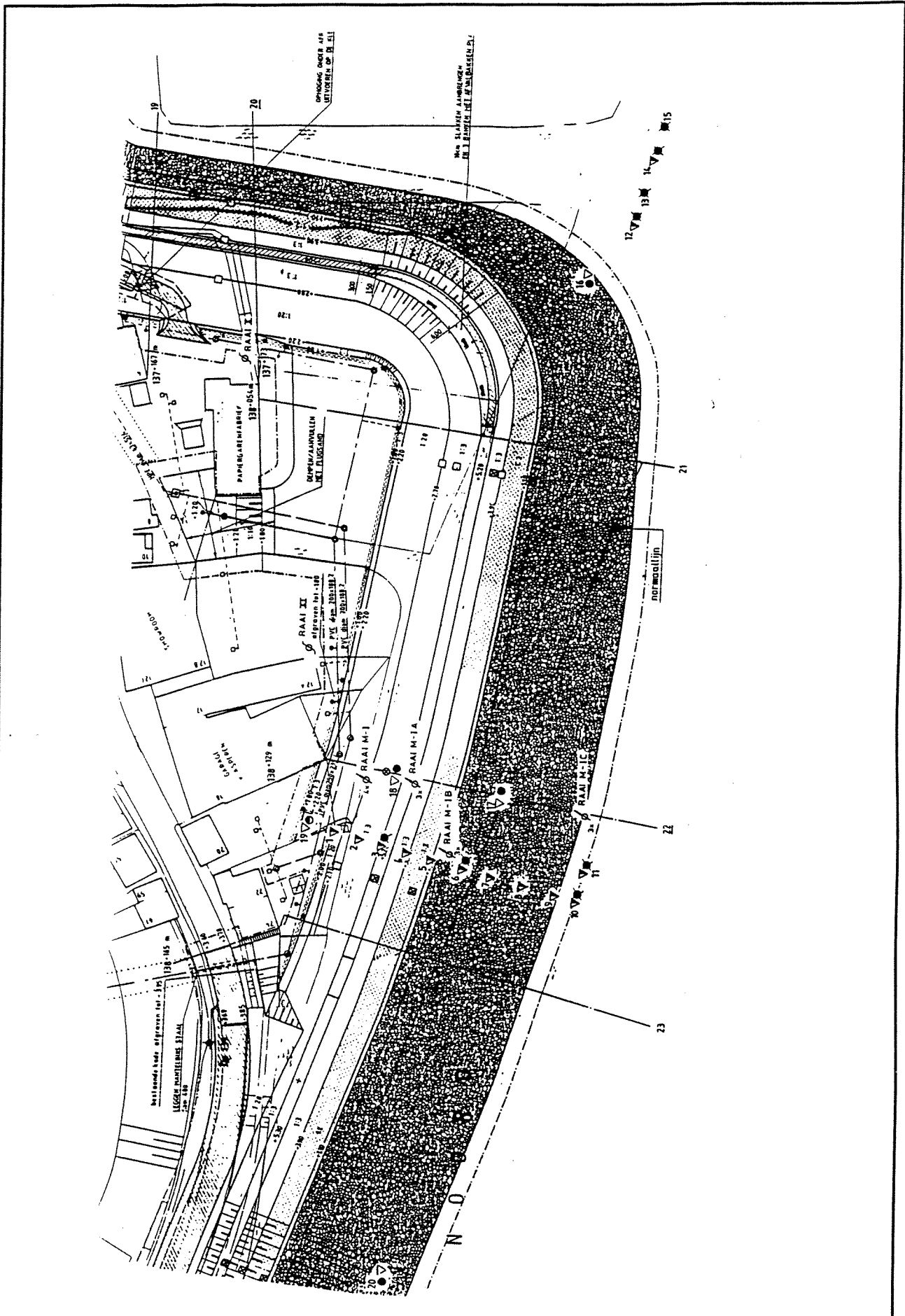
Bijlage II: Karakteristieke doorsnede dijkprofiel







Dwarsdoorsnede karakteristiek dijkeprofiel Alblasendam

Bijlage III: Geotechnische gegevens nieuwe waterkering
overzichtskaart sonderingen en boringen
geotechnisch profiel nieuwe waterkering



 GRONDMECHANICA DELFT	Postbus 69 2600 AB Delft Nederland	Telefoon (015) 269 35 00 Telefax (015) 261 08 21	datum	get.
			1998-05-19	hov
Dijkversterking Alblasterdam Noord I vak E Situatie tekening			356330	gez.
			BIJL. 	form. A4



Bijlage IV: Berekeningen toeritten tunnel

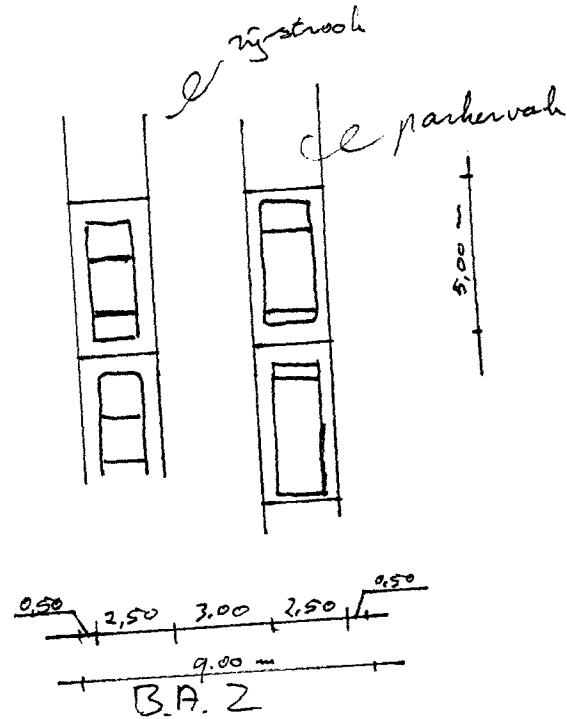
Indeling parkeergelegenheden

metingen

Beschikbare lengte: 80 m

80 m is de lengte van het horizontale streek tunnel

Voor het parkeren zijn 2 verschillende mogelijkheden: * evenwijdig aan de rijbaan
* "dwars" op de rijbaan



parkeervakken: 2,50 m breed
5,00 m lang

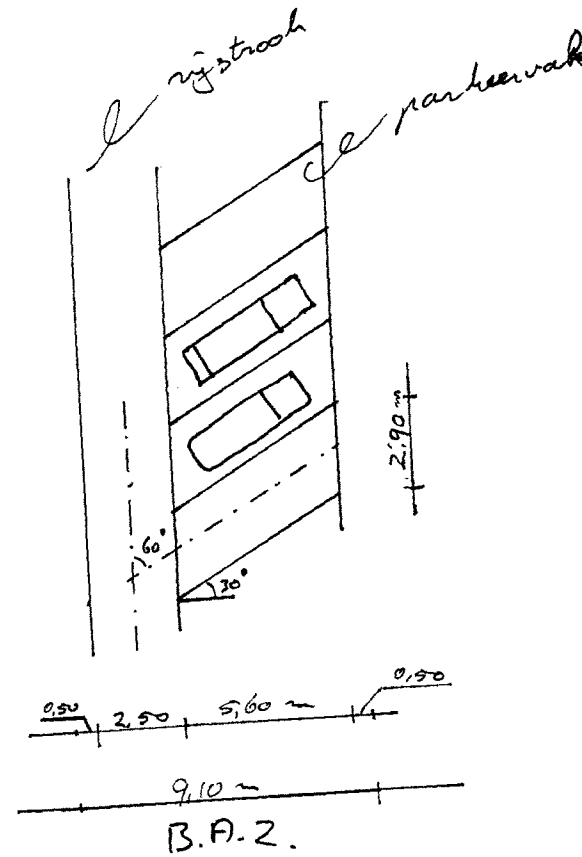
tussenruimte : 0,50 m
vak-constructie

breedte rijstrook : 3,00 m

Voor 30 auto's is een lengte van 150 m nodig

⇒ 2 stroken van 75 m lengte

De auto's moeten dan met allemaal netjes geparkeerd worden, anders is een lengte van 5 m niet voldoende



parkeervakken: zie plaatje

tussenruimte : 0,50 m
weg-constructie
vak-constructie

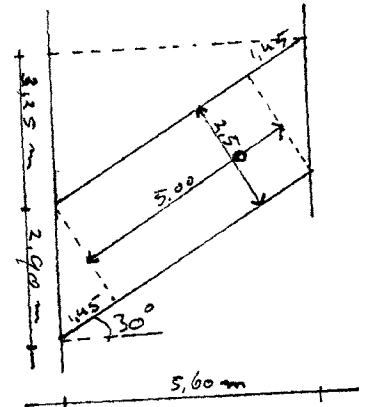
rijstrookbreedte: 2,50 m

totale lengte parkeervakken: $30 \cdot 2,90 + 2 \cdot 3,25 = 93,5 \text{ m}$

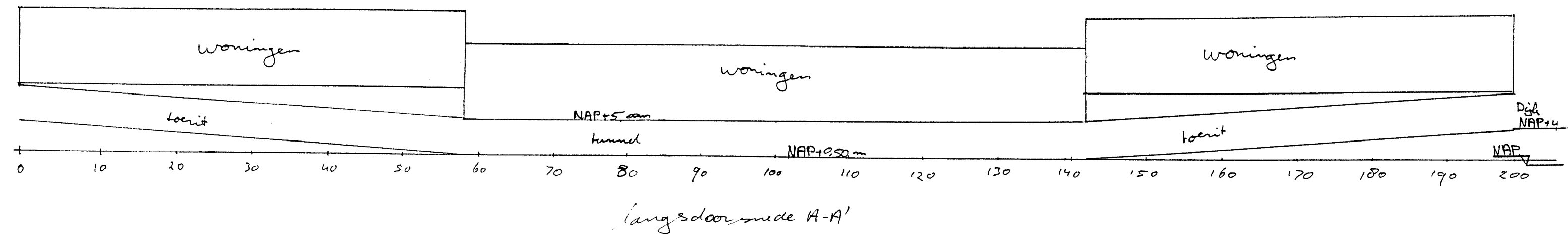
Dit is meer dan de beschikbare lengte.

2 oplossingen: * gedeelte parkeervakken evenwijdig
* op een afritten steiler maken bv. 8% ipv. 6%

Laatste oplossing lijkt het beste, omdat anders de tunnel breder wordt.

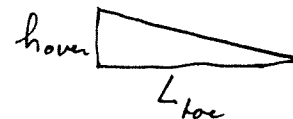


Alternatief 1 variant B: Doosconstructie met 2 lagen



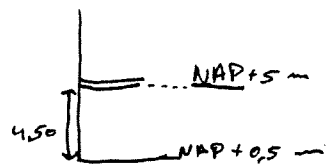
hellingspercentage toerit: 6%
 ligging weg op dijk: NAP+4 m
 ligging laagste punt tunnel: NAP+0,5 m
 te overbruggen hoogte: 3,5 m

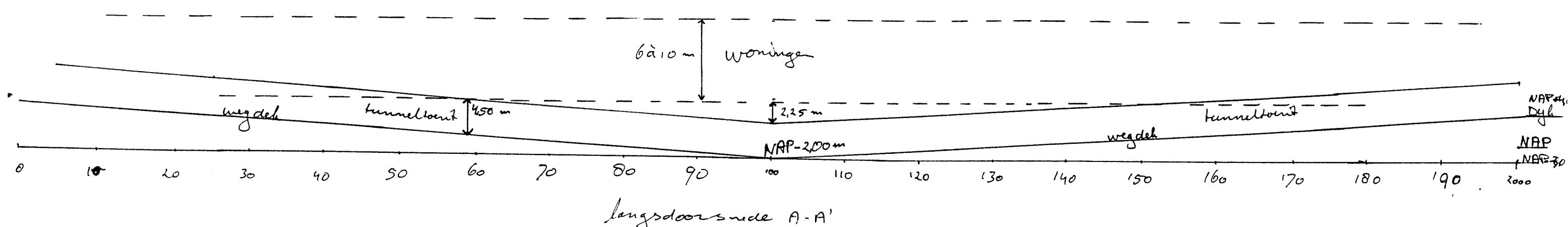
lengte toeritten: L_{toe}
 hellingspercentage: ... %
 te overbruggen hoogte: h_{over}



$$L_{toe} = \frac{h_{over}}{\dots \%} = \frac{3,5}{6\%} \approx 58 \text{ m}$$

De toeritten zijn elk 58 m lang. Dit past binnen de beschikbare 200 m (100 m per toerit)

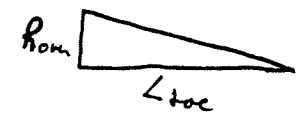




langsdoorsnede A-A'

- hellingpercentage toerit: 6%
- ligging weg op dijk: NAP+4 m
- ligging laagste punt tunnel: NAP-2 m
- te overbruggen hoogte: 6 m

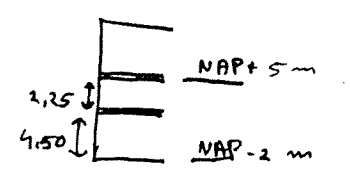
- lengte toeritten: L_{toe}
- hellingpercentage: ...%
- te overbruggen hoogte: h_{over}



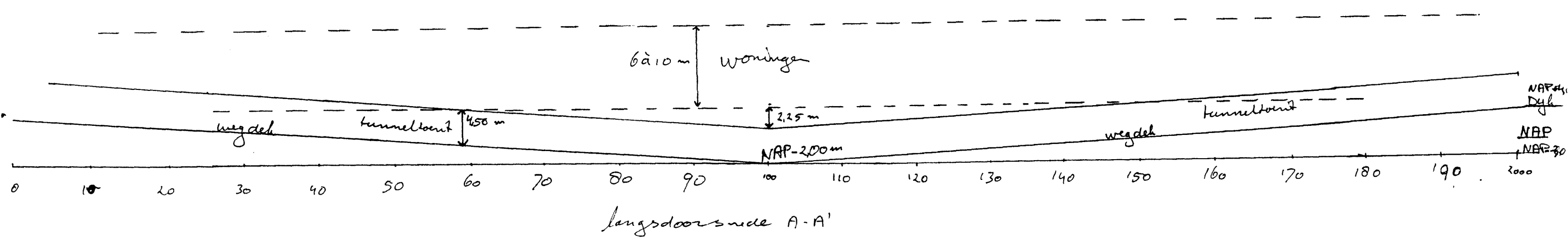
$$L_{toe} = \frac{h_{over}}{\dots\%} \rightarrow \frac{6\text{ m}}{6\%} = 100\text{ m}$$

De toeritten zijn elk 100 m lang (horizontaal gemeten)

Uit bovenstaande tekening blijkt dat dit probleem oplost met de parkeergarage, indien er niets aan de ruimtelijke vormgeving gedaan wordt.

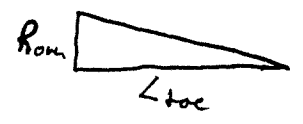


$$\begin{array}{r} 2.25 \\ 4.50 \\ \hline 6.75 \end{array} \rightarrow \approx 7\text{ m}$$



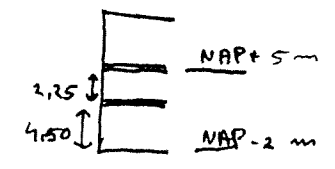
hellingspercentage toerit: 6%
 ligging weg op dijk: NAP + 4 m
 ligging laagste punt tunnel: NAP - 2 m
 te overbruggen hoogte: 6 m

lengte toeritten: L_{toe}
 hellingspercentage: ...%
 te overbruggen hoogte: h_{over}



$$L_{toe} = \frac{h_{over}}{\dots\%} \rightarrow \frac{6 \text{ m}}{6\%} = 100 \text{ m}$$

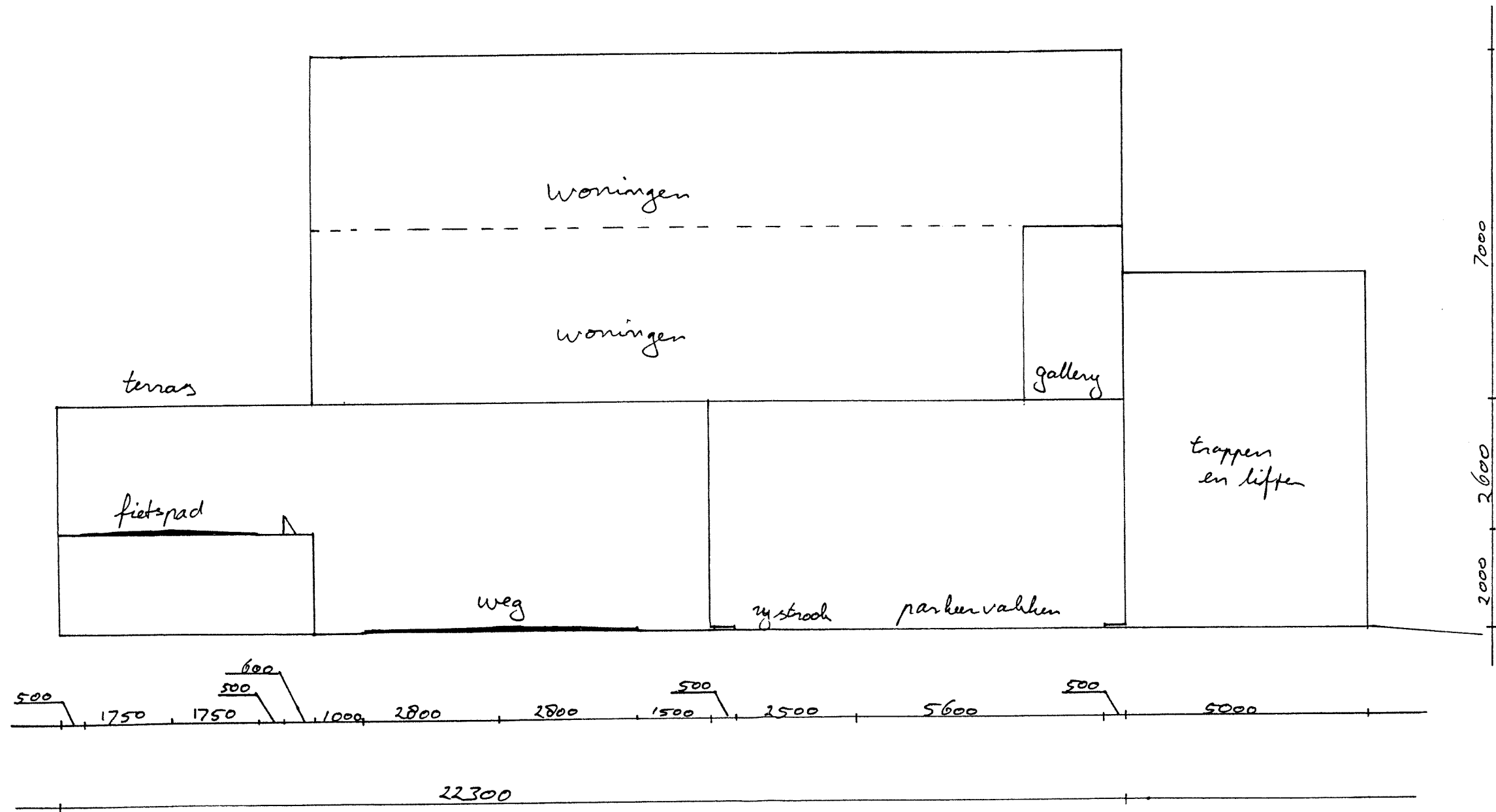
De toeritten zijn elk 100 m lang (horizontaal gemeten)
 Uit bovenstaande tekening blijkt dat dit probleem oplost met de parkeergarage, indien er niets aan de ruimtelijke vormgeving gedaan wordt.



$$\begin{array}{r} 2,25 \\ 4,50 \\ \hline 6,75 \end{array} \rightarrow \approx 7 \text{ m}$$

Bijlage V: Definitieve ruimtelijke vormgeving doos

NAP+2000

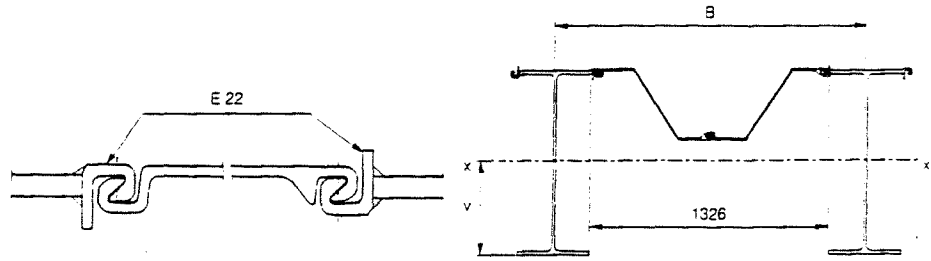


Bijlage VI: Combiwandberekening

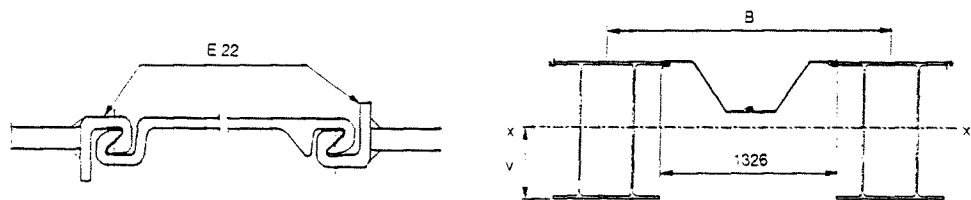
Combined Walls

For economical solutions AZ sections can also be combined with beams and tubular sections

Configuration examples W-AZ 18 Steel Wall System

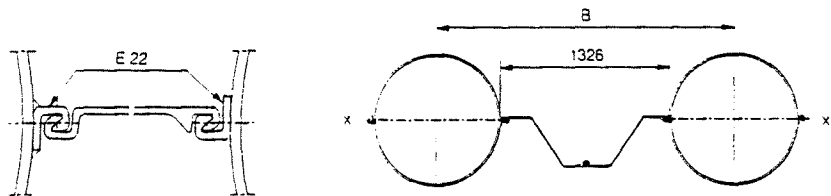


Properties of H - pile					Properties of H - pile with 2 E 22					Properties of intern. sheet pile AZ 18		Properties of combined wall Sol. 12/11					
Section	Height cm	Width cm	Mass kg/m	Moment of inertia		Neutral axis x - x V cm	Moment of inertia		Section modulus Wx cm ³	Moment of inertia Ix cm ⁴	Mass kg/m	System width B m	Moment of inertia Ix cm ⁴ /m	Section modulus Wx cm ³ /m	Mass (kg/m ²)		
				Ix cm ⁴	Iy cm ⁴		Ix cm ⁴ /m	Iy cm ⁴ /m							100% intern. sheet pile	80% intern. sheet pile	60% intern. sheet pile
W 610 x 325 x 195	62.2	32.7	195.0	167 900	14 240	34.02	189 599	23 547	5 573	43 080	148.8	1,653	140 762	4 137	220.8	200.2	179.6
W 760 x 380 x 257	77.3	38.1	257.5	341 900	25 010	41.49	376 777	37 210	9 081	43 080	148.8	1,707	245 962	5 928	250.4	230.5	210.6
W 1000 x 400 x 258	97.0	40.0	258.9	504 400	22 450	52.07	580 081	35 762	10 758	43 080	148.8	1,726	349 456	6 711	248.5	228.8	209.1



Properties of H - pile					Properties of 2 H - pile with 2 E 22					Properties of intern. sheet pile AZ 18		Properties of combined wall Sol. 22/11 (box pile)					
Section	Height cm	Width cm	Mass kg/m	Moment of inertia		Neutral axis x - x V cm	Moment of inertia		Section modulus Wx cm ³	Moment of inertia Ix cm ⁴	Mass kg/m	System width B m	Moment of inertia Ix cm ⁴ /m	Section modulus Wx cm ³ /m	Mass (kg/m ²)		
				Ix cm ⁴	Iy cm ⁴		Ix cm ⁴ /m	Iy cm ⁴ /m							100% intern. sheet pile	80% intern. sheet pile	60% intern. sheet pile
W 610 x 325 x 195	62.2	32.7	195.0	167 900	14 240	32.64	358 615	194 111	10 988	43 080	148.8	1,980	202 876	6 216	282.8	265.6	248.4
W 760 x 380 x 257	77.3	38.1	257.5	341 900	25 010	40.13	720 053	331 861	17 944	43 080	148.8	2,088	365 485	9 108	328.0	311.7	295.5
W 1000 x 400 x 258	97.0	40.0	258.9	504 400	22 450	50.36	1 066 668	356 819	21 182	43 080	148.8	2,126	521 989	10 366	323.6	307.6	291.6

Pipe - AZ 18 Steel Wall System



Properties of tubular pile					Properties of intern. sheet pile AZ 18		Properties of combined wall					
Outside diameter mm	Wall thickness mm	Moment of inertia cm ⁴	Mass kg/m	Radius of gyration cm	Moment of inertia cm ⁴	Mass kg/m	System width B m	Moment of inertia cm ⁴ /m	Section modulus cm ³ /m	Mass (kg/m ²)		
										100% intern. sheet pile	80% intern. sheet pile	60% intern. sheet pile
1 016.0	10.0	399 850	248.1	35.57	43 080	148.8	2,342	189 154	3 723	178.5	164.0	149.5
1 220.0	12.0	830 778	357.5	42.71	43 080	148.8	2,546	343 255	5 627	207.2	193.8	180.5
1 420.0	14.0	1 528 224	485.4	49.71	43 080	148.8	2,746	572 240	3 060	238.7	226.3	213.9

Other combinations are possible and the values are available on request.

Damwandberekeningen ten behoeve van de tijdelijke waterkering

De eerste berekeningen voor de combiwand zijn uitgevoerd voor de situatie dat er hoogwater optreedt, in combinatie met maximale ontgraving.

MHW: NAP +3,10 m

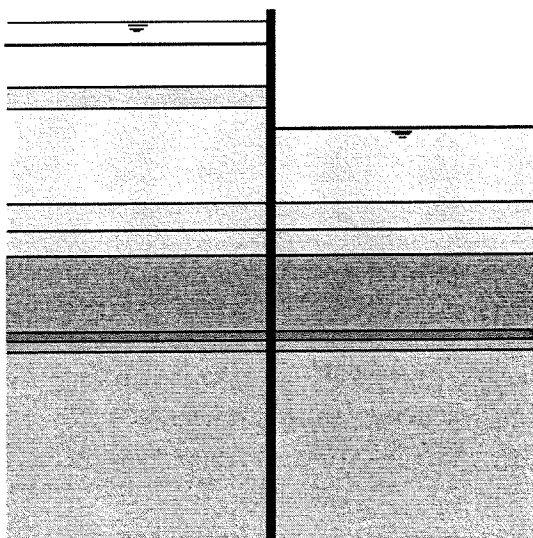
maaiveld voorland: NAP +2 m

maaiveld bouwplaats: NAP - 2 m

bovenkant combiwand: NAP + 3,60 m

grondwaterniveau polderzijde: NAP -2 m

buisprofielen: diameter 1420 mm



invoergegevens

Program : MSHEET

Version : 4.99.1

Update : 970921

Licence : 000

Company : RWS BOUWDIENST

Problem identification :

Date : 15-6-2000

Time : 13:56:26

Output file : D:\..\Msheet\combiwand1laatste.sho

Input file : D:\..\Msheet\combiwand1laatste.shi

Drawing data file : D:\..\Msheet\combiwand1laatste.shd

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA :

Number of curves on springcharacteristic: 1

Unloading curve on springcharacteristic : No

Number of construction stages : 1

Phi : 25.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 500.00 500.00

Soillayer properties : siltige klei 2

Volumetric weight dry : 14.00 [kN/m3] Ka : 0.47
 wet : 14.00 [kN/m3] Ko : 0.64
 Cohesion : 5.00 [kN/m2] Kp : 2.12
 Shaftfriction delta : 0.00 [degrees]
 Phi : 21.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 2000.00 2000.00

Soillayer properties : basisveen

Volumetric weight dry : 12.00 [kN/m3] Ka : 0.47
 wet : 12.00 [kN/m3] Ko : 0.64
 Cohesion : 5.00 [kN/m2] Kp : 2.12
 Shaftfriction delta : 0.00 [degrees]
 Phi : 25.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 500.00 500.00

Soillayer properties : siltige klei 3

Volumetric weight dry : 17.00 [kN/m3] Ka : 0.45
 wet : 17.00 [kN/m3] Ko : 0.63
 Cohesion : 5.00 [kN/m2] Kp : 2.20
 Shaftfriction delta : 0.00 [degrees]
 Phi : 22.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 2000.00 2000.00

Soillayer properties : pleistoceen zand

Volumetric weight dry : 17.00 [kN/m3] Ka : 0.33
 wet : 20.00 [kN/m3] Ko : 0.50
 Cohesion : 1.00 [kN/m2] Kp : 3.00
 Shaftfriction delta : 0.00 [degrees]
 Phi : 30.00 [degrees]
 Mod.subgrade reaction : Nr Top Bottom
 [kN/m3] K[1] 20000.00 20000.00

=====
 The input data has been checked and is valid.
 =====

*** C O N S T R U C T I O N P H A S E 1 : Output for all nodes !

Echo of the input data for stage 1

Surface LEFT : (Surface no. 1) Surface RIGHT : (Surface no. 2)

Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level	Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level
1	0.00	2.00	1	0.00	-2.00

Water Level Left / Right : 3.10 / -2.00 [m]

Soil properties LEFT : (Soil profile links)

Layer no	Soillayer Name	Level topside soillayer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	zand voorland	2.00	0.00	0.00
2	puin	0.00	0.00	0.00
3	siltige klei	-1.00	0.00	0.00
4	klei humeus	-5.50	0.00	0.00
5	veen	-6.80	0.00	0.00
6	siltige klei 2	-8.00	0.00	0.00
7	basisveen	-11.60	0.00	0.00
8	siltige klei 3	-12.00	0.00	0.00
9	pleistoceen zand	-12.50	0.00	0.00

Soil properties RIGHT: (Soil profile rechts)

Layer no	Soillayer Name	Level topside soillayer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	siltige klei	-2.00	0.00	0.00
2	klei humeus	-5.50	0.00	0.00
3	veen	-6.80	0.00	0.00
4	siltige klei 2	-8.00	0.00	0.00
5	basisveen	-11.60	0.00	0.00
6	siltige klei 3	-12.00	0.00	0.00
7	pleistoceen zand	-12.50	0.00	0.00

Used method on the LEFT-side of the sheetpile : lambda

Used method on the RIGHT-side of the sheetpile : lambda

Berekeningsresultaten

Number of iteration : 7

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStR kN/m2
1	3.60	492.5	0.0	-0.0	0.00		0.00		0.00	0.00
2	3.10	478.0	-0.0	-0.0	0.00		0.00		0.00	0.00
2	3.10	478.0	-0.0	0.0	0.00		0.00		0.00	0.00

3	2.00	446.0	-2.2	-6.0	0.00	0.00	11.00	0.00
3	2.00	446.0	-2.2	-6.1	0.00 A	0.00	11.00	0.00
4	1.00	416.9	-15.6	-22.8	2.15 A	0.00	21.00	0.00
4	1.00	416.9	-15.6	-22.8	2.15 A	0.00	21.00	0.00
5	0.00	387.8	-52.2	-52.6	5.45 A	0.00	31.00	0.00
5	0.00	387.8	-52.2	-52.6	0.20 A	0.00	31.00	0.00
6	-1.00	358.7	-122.4	-90.0	2.63 A	0.00	41.00	0.00
6	-1.00	358.7	-122.4	-90.0	6.34 A	0.00	41.00	0.00
7	-2.00	329.8	-238.2	-143.9	9.49 A	0.00	51.00	0.00
7	-2.00	329.8	-238.2	-143.9	9.49 A	14.83 P	51.00	0.00
8	-3.17	296.3	-434.0	-188.8	13.17 A	32.80 P	62.67	11.67
8	-3.17	296.3	-434.0	-188.8	13.17 A	32.80 P	62.67	11.67
9	-4.33	263.3	-672.4	-217.1	16.84 A	50.77 P	74.33	23.33
9	-4.33	263.3	-672.4	-217.1	16.84 A	50.77 P	74.33	23.33
10	-5.50	231.1	-934.0	-228.7	20.52 A	68.73 P	86.00	35.00
10	-5.50	231.1	-934.0	-228.7	22.29 A	65.11 P	86.00	35.00
11	-6.15	213.6	-1084.2	-233.1	23.28 A	68.95 P	92.50	41.50
11	-6.15	213.6	-1084.2	-233.1	23.28 A	68.95 P	92.50	41.50
12	-6.80	196.4	-1236.6	-235.6	24.27 A	72.79 P	99.00	48.00
12	-6.80	196.4	-1236.6	-235.6	20.00 A	85.55 P	99.00	48.00
13	-8.00	166.0	-1508.3	-216.7	20.49 A	88.50 P	111.00	60.00
13	-8.00	166.0	-1508.3	-216.7	23.98 A	77.31 P	111.00	60.00
14	-9.20	137.4	-1764.7	-209.1	26.23 A	87.49 P	123.00	72.00
14	-9.20	137.4	-1764.7	-209.1	26.23 A	87.49 P	123.00	72.00
15	-10.40	110.9	-2006.3	-192.1	28.49 A	97.66 P	135.00	84.00
15	-10.40	110.9	-2006.3	-192.1	28.49 A	97.66 P	135.00	84.00
16	-11.60	86.8	-2221.8	-165.5	30.74 A	107.84 P	147.00	96.00
16	-11.60	86.8	-2221.8	-165.5	30.74 A	71.55 66	147.00	96.00
17	-12.00	79.3	-2288.9	-170.3	31.12 A	68.34 62	151.00	100.00
17	-12.00	79.3	-2288.9	-170.3	29.65 A	113.39 P	151.00	100.00
18	-12.50	70.5	-2369.7	-152.4	31.23 A	121.09 P	156.00	105.00
18	-12.50	70.5	-2369.7	-152.4	26.67 A	148.36 P	156.00	105.00
19	-13.61	52.5	-2489.4	-57.2	30.34 A	181.74 P	167.13	116.13
19	-13.61	52.5	-2489.4	-57.2	30.34 A	181.74 P	167.13	116.13
20	-14.73	37.1	-2484.8	71.0	34.01 A	215.11 P	178.25	127.25
20	-14.73	37.1	-2484.8	71.0	34.01 A	215.11 P	178.25	127.25
21	-15.84	24.2	-2319.2	232.3	37.68 A	248.49 P	189.38	138.38
21	-15.84	24.2	-2319.2	232.3	37.68 A	248.49 P	189.38	138.38
22	-16.95	13.8	-1955.8	426.6	41.36 A	281.86 P	200.50	149.50
22	-16.95	13.8	-1955.9	427.8	41.36 A	281.86 P	200.50	149.50
23	-18.06	5.3	-1378.7	582.7	45.03 A	158.38 50	211.63	160.63
23	-18.06	5.3	-1378.8	583.1	45.03 A	158.38 50	211.63	160.63
24	-19.17	-1.7	-724.0	558.8	109.98 24	36.82 A	222.75	171.75
24	-19.17	-1.7	-724.0	558.3	109.98 24	36.82 A	222.75	171.75
25	-20.29	-8.0	-206.5	348.4	241.19 49	40.49 A	233.88	182.88
25	-20.29	-8.0	-206.5	348.4	241.19 49	40.49 A	233.88	182.88
26	-21.40	-14.0	0.0	0.0	367.59 70	44.16 A	245.00	194.00
Maxima :		492.5	-2504.5	597.8				

Horizontal soilpressure on the sheetpile [kN/m"] :

	Left	Right
Effective :	1049.43	2167.72
Water :	3001.25	1881.80
Total :	4050.68	4049.52

Considered as passive side : Right
 Maximale passive effective resistance : 3284.26 [kNm/m"]
 Mobilized passive effective resistance : 2167.72 [kNm/m"]
 Percentage mobilized resistance : 66.0 [%]

Maxima of all construction fases:

Displacement : 492.5 [mm]
 Moment : -2504.5 [kNm/m"]
 Shear force : 597.8 [kN/m"]

De lengte van de damwand is minimaal 25 m. De uitbuiging van de damwand is 493 mm bij een lengte van 25 m. In onderstaande tabel zijn de resultaten voor de uitbuiging bij grotere damwandlengten weergegeven.

Sheetpile length [m]	mobilized.anchor resistance [%]	mobilized.anchor resistance [kN/m"]	Maximum force [kNm/m"]	Maximum Moment Negative [kNm/m"]	Maximum positive Displacement [mm]
25,00	66,0		-2504,5	0,0	492,5
26,00	57,6		-2519,1	0,0	425,6
27,00	51,8		-2537,4	0,0	407,2
28,00	48,5		-2542,7	0,0	403,4
29,00	45,9		-2545,2	0,0	402,6
30,00	43,6		-2545,4	0,0	402,4

De uitbuiging neemt wel iets af bij een langere wand, maar niet veel. De uitbuiging van 493 mm is teveel om de combiwand als waterkering te laten fungeren, omdat de kering niet meer waterdicht is. Er zijn ook berekeningen uitgevoerd met een grotere diameters palen, maar dit had niet genoeg effect.

De volgende stap die gezet is, heeft invloed op de maaiveldhoogte van de bouwplaats. Indien er vanuit gegaan wordt dat het ontgraven in de zomer gebeurt, dan ligt het maaiveld aan polderzijde tijdens hoogwater op NAP -1 m. Voor deze situatie zijn ook berekeningen gemaakt, waarvan het resultaat kort weergegeven is.

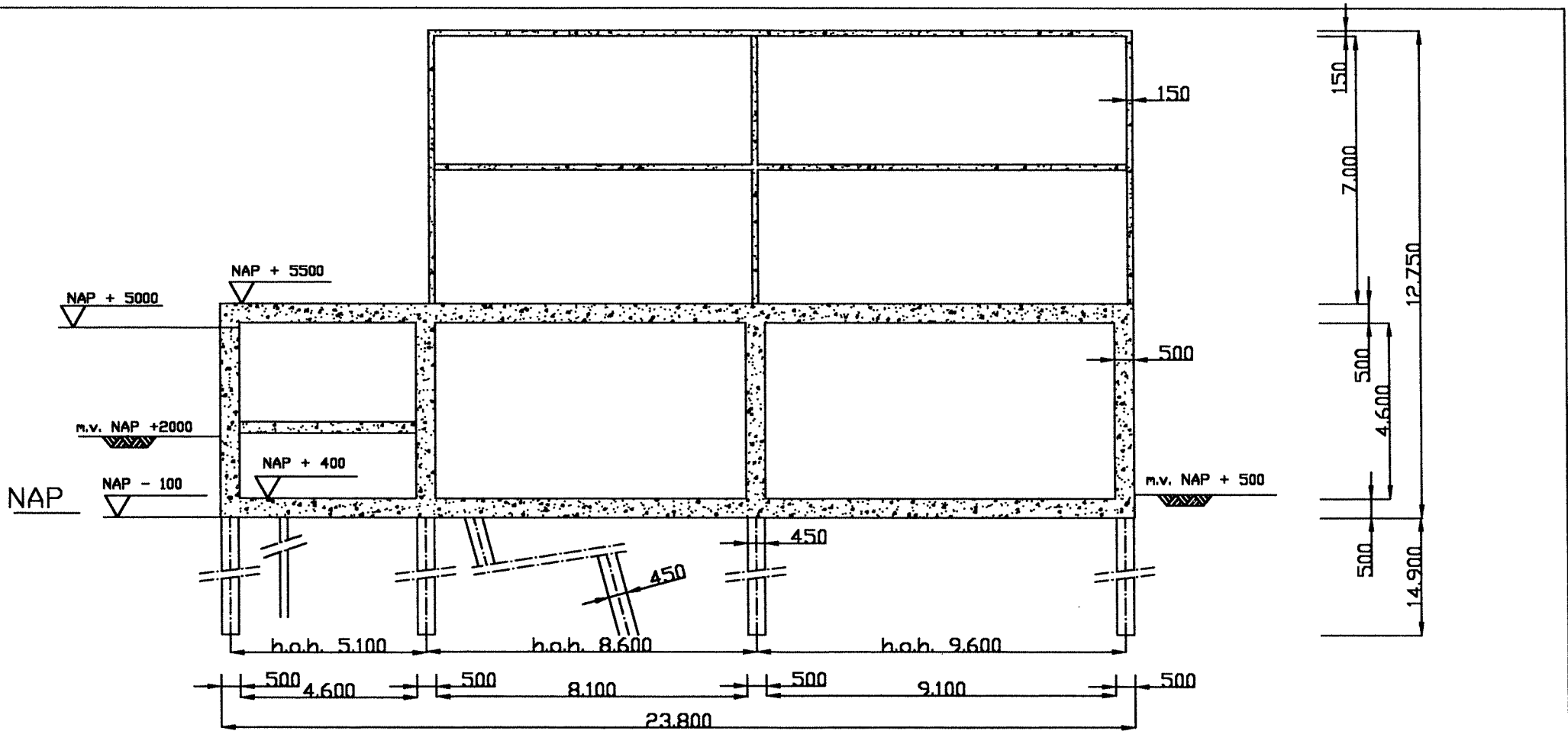
Sheetpile mobilized length [m]	anchor resistance [%]	Maximum Moment force [kN/m ²]	Maximum Negative [kNm/m ²]	positive [mm]	Displacement
17,00	81,4	-669,4	0,0	598,8	
18,00	76,2	-689,1	0,1	371,0	
19,00	69,8	-720,9	0,0	249,6	
20,00	64,4	-773,4	0,0	204,5	
21,00	59,3	-830,3	0,0	180,4	
22,00	54,5	-947,9	0,0	166,7	
23,00	50,1	-1037,9	0,0	159,7	
24,00	46,6	-1085,6	0,0	156,9	
25,00	43,9	-1105,8	0,0	155,9	
26,00	41,6	-1113,4	0,0	155,7	
27,00	39,7	-1115,9	0,0	155,6	
28,00	38,0	-1115,2	0,0	155,6	
29,00	36,5	-1115,6	1,3	155,6	
30,00	35,2	-1115,4	8,6	155,6	

De maximale doorbuiging neemt sterk af bij het langer worden van de damwand. Bij de minimum lengte van 17 m is de doorbuiging bijna 600 mm. Bij een lengte van 20 m is dit nog ongeveer 200 mm. Dit is echter nog steeds teveel voor een waterkering. Ook in dit geval leidde een stijvere paal niet tot een grote reductie van de doorbuiging.

Het laatste dat geprobeerd is, is het maaiveld nog een meter op te hogen. De combiwand hoeft niet direct naast de bouwplaats te staan. Het voorland is breed genoeg voor een rivierwaartse verschuiving van enkele meters. Bij een maaiveld niveau van NAP aan de polderzijde kan de doorbuiging beperkt worden tot 50 mm. De lengte van de damwand is dan 16 m. Deze doorbuiging wordt klein genoeg geacht om de waterkering waterdicht te laten zijn.

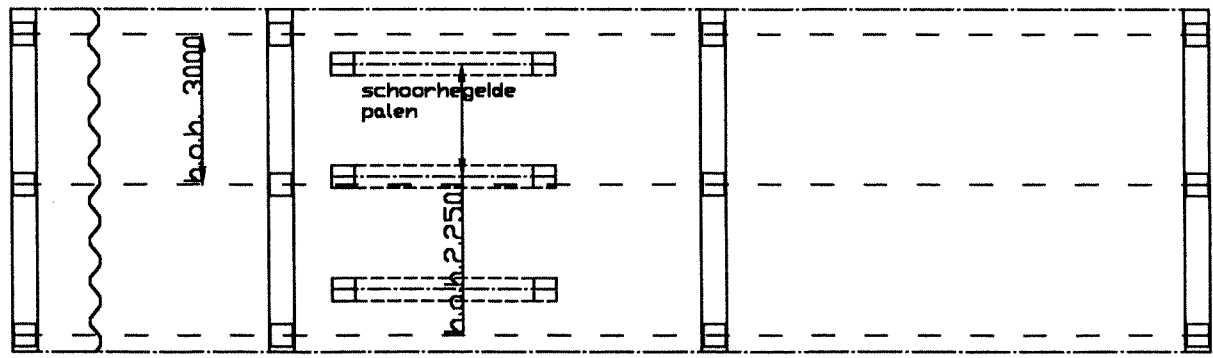
Sheetpile length [m]	mobilized anchor resistance [%]	[kN/m ²]	Maximum force [kNm/m ²]	Maximum Moment Negative [kNm/m ²]	Maximum positive Displacement [mm]
10,00	75,3		-181,6	0,0	465,7
11,00	67,0		-181,6	0,0	110,8
12,00	62,3		-181,8	0,0	66,1
13,00	60,3		-182,0	0,0	61,8
14,00	58,6		-182,3	0,0	58,4
15,00	57,1		-182,7	0,0	55,5
16,00	55,9		-184,1	0,0	50,3
17,00	52,9		-181,9	40,5	60,3
18,00	49,7		-182,0	28,8	59,6
19,00	47,2		-182,5	0,0	57,6
20,00	45,0		-183,4	0,0	55,8

Bijlage VII: Technische tekening doosconstructie



DWARSDOORSNEDE

 gewapend beton



BOVENAANZICHT

doosconstructie	
schaal 1:100	Formaat A3
maateenhed mm	



Innovatieve waterkeringen



Bijlage F: Casestudy Ammerstol

Behorende bij het eindrapport

21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Innovatieve waterkeringen

*Een studie naar de mogelijkheden van
duurzame multifunctionele waterkeringen
in het rivierengebied van Zuid-Holland.*

Bijlage F: Casestudy Ammerstol

Behorende bij het eindrapport
21 augustus 2000

afstudeerders: F. Nonhebel
M. de Wit

begeleiders: Prof drs. ir. J.K. Vrijling
Ir. K.G. Bezuyen
Ir. S. Nurmohamed
Ir. J.P. Oostveen

Samenvatting casestudy Ammerstol

In het kader van de studie *Innovatieve Waterkeringen* zal er een situatie worden onderzocht waar de grenzen van het traditioneel ophogen van waterkeringen zijn bereikt. Er wordt verwacht dat in de toekomst verdere verhogingen nodig zijn om aan de veiligheidseisen te blijven voldoen. Het huidige profiel in Ammerstol bestaat uit een dijk met taluds met een helling van 1:2. Aan de polderzijde is langs het gehele dijkvak bebouwing aanwezig. De meest waardevolle bebouwing in cultuurhistorisch opzicht bevindt zich aan de teen van de dijk. Aan de rivierzijde bevindt zich buitendijks bebouwing op een opgespoten uiterwaard. Deze opspuiting heeft halverwege de twintigste eeuw plaatsgevonden en de woningen die zich daarop bevinden zijn derhalve niet van grote cultuurhistorische betekenis. Uitgangspunt is dat bij een toekomstige versterking deze bebouwing niet intact hoeft te blijven, wel dient de woonfunctie behouden te blijven. Over de kruin loopt een lokale verbindingsweg. Een traditionele ophoging is niet mogelijk binnen het huidige profiel met behoud van de huidige functies, vanwege de beperkte hoeveelheid ruimte op en naast de dijk en de slappe ondergrond. De minimale afmetingen van een traditionele dijk zouden zijn:

Tabel 1: Afmetingen traditionele dijk

kruinhoogte (h_k)	NAP +8,10m
kruinbreedte (b_k)	6,50 m
taluds	1:3
breedte op maaiveld (B)	62,0m

Op de beschouwde locatie in Ammerstol is een innovatieve waterkering ontworpen, waarbij het karakteristieke landschap, de historische bebouwing en de verbindingfunctie behouden blijven. Na afweging tussen de verschillende alternatieve principeoplossingen zoals die geformuleerd zijn in het hoofdrapport, bleek de L-muur op deze locatie de meest geschikte oplossing. Deze waterkering is uit twee delen is opgebouwd. Bovenop het huidige maaiveld op NAP+2,70m wordt een L-muur gebouwd, onder het maaiveld wordt de L-muur aangesloten op een damwandscherm. De top van de L-muur ligt op NAP+5,70m. Deze aanpassing zal over een lengte van circa 500 meter worden doorgevoerd. Afmetingen L-muur:

Tabel 2: Afmetingen L-muur

kruinhoogte (h_k)	NAP +5,70m
funderingsdiepte	NAP -11,0m
dikte L-muur	0,70 m
breedte op maaiveld (B)	12,0m

Op de voet van de L-muur kunnen nieuwbouwwoningen worden aangelegd, bij voorkeur los op de L-muur zodat de levensduur van beide constructies niet gekoppeld is. Deze nieuwbouwwoningen kunnen zodanig vormgegeven worden, dat ze aansluiten op het natuurlijke rivierlandschap. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld landschapsarchitecten in combinatie met stedenbouwkundigen worden aangetrokken.

In de ondergrond wordt een waterkerend damwandscherm geheid, dat aansluit op de L-muur. Dit scherm ontleent zijn stabiliteit aan de omliggende grond, in combinatie met de heipalen, die de fundering vormen voor de L-muur. Het scherm heeft alleen een waterkerende en geen dragende functie.

Bij de planning van de uitvoering bleek dat deze geen bijzondere eisen aan de constructie delen stelde. Vervolgens zijn enkele componenten van de damwand gedimensioneerd en via globale berekeningen zijn die dimensies gecontroleerd. Uiteindelijk worden de volgende afmetingen gebruikt:

- De L-muur heeft een hoogte van 3,00m. Er zal over een totale lengte van 500m L-muren worden aangelegd. Op deze L-muur worden woningen gebouwd met twee verdiepingen met bijbehorende hoogte van 10m en een diepte van 10m.
- De damwand heeft een profiel BZ17 met een planklengte van 10m, zodat de onderkant van de damwand komt dan op NAP-7,30m (dus ruim één meter in de onderste kleilaag).
- De L-muur wordt gemaakt van gewapend beton, samengesteld uit betonsoort B25 en wapeningsstaal FeB500. De L-muur en heeft een dikte (vloer en wand) van 0,70m. Het wapeningspercentage is gesteld op 1,0%.
- Om de belasting op te kunnen nemen wordt een paalfundering geheid. Er worden drie palen per dwarsdoorsnede geheid, met een onderlinge afstand van ongeveer 5,0m en met een raaiafstand van 4,00m. De palen hebben een doorsnede van 400mm bij 400mm.
- Om de horizontale belasting op te kunnen nemen worden er schoorpalen geheid. Er worden drie palen per raai geheid met een raaiafstand van 4,00m. De palen hebben eveneens een doorsnede van 400mm bij 400mm.

Een traditionele ophoging op deze locatie, hoewel dit niet haalbaar is op deze locatie zou neerkomen op zo'n 26 miljoen gulden. Indien de L-muur constructie uitgevoerd zou worden, zouden de ramingskosten liggen op zo'n *f* 33.000 per strekkende meter. Inclusief nieuwbouw van 30 woningen is **het totale project** begroot op zo'n **29 miljoen gulden**.

Conclusies die op basis van deze casestudy worden getrokken:

- In vergelijking met een traditionele dijkversterking blijkt deze innovatieve oplossingen veel voordelen te bieden. De huidige functies kunnen behouden blijven, hetgeen bij een traditionele dijkversterking niet mogelijk was geweest. Daarnaast is het ruimtebeslag een stuk kleiner, hetgeen leidt tot behoud van het karakteristieke landschap. Hiermee lijkt op de projectlocatie aanleg van de L-muur als waterkering een aantrekkelijke optie.
- De principeoplossingen die zijn voorgesteld in het hoofdrapport *Innovatieve waterkeringen* zijn uitvoerbaar in een karakteristieke conflictsituatie.
- De scoretabel voldoet goed en is bruikbaar voor specifieke situaties. Wel kan door afwijkende omstandigheden op enkele punten een iets afwijkende waardering worden toegepast.
- Het is technisch goed mogelijk om een innovatieve multifunctionele waterkering toe te passen.
- Het is goed mogelijk vanuit een algemene situatie een innovatieve oplossing te bedenken die in een specifieke situatie toepasbaar is.
- Een innovatieve waterkering kan bij knelpunten soms ook in financieel opzicht wedijveren met een traditionele ophoging.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	
	Inhoudsopgave	
1	Inleiding	4
1.1	Situatiebeschrijving	5
1.2	Plattegrond huidige situatie	7
1.3	Doorsnede huidige situatie	8
2	Probleemverkenning dijkvak Ammerstol	10
2.1	Huidige situatie	10
2.2	Probleemanalyse	11
2.3	Studie Grondmechanica Delft	12
2.4	Probleemstelling	13
2.5	Doelstelling	13
3	Randvoorwaarden en uitgangspunten	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Randvoorwaarden	14
3.2.1	Ruimtelijke randvoorwaarden	14
3.2.2	Natuurlijke randvoorwaarden	14
3.2.3	Technische randvoorwaarden	14
3.2.4	Functionele randvoorwaarden	14
3.2.5	Economische randvoorwaarde	14
3.3	Uitgangspunten	15
3.3.1	Ruimtelijk uitgangspunt	15
3.3.2	Natuurlijke uitgangspunten	15
3.3.3	Technisch uitgangspunt	15
3.3.4	Functionele uitgangspunten	15
3.4	Programma van Eisen	16
3.4.1	Ruimtelijke Eisen	16
3.4.2	Natuurlijke Eisen	16
3.4.3	Technische eisen	19
3.4.4	Functionele eisen	20
4	Ontwerp waterkeringen	21
4.1	Bestaande situatie	21
4.2	Ontwerp van een traditionele waterkering	22
4.2.1	Bepaling kruinhoogte	22
4.2.2	Bepaling minimale breedte	22
4.2.3	In rekening brengen van golfbelasting	23
4.3	Ontwerp van een harde constructie	24
5	Alternatieven en varianten	25
5.1	Inleiding	25
5.2	Dijk met aangepaste ophoging	27
5.3	Dijk met verbeterde ondergrond en (traditionele) ophoging	28
5.4	L-muur	29
5.5	Doosconstructie of folieconstructie	30
5.6	Wand	31

5.7	Diepwand met opzetstuk.....	32
5.8	Kistdam.....	33
5.9	Beweegbare keringen	34
5.9.1	Klepkering	35
5.9.2	Hefschuif	36
6	Keuze uit te werken alternatief.....	37
6.1	Waardering verschillende alternatieven.....	37
6.2	Vergelijking tussen verschillende locaties voor de waterkering met bijbehorende alternatieven.	38
6.3	Keuze voor alternatief	39
7	Uitwerking L-muur geïntegreerd in buitendijkse woning	40
7.1	Gewenst eindresultaat	40
7.2	Uitvoering.....	42
7.2.1	Fase I: Sloop bestaande bebouwing en bouwrijp maken terrein.	43
7.2.2	Fase II: Aanbrengen fundering en kwelscherm.....	44
7.2.3	Fase III: Aanbrengen vloer	45
7.2.4	Fase IV: Aanleg wand	46
7.2.5	Fase V: Bouw woningen.....	47
7.2.6	Fase VI: Verlagen kruin	48
7.3	Conclusies uit uitvoeringsplan	49
8	Constructief ontwerp waterkering	50
8.1	Opbouw grond	50
8.2	Dimensionering Damwand.	51
8.2.1	Berekeningen met MSheet	53
8.3	Uitwendige belasting op de constructie	54
8.3.1	Belastinggeval 1: situatie in 2100 met MHW en zuidwestelijke wind.	55
8.3.2	Belastinggeval 2: Situatie in 2100 met laag water en noordoostelijk wind.	58
8.4	Belastingen van nevenfuncties op de constructie.....	60
8.4.1	Verticale belasting op de L-muur	60
8.4.2	Verticale belasting op de fundering	62
8.5	Dimensionering L-muur.....	64
8.5.1	Dimensionering wand	64
8.5.2	Dimensionering vloer.....	65
8.6	Dimensionering fundering	66
8.6.1	Berekening belasting fundering	66
8.6.2	Berekening verticale draagkracht fundering.....	66
8.6.3	Invloed schachtwrijving en negatieve kleef.....	68
8.6.4	Palenplan	69
8.6.5	Schoorgeheide palen	70
9	Kostenraming.....	72
9.1	Ramingsystematiek.....	72
9.2	Raming L-muur (innovatieve waterkering).....	73
9.2.1	Hoeveelheden referentie	73
9.2.2	Kostenbepaling L-muur	73
9.3	Raming Traditionele waterkering.....	74
9.3.1	Hoeveelheden referentie	74
9.3.2	Kostenbepaling traditionele ophoging.....	74
9.4	Conclusie van de kostenraming	75

10	Conclusies en aanbevelingen voor Ammerstol	76
10.1	Conclusies	76
10.2	Aanbevelingen	77

Bijlage I: Uitvoer MStab

Bijlage II: Uitvoer MSheet

1 Inleiding

In het kader van de studie *Innovatieve Waterkeringen* zal er een situatie worden onderzocht waar de grenzen van het traditioneel ophogen van waterkeringen zijn bereikt. Er wordt verwacht, dat in de toekomst verdere verhogingen nodig zijn om aan de veiligheidseisen te blijven voldoen (zie *Hoofdrapport Innovatieve Waterkeringen*). In deze casestudy zal één specifieke locatie bekeken worden en zal de mogelijkheid van het toepassen van innovatieve waterkeringen, zoals voorgesteld in het hoofdrapport, op een concrete situatie worden onderzocht.

In dit hoofdstuk zal een beschrijving van het projectgebied worden gegeven door stap voor stap in te zoomen. Ook zal er worden toegelicht waarom gekozen is voor dit projectgebied en wat globaal de problemen zijn. In het volgende hoofdstuk, Probleemverkenning dijkvak Ammerstol, zal de huidige situatie nader worden verkend. Hierin zal ook worden ingegaan op de studie van Grondmechanica Delft die in het gebied is uitgevoerd. Het hoofdstuk eindigt met de formulering van een probleem- en doelstelling.

In hoofdstuk drie worden de beperkingen die gelden voor de nieuwe waterkering puntsgewijs behandeld. Deze beperkingen worden vertaald naar een Programma van eisen, waarin de beperkingen worden gekwantificeerd. Dit programma van eisen wordt vertaald naar een waterkering. Dit gebeurt in hoofdstuk vier, Ontwerp waterkeringen, waarin een traditionele ophoging voor een waterkering wordt gedimensioneerd en tevens wordt een harde constructie gedimensioneerd.

In hoofdstuk vijf, Alternatieven en varianten, worden de alternatieven, zoals die zijn geformuleerd in het hoofdrapport van de studie, toegepast op de specifieke locatie. De toepassing bestaat uit een ruimtelijke schets van de alternatieven geprojecteerd op het studiegebied met een indicatie van de voor- en nadelen van het alternatief. Ook wordt voor elk alternatief gekeken naar de relevante criteria uit de scoretabel, waardoor deze kan worden gekalibreerd.

In hoofdstuk zes, Keuze uit te werken alternatief, wordt de scoretabel voor de specifieke situatie ingevuld, met de relevante criteria. Op basis van deze scoretabel wordt een keuze gemaakt voor het uit te werken alternatief. In hoofdstuk zeven, Uitwerking L-muur geïntegreerd in buitendijkse woning wordt gekeken naar een uitvoeringsplan en de eisen die daardoor aan de constructie worden gesteld. In hoofdstuk acht, Constructief ontwerp waterkering worden de verschillende onderdelen van de waterkering gedimensioneerd. In hoofdstuk negen, Kostenraming wordt een schatting gemaakt voor de kosten van zowel de innovatieve waterkering, als van een traditionele ophoging in het betreffende dijkvak.

Tenslotte zijn in hoofdstuk tien, Conclusies en aanbevelingen voor Ammerstol de conclusies en aanbeveling uit de casestudy te vinden die gebruikt kunnen worden in het hoofdrapport.

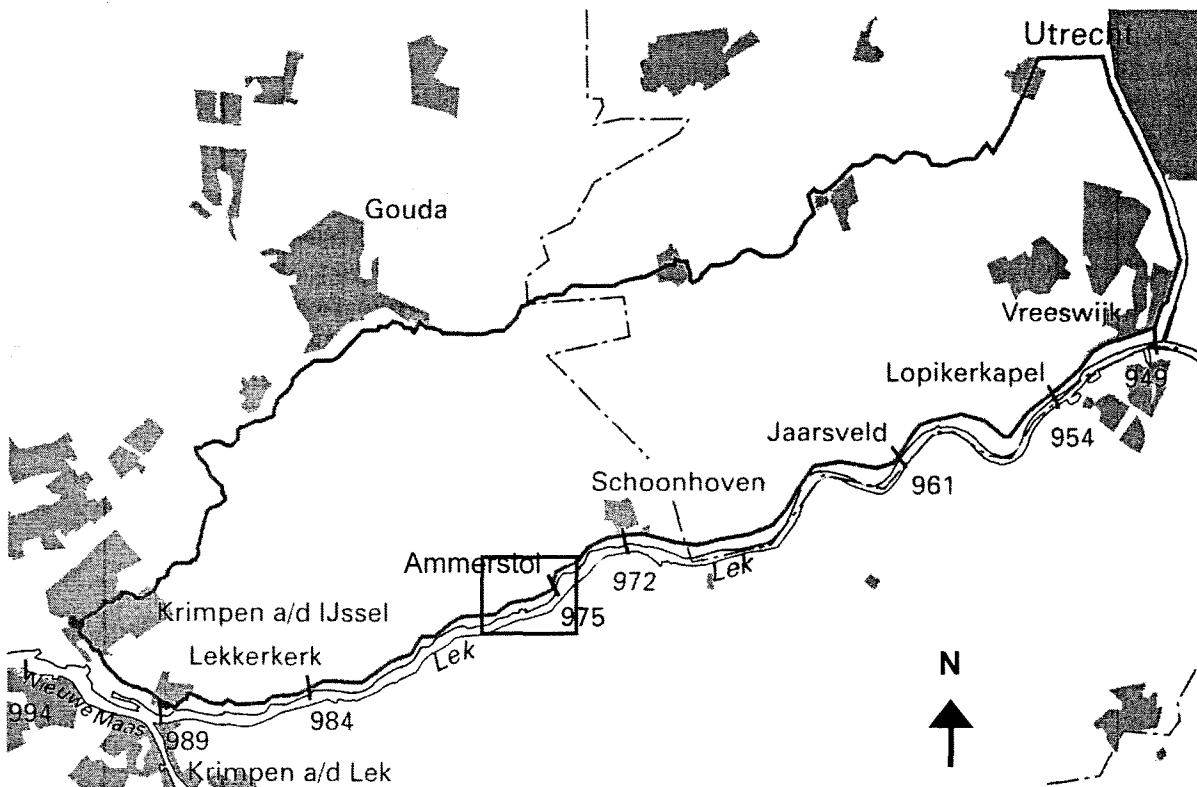
1.1 Situatiebeschrijving



figuur 1.1: Ligging Krimpenerwaard (schaal 1:1.000.000)

In het algemene onderzoek is gekeken naar de situatie zoals die nu aanwezig is in de dijkkringgebieden Alblasserwaard en Krimpenerwaard en de mogelijke aanpassing hiervan in de toekomst. In deze casestudy zal gekeken worden naar een specifiek dijkvak in de Krimpenerwaard. De Krimpenerwaard is het gebied tussen Krimpen a/d IJssel, Gouda en Utrecht (zie figuur 1.1).

De Krimpenerwaard vormt samen met de Lopikerwaard een dijkkringgebied. De Krimpenerwaard grenst in het zuiden aan de Lek en de Nieuwe Maas en in het westen aan de Hollandsche IJssel (zie figuur 1.2). In de Krimpenerwaard zijn drie grote bebouwingsconcentraties aanwezig Schoonhoven, Krimpen aan de Lek en Krimpen aan den IJssel. De overige plaatsjes, waaronder Bergambacht en Ammerstol, liggen her en der verspreid langs de dijk en in de polder.



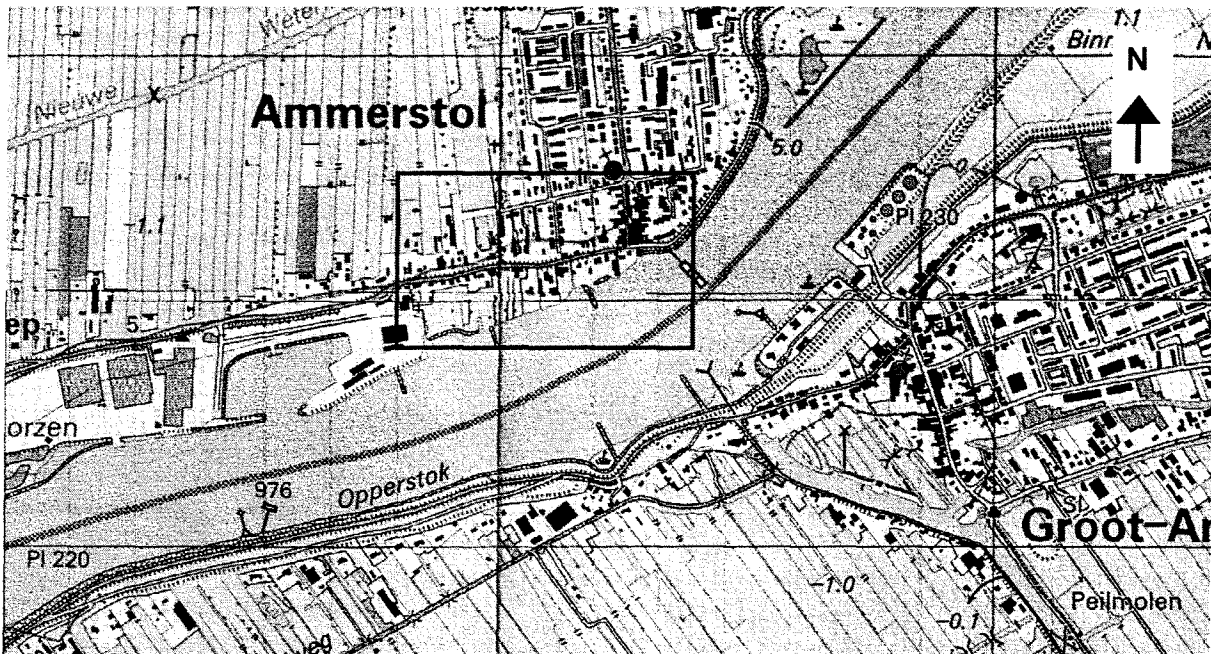
figuur 1.2: Ligging dijkvak Ammerstol in het dijkkringgebied Krimpenerwaard¹ (schaal 1:250.000)

¹ Dijkkringgebied 15 van Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft september 1996, pag. 54

De bebouwingsconcentraties liggen overwegend langs de dijk. De bebouwingsvorm is te karakteriseren als lintbebouwing. De Krimpenerwaard heeft alleen in het zuiden, langs de Lek en de Nieuwe Maas, primaire waterkeringen. De kans op overstromen van het dijkgebied is vastgesteld op 1/2000 per jaar.

De zuidzijde grenst aan de rivier de Lek van hmp 949 tot en met hmp 992.

Het dijkvak Ammerstol (zie figuur 1.3), nabij hmp 975, kan beschouwd worden als representatief voor het benedenrivierengebied. Dit dijkvak zal worden gebruikt als locatie voor de ontwikkeling van een waterkering in het kader van een casestudy voor de studie *Innovatieve Waterkeringen*.



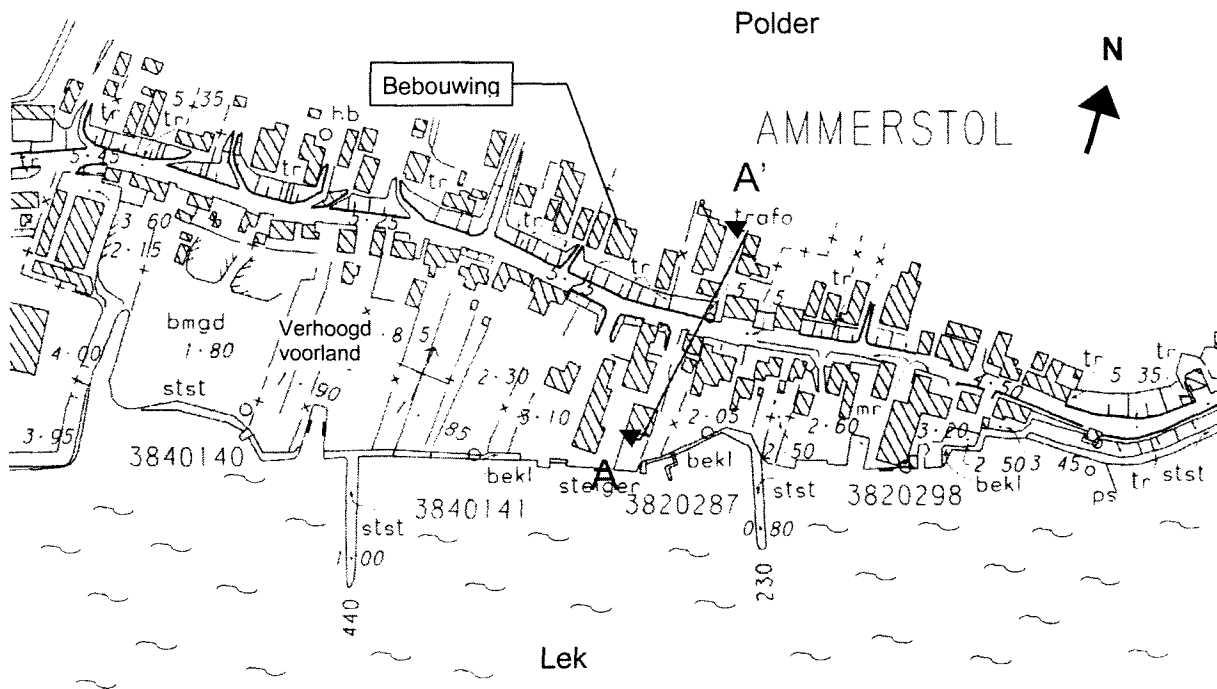
figuur 1.3: Ligging dijkvak in Ammerstol² (schaal 1:50.000)

Het dijkvak ligt in bebouwd gebied, waar dijkverbeteringen altijd moeilijk uit te voeren zijn zonder afbreuk te doen aan de nevenfuncties. Dit is in het verleden ook al zo geweest en derhalve zijn er praktisch geen mogelijkheden meer om met slimme ingrepen de waterkering toch nog net iets te versterken. Daarnaast zijn de eisen die in deze studie aan de waterkering worden gesteld dermate streng en ingrijpend dat met kleine aanpassingen niet volstaan kan worden.

² Topografische kaart van Nederland
Meetkundige dienst Rijkswaterstaat, Delft april 1996

1.2 Plattegrond huidige situatie

Kenmerkend voor de huidige staat van het dijkvak is dat aan de polderzijde van de dijk een lintbebouwing is gelegen, bestaande uit overwegend oude boerderijen, die dicht tegen het binnentalud van de dijk aanliggen (zie figuur 1.4). De dijk, de rivier, de bebouwing en het laaggelegen achterland vormen samen het voor Nederland kenmerkende rivierenlandschap.



figuur 1.4: Plattegrond van de situatie in Ammerstol in 1989 (schaal 1:4000)³

Ook technisch gezien is dit gebied zeer karakteristiek door zijn dikke, slecht doorlatende, slappe-lagen-pakketten. Voor de dijk resulteert dit in een te lage stabiliteit, waardoor de dijk momenteel al niet aan de stabiliteitseisen voldoet. Het leidt ook tot voortdurend terugkerende deformaties van de dijk. In 1976 is deze dijk op Deltahoogte gebracht. Echter in de jaren daarna is door deformaties van de dijk schade aan de in de teen gelegen bebouwing opgetreden. Dit was aanleiding voor het waterschap Krimpenerwaard om vlakbij het beschouwde profiel in de gemeente Bergambacht het dijkprofiel in 1990 aan te passen. Voorafgaand aan deze verbetering is een uitgebreide studie uitgevoerd door Grondmechanica Delft in opdracht van DWW. De resultaten van dit onderzoek worden behandeld in de Probleemanalyse.

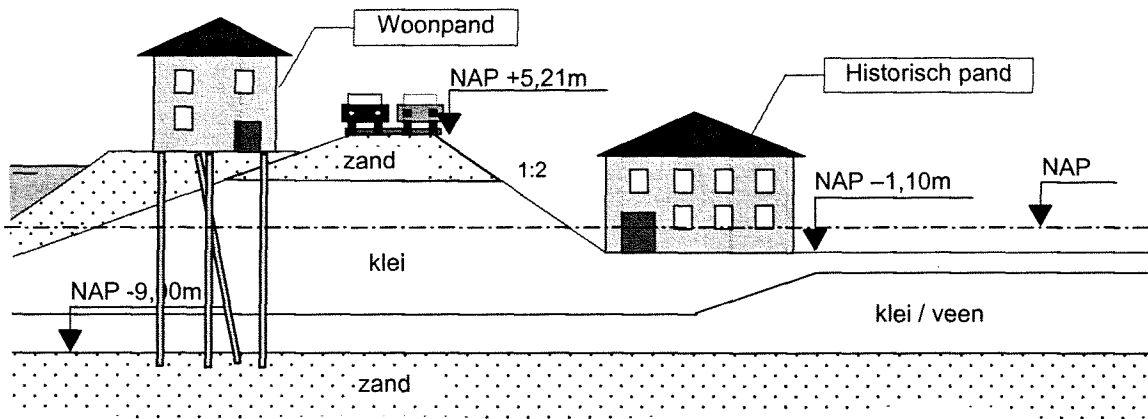
De keuze is op dit vak gevallen, omdat er van dit dijkvak veel gegevens beschikbaar zijn, waardoor het mogelijk is de innovatieve oplossing te vergelijken met de traditionele versterking. Een andere reden is dat door de recente versterking en de uitwerking in het rapport *Dijken duurzaam veilig*⁴ van dit dijkvak de grondgegevens en dwarsprofielen beschikbaar zijn.

³ Rivierkaart 222 gedeelte Lek, opname april 1989
Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, Delft 1989

⁴ Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen,
F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999

1.3 Doorsnede huidige situatie

In de doorsnede A-A' (zie figuur 1.5) is te zien dat het huidige profiel bestaat uit een dijk met taluds met een helling van 1:2. Aan de polderzijde is langs het gehele dijkvak bebouwing aanwezig. De meest waardevolle bebouwing in cultuurhistorisch opzicht, die gefundeerd is op staal, bevindt zich aan de teen van de dijk en daarom is de doorsnede A-A' als representatieve doorsnede aangemerkt. Aan de rivierzijde bevindt zich buitendijks bebouwing, gefundeerd op palen op een opgespoten uiterwaard. Deze opspuiting heeft halverwege de twintigste eeuw plaatsgevonden en de woningen die zich daarop bevinden zijn derhalve niet van grote cultuurhistorische betekenis. Uitgangspunt is dat bij een toekomstige versterking deze bebouwing niet intact hoeft te blijven, wel dient de woonfunctie behouden te blijven.



figuur 1.5: Doorsnede A-A' van de situatie in Bergambacht. Waterkering met aan de teen van het binnentalud historische bebouwing en aan de rivierzijde woningen. (Niet op schaal)

Er zijn enkele fotografische opnames gemaakt in het projectgebied, waarvan er drie hier weergegeven zijn. De anderen zijn te vinden in Bijlage A: Literatuurstudie.



foto 1: Gezicht op Ammerstol vanuit het oosten (links de Lek)

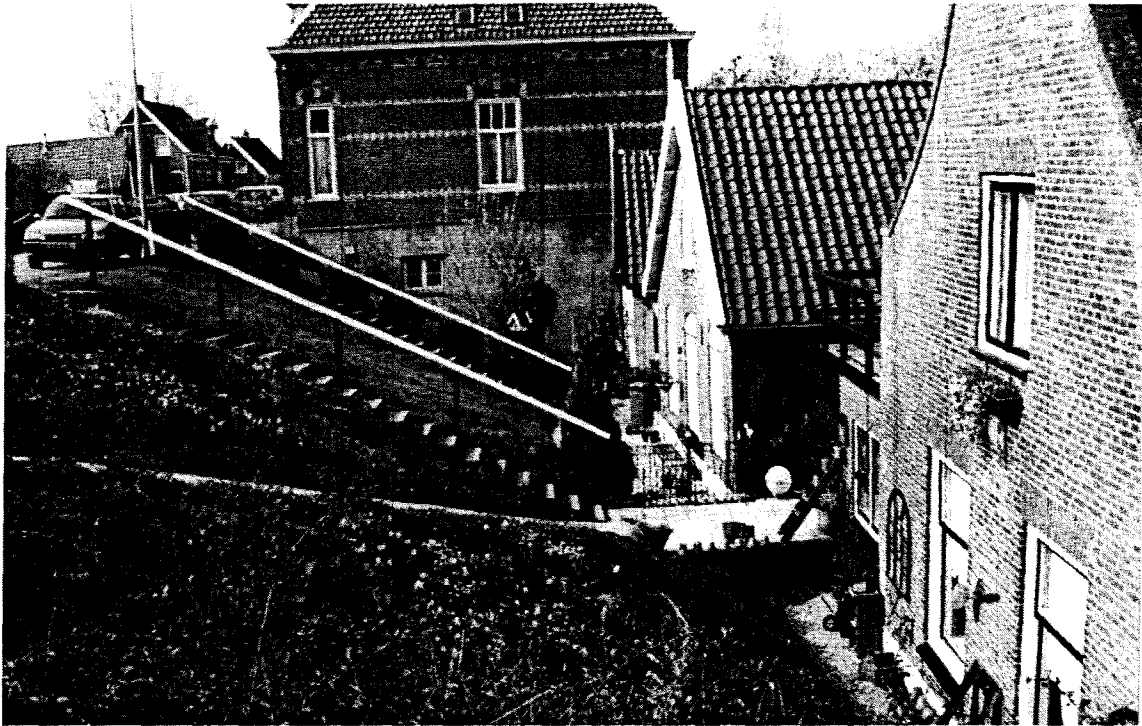


foto 2: Monumentale woningen aan de teen van het binnentalud



foto 3: Oprit naar de dijk vanuit de polder, links monumentale woning

2 Probleemverkenning dijkvak Ammerstol

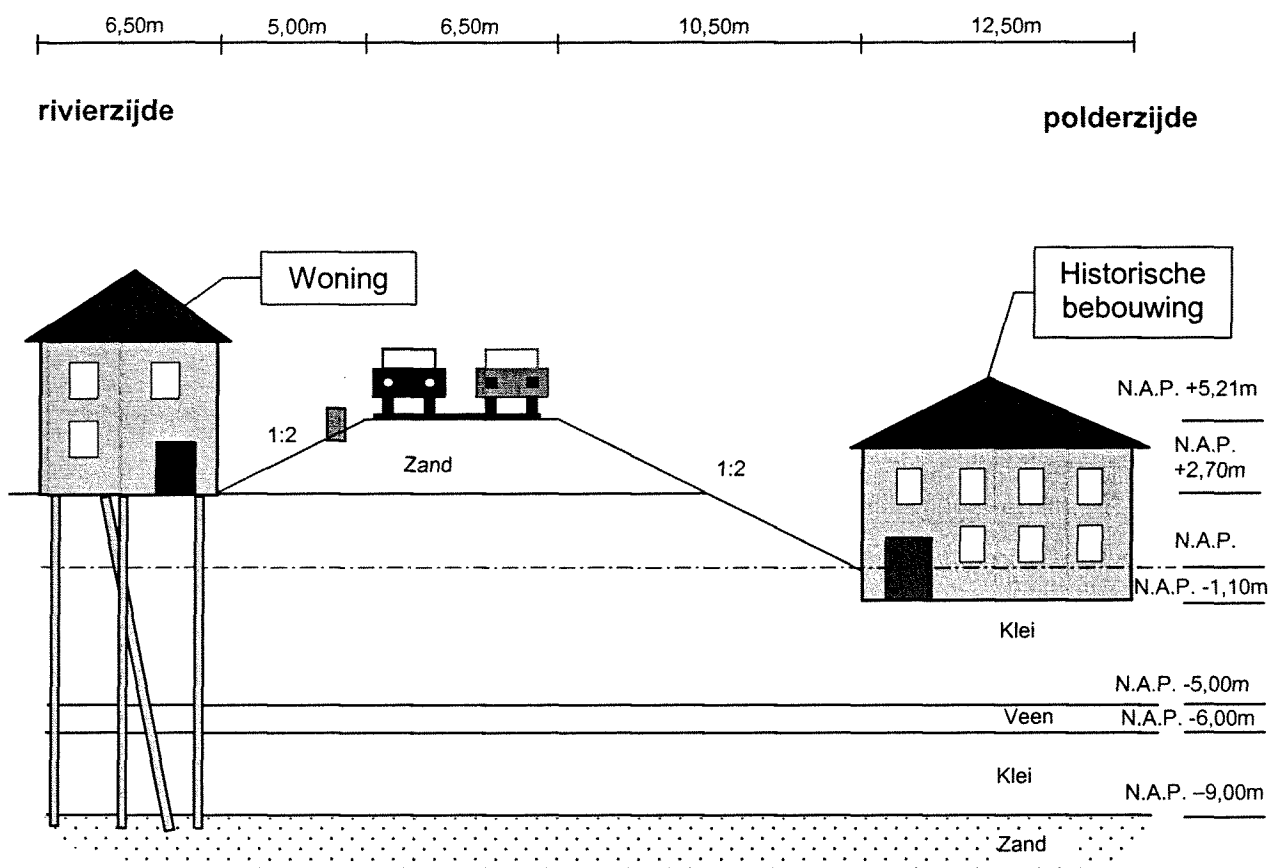
2.1 Huidige situatie

Momenteel bevindt zich op de projectlocatie een waterkering met de volgende afmetingen (zie figuur 2.1):

- Kruinhoogte: NAP + 5,21m
- Kruinbreedte: 6,50 m
- Taludhellingen: 1:2
- Breedte waterkering: 22 meter (afstand tussen de woningen)

Deze waterkering is opgebouwd uit een kleikern, met als toplaag (ten gevolge van recente ophogingen) een zandlichaam. Op de kruin ligt een lokale, geasfalteerde verkeersweg (categorie VII). Aan weerszijden van de weg liggen woonhuizen. Aan de polderzijde bevinden zich woonhuizen op het binnentalud, deze zijn over het algemeen vrij oud en vertegenwoordigen een cultuurhistorische waarde. Aan de rivierzijde bevinden de huizen zich op een hoog voorland, een voormalige uiterwaard die lang geleden werd opgespoten. De huizen op het buitentalud zijn over het algemeen iets moderner en worden niet beschouwd als zeer waardevol in cultuurhistorisch opzicht.

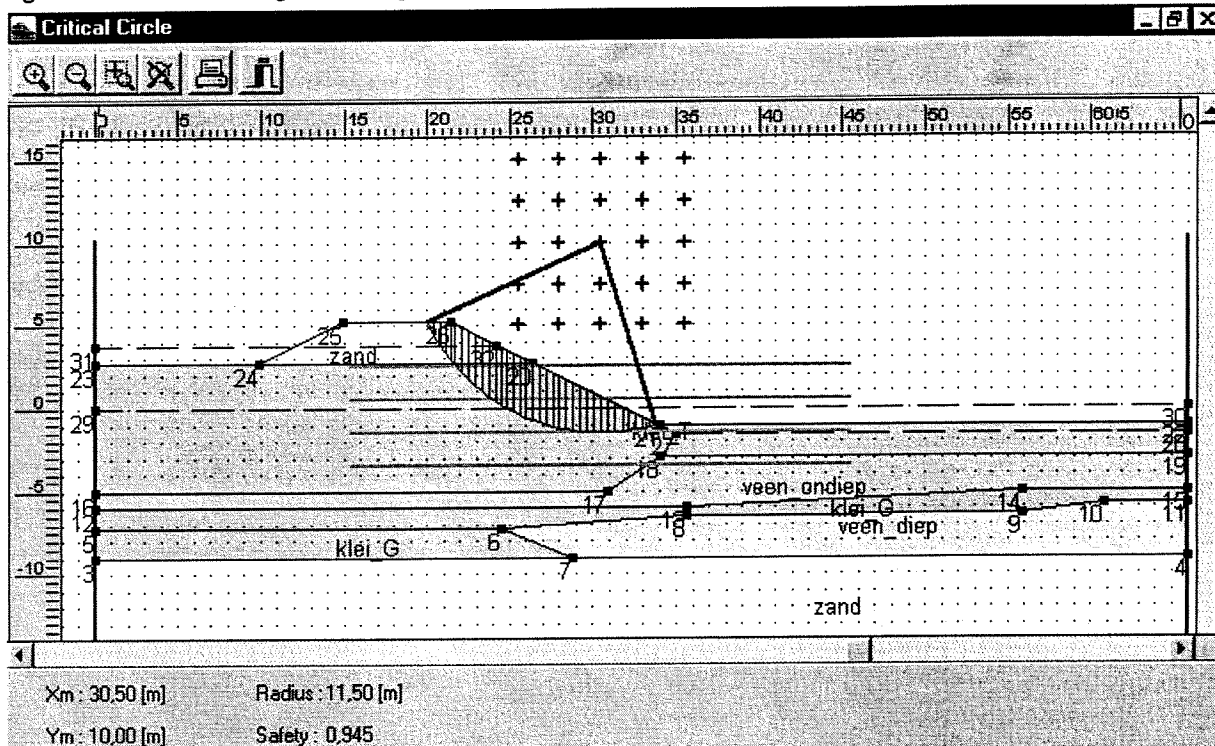
Als eis aan toekomstige verhogingen wordt gesteld dat bij deze aanpassingen het landschap niet aangetast mag worden, omdat dit karakteristiek is voor het Nederlandse rivierenlandschap en daardoor beschermd. Ook de woningen op het binnentalud mogen niet worden aangetast of gesloopt.



figuur 2.1: Huidige situatie in Ammerstol met bemating (schaal 1:250)

2.2 Probleemanalyse

De huidige waterkering is niet stabiel. Er zijn berekeningen gemaakt met MStab, een geotechnische simulatieprogramma waarmee de stabiliteit van een grondlichaam bepaald kan worden door het maken van glijcirkelberekeningen. Hieruit blijkt dat de huidige veiligheidsfactor tijdens hoogwater kleiner is dan 1 (zie voor uitvoer bijlage I), terwijl een grondlichaam pas als stabiel mag worden beschouwd als deze factor 1,3 of groter is. In figuur 2.2 is de maatgevende glijcirkel met bijbehorende waarden weergegeven.



figuur 2.2: Kritieke glijcirkel met bijbehorende waarden

Hieruit blijkt dat de huidige waterkering een veiligheidsfactor van 0,95 (0,945 bij een straal van 11,50m) heeft, terwijl deze minimaal 1,3 dient te zijn voor stabiliteit.

Zoals blijkt uit het hoofdrapport, heeft het benedenriviereengebied te maken met grote relatieve bodemdalingen en MHW-stijgingen de komende 100 jaar. Om de Krimpenerwaard te beschermen dient de waterkering dit rivierwater afdoende te keren. Bij dijkversterkingen in het verleden is gekozen voor minimale aanpassingen, waardoor de waterkering momenteel wel aan de hoogte voldoet, maar niet stabiel is. Een noodzakelijke toekomstige verhoging en versterking op de traditionele manier kan daarom alleen uitgevoerd worden ten koste van de huidige bebouwing op de dijk. Dit is geen wenselijke zaak en er zal daarom gezocht worden naar een oplossing waarbij het stadsgezicht en de historische bebouwing behouden kunnen blijven.

2.3 Studie Grondmechanica Delft

Om inzicht te krijgen in de problemen en oplossingen voor het projectgebied is vlakbij Ammerstol een proefvak ingericht. Hier is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om problemen met de stabiliteit van de huidige dijk op te lossen. Er was bij het proefvak wel voldoende ruimte beschikbaar, in tegenstelling tot in Ammerstol. Het proefvak wordt hier gebruikt als referentie om aan te geven wat de gevolgen zijn van een (innovatieve) dijkversterking.

In april 1988 is een proefvak ingericht aan de Lekdijk-Oost nabij hmp 976 te Bergambacht, dus iets ten westen van Ammerstol. Dit gebeurde naar aanleiding van grote deformaties van de dijk ter plaatse van een oprit.

Het betreffende dijkgedeelte vertoonde van oudsher veel zetting van de kruin. In 1976 werd het dijkvak in het kader van de Deltawet verbeterd. De verbetering van 1976 bestond uit een "vierkante" kruinverhoging van maximaal 1,0 m en er werden zowel binnen- als buitendijks taluds van 1:3 gerealiseerd. Vanwege de ontsluiting van de diverse panden werden nogal wat op- en afritten aangelegd. Reeds tijdens de uitvoering van de werkzaamheden deden zich problemen voor doordat binnendijks grote vervormingen aan de teen en vlak achter de dijk optraden. Ook in de periode na de oplevering vergde dit dijkgedeelte veel onderhoud. In 1983 werd aan Grondmechanica Delft de opdracht verstrekt voor een grondmechanisch onderzoek om tot een reconstructie te komen.

Naar verwachting kunnen de deformaties worden toegeschreven aan mechanismen gerelateerd aan opdrijven (van het achterland) en aan kruip. Door Grondmechanica Delft is een groot aantal metingen en proeven verricht in het proefvak en het laboratorium. Op basis van deze metingen en proeven is geconcludeerd dat een traditionele ophoging op die locatie niet goed mogelijk was. De voornaamste problemen zijn het oprijfmechanisme van het achterland, het optreden van wateroverspanningen en het mogelijk optreden van macro-instabiliteit. Aangezien deze situatie representatief is voor de omgeving, kunnen deze conclusies ook worden doorgetrokken naar de directe omgeving.

Conclusies uit het onderzoek zijn:

- De waterkering voldeed vóór de versterking in 1976 niet aan de stabiliteitsnorm.
- Met de verbetering van 1976 is de stabiliteit zelfs iets slechter geworden doordat de ophoging voor een groter aandrijvend moment heeft gezorgd en daarmee een grotere instabiliteit. Het glijvlak ligt op deze locatie iets dieper dan in Ammerstol zelf.
- Uit de meetresultaten vallen zowel de problemen tijdens de uitvoering in 1976 als de doorgaande vervormingen daarna te verklaren door de grondeigenschappen en daarmee samenhangende stabiliteitsproblemen.
- Uit de grondonderzoeken kunnen zowel de lage stabiliteitsfactor (kleiner dan 1,3 en dus niet stabiel) als de gemeten wateroverspanning worden verklaard.
- Onder extreme omstandigheden is de standzekerheid van het dijklichaam onzeker.

Bij het proefvak is onderzoek gedaan naar mogelijke alternatieve ophogingen. Uit proeven bleek dat een alternatieve ophoging met licht materiaal geen positief effect had op de stabiliteit omdat deze niet zou leiden tot een verkleining van het aandrijvend moment. Uiteindelijk is in 1990 een verbetering uitgevoerd, waarbij een deel van het grondlichaam is ontgraven, de weg verlegd is van de kruin naar de afgraving op het binnen talud en er zand is gebruikt als ophoogmateriaal, in combinatie met de aanleg van drains.

Conclusies

Uit deze studie blijkt dat een ophoging met licht materiaal geen goede oplossing is, omdat het geen positieve invloed heeft op de stabiliteit. Verder blijkt dat voor een versterking van de bestaande dijk ingrijpende wijzigingen nodig zijn in de omgeving van de dijk. Deze ruimte is niet beschikbaar in Ammerstol, maar indien geen goed alternatief wordt gevonden zal een dergelijke verbetering toch uitgevoerd moeten worden. Hiermee is de verbetering in het proefvak te gebruiken als vergelijking met de alternatieve, multifunctionele oplossing in Ammerstol.

2.4 Probleemstelling

Aan de teen van het binnentalud van de dijk bevindt zich historische bebouwing (zie figuur 2.1) die op staal is gefundeerd en daardoor zeer gevoelig voor grondbewegingen. De historische bebouwing betreft boerderijen die kenmerkend zijn voor het Nederlandse polderlandschap. Het karakteristieke landschap is te beschouwen als uniek en is daardoor beschermd. De taluds van de dijk zijn zeer steil opgezet, onder een helling van 1 op 2. Over de kruin loopt een lokale verbindingsweg. Een traditionele ophoging is niet mogelijk vanwege de beperkte hoeveelheid ruimte op en naast de dijk en de slappe ondergrond.

2.5 Doelstelling

Op de beschouwde locatie in Ammerstol zal een innovatieve waterkering worden ontworpen, waarbij het karakteristieke landschap, de historische bebouwing en de verbindingfunctie behouden blijven.

3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

3.1 Inleiding

De casestudy heeft te maken met een aantal beperkingen. Een deel bestaat uit randvoorwaarden, dit zijn beperkingen opgelegd door de omgeving, wetgeving en opdrachtgever. Dit zijn zogenaamde harde voorwaarden, hieraan moet voldaan worden. Het andere deel bestaat uit uitgangspunten, die door de ontwerper aan het project zijn opgelegd. Deze beperkingen zijn geordend en genummerd per aspect. De randvoorwaarden, uitgangspunten en aanvullende eisen zijn zo mogelijk gekwantificeerd en gebundeld in 3.4 Programma van Eisen.

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 Ruimtelijke randvoorwaarden

- RR 1. De waterkering mag geen afbreuk doen aan het winterbed van de rivier, tenzij elders compenserende maatregelen worden toegepast.
- RR 2. De nieuwe waterkering mag geen groter ruimtebeslag hebben dan de huidige waterkering.

3.2.2 Natuurlijke randvoorwaarden

- NR 1. De huidige en toekomstige maatgevende hoogwaters, moeten gekeerd kunnen worden, voor de periode van 2000 tot 2100, met een overstromingsrisico zoals vastgelegd in de Deltawet.
- NR 2. De levensduur van de waterkering dient minimaal 100 jaar te zijn.
- RR 3. In de gebieden met slappe grond moet een stabiele waterkering gerealiseerd worden. Het maatgevende grondprofiel zal zijn te vinden in het 3.4 Programma van Eisen

3.2.3 Technische randvoorwaarden

- TR 1. De gekozen oplossingen zullen met de hedendaagse techniek realiseerbaar moeten zijn.
- TR 2. De waterkeringen zullen het maatgevend hoogwater moeten keren, zonder daarbij stabiliteit of functie te verliezen. De waterkering mag dus niet falen en niet bezwijken.

3.2.4 Functionele randvoorwaarden

- FR 1. De hoofdfunctie die de waterkering vervult, namelijk het keren van rivierwater, moet vervuld blijven worden gedurende de gehele planperiode.
- FR 2. De waterkering moet te inspecteren zijn en in eigendom van de dijkbeheerder blijven.

3.2.5 Economische randvoorwaarde

- ER 1. De innovatieve oplossing kan alleen gerealiseerd worden indien na een kosten-batenanalyse blijkt dat deze oplossing niet duurder is dan een traditionele oplossing. Omdat dit altijd het geval zal zijn voor de waterkering zelf, zullen de baten die een innovatieve waterkering oplevert meegenomen mogen worden. Dit kunnen zowel directe (financiële) als indirecte (woon omgeving, milieu) baten zijn. Deze baten worden vergeleken met een traditionele oplossing waarbij er aantasting aan het landschap en de bebouwing zou optreden, die vertaald kunnen worden naar kosten.

3.3 Uitgangspunten

3.3.1 Ruimtelijk uitgangspunt

RU 1. Op de beschouwde locatie zal binnen de beperkte beschikbare ruimte toch een waterkering gerealiseerd moeten worden.

3.3.2 Natuurlijke uitgangspunten

NU 1. De hoogwaters die voorspeld zijn voor de komende eeuw moeten gekeerd kunnen worden. Dit betekent dat er rekening gehouden moet worden met klimatologische ontwikkelingen en gevolgen van menselijk handelen.

NU 2. Het karakter van het projectgebied mag niet wezenlijk veranderen, met name de huidige LNC-waarden moeten intact blijven of zelfs verbeteren.

3.3.3 Technisch uitgangspunt

TU 1. De nevenfuncties zullen een zelfde mate van veiligheid moeten hebben als vergelijkbare functies op andere locaties.

3.3.4 Functionele uitgangspunten

FU 1. De nevenfuncties die de waterkering momenteel vervult mogen niet afnemen, noch in kwalitatieve, noch in kwantitatieve zin. Een verschuiving in functies is, mits maatschappelijk aanvaard, wel mogelijk.

FU 2. De te realiseren waterkering zal multifunctioneel moeten zijn.

FU 3. De nieuwe waterkering moet maatschappelijk acceptabel zijn.

3.4 Programma van Eisen

3.4.1 Ruimtelijke Eisen

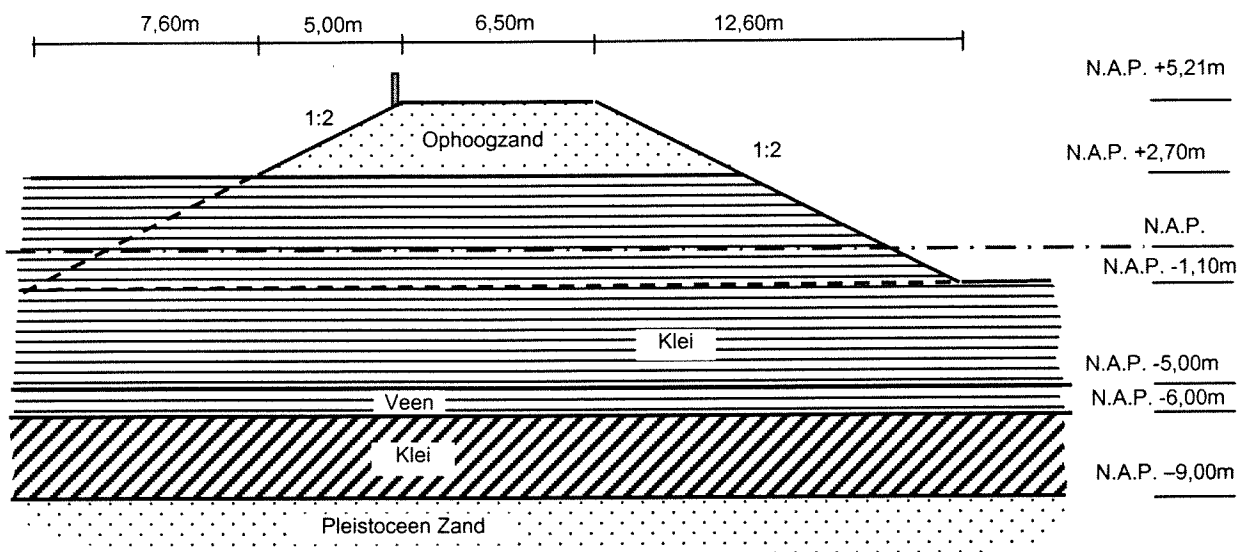
- RE 1. De waterkering mag geen afbreuk doen aan het winterbed van de rivier, tenzij elders compenserende maatregelen worden toegepast, zodat de toekomstige waterkering niet meer rivierwaarts geplaatst mag worden dan het huidige voorland.
- RE 2. De nieuwe waterkering mag geen groter ruimtebeslag hebben dan de huidige waterkering die op het niveau van het maaiveld in de polder (NAP -1,10m) van teen tot teen 32m breed is.

3.4.2 Natuurlijke Eisen

- NE 1. De levensduur van de waterkering dient minimaal 100 jaar te zijn vanaf de oplevering.
- NE 2. In het gebied met een slappe-lagen-pakket moet een stabiele waterkering gerealiseerd worden. Indien een grondlichaam gebruikt wordt dient de stabiliteitsfactor minimaal 1,3 te zijn.
- NE 3. De huidige waterkering is opgebouwd uit verschillende lagen. Er zal gebruik worden gemaakt van de volgende sterk vereenvoudigde schematisatie (zie figuur 3.1 en tabel 3-1).

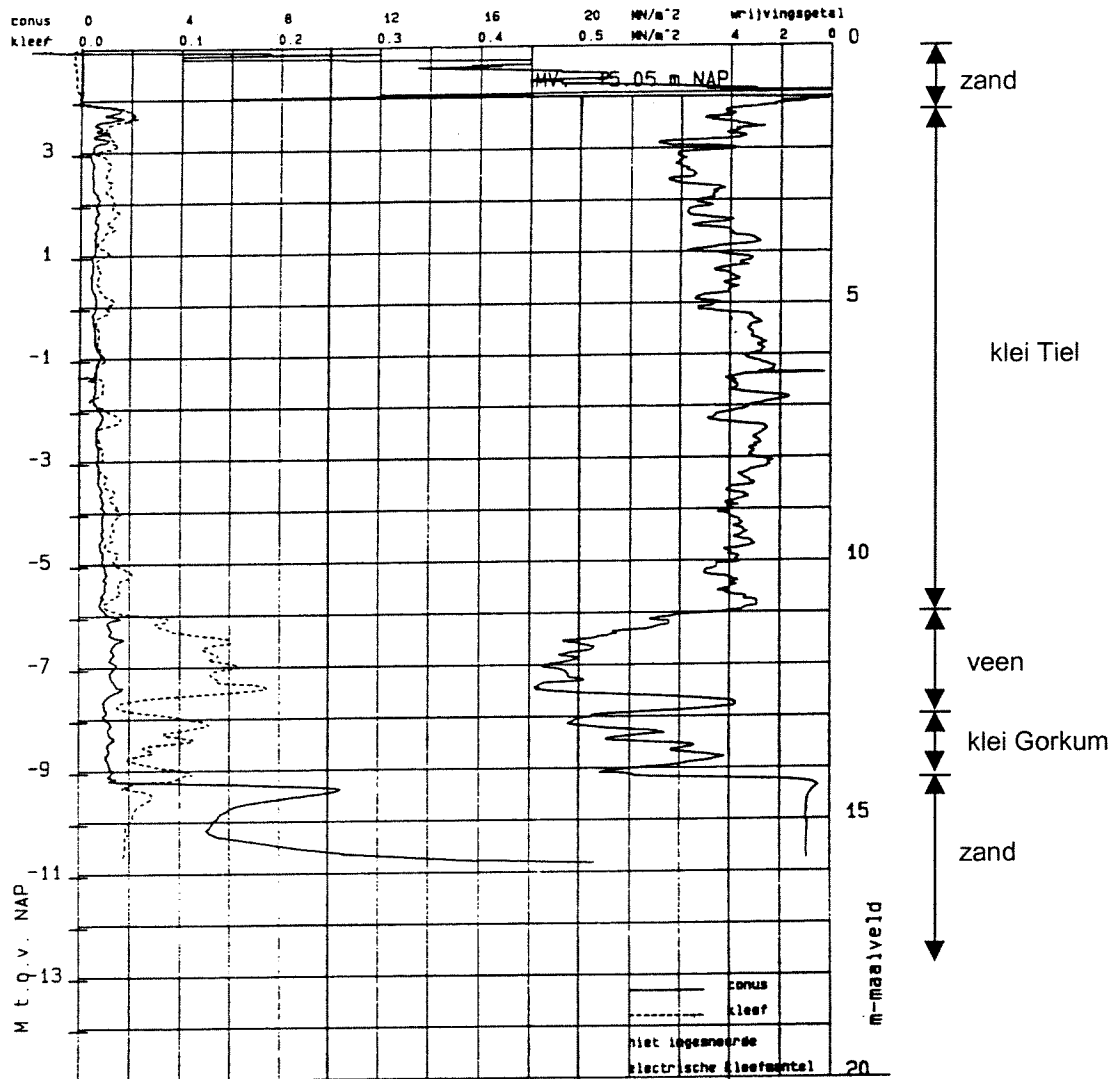
tabel 3-1: Schematisatie opbouw in lagen van de waterkering

Van	Tot	Materiaal	γ_{NAT} (kN/m ³)	γ_{DROOG} (kN/m ³)	Cohesie (kN/m ²)	Phi (graden)
NAP +2,70m	NAP +5,21m	Zand	20	17	0	30 ⁰
NAP -5,00m	NAP +2,70m	Klei Tiel	14	13	11	23 ⁰
NAP -6,00m	NAP -5,00m	Veen	10	10	10	25 ⁰
NAP -9,00m	NAP -6,00m	Klei Gorkum	17	17	6	23 ⁰
	NAP -9,00m	Pleistoceen zand	20	17	0	30 ⁰



figuur 3.1: Vereenvoudigde schematisatie grondprofiel huidige dijk in Ammerstol (schaal 1:250)

NE 4. Hoewel de locatie niet geheel overeenkomt, zal gebruik worden gemaakt van een sondering die in de buurt gemaakt is. Hoewel deze niet exact overeenkomt met het grondprofiel zoals dat gebruikt zal worden, zijn de afwijkingen zo klein dat deze niet significant zijn. Onderstaande sondering voldoet wel aan de opbouw, niet exact aan de locatie en dikte van de lagen. Dit is voldoende om de sondering te mogen gebruiken voor deze studie (zie figuur 3.2):

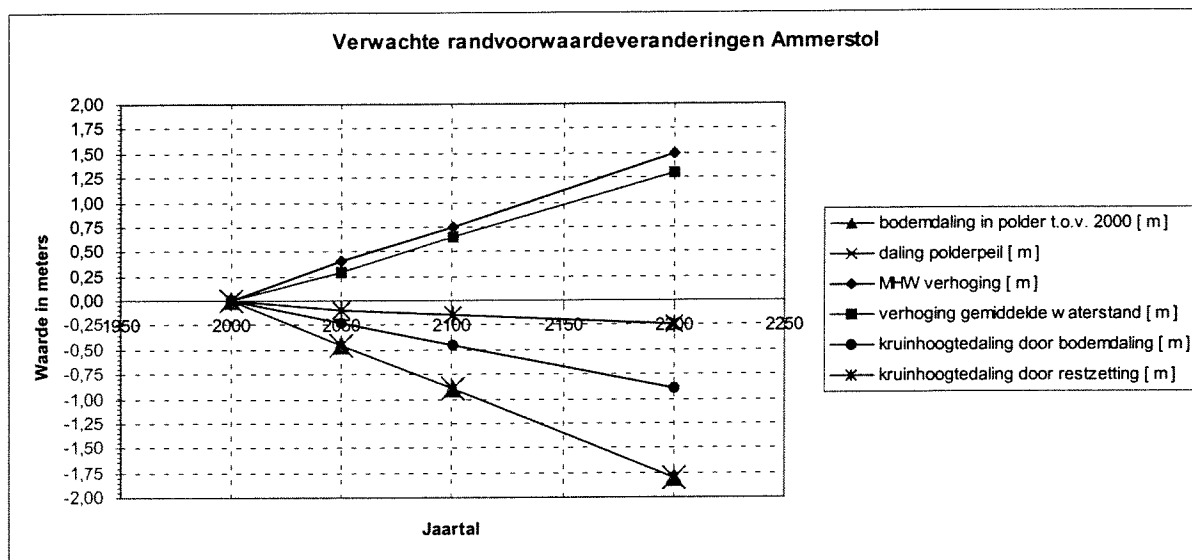


figuur 3.2: Sondering

NE 5. Het maatgevend hoogwater (MHW), dit is het stil waterpeil, oplopend van NAP + 3,80m (in 2000) tot NAP +4,55 (in 2100) moet veilig gekeerd kunnen worden, met een overstromingsrisico van 1/2000 per jaar, zoals vastgelegd in de Deltawet. De randvoorwaarden van de waterkering zullen in de toekomst volgens verwachting als volgt wijzigen (zie tabel 3-2 en figuur 3.3). Deze waarden gelden voor de huidige dijk. Voor een andere, meer harde constructie is alleen de MHW-verhoging echt van belang.

tabel 3-2: Verwachte wijzigingen in randvoorwaarden

Verandering randvoorwaarde t.o.v. 2000	2000	2050	2100	2200
MHW verhoging [m]	0,00	0,40	0,75	1,50
verhoging gemiddelde waterstand [m]	0,00	0,30	0,65	1,30
bodemdaling in polder t.o.v. 2000 [m]	0,00	-0,45	-0,90	-1,80
daling polderpeil [m]	0,00	-0,45	-0,90	-1,80
kruinhoogtedaling door restzetting [m]	0,00	-0,10	-0,15	-0,25
kruinhoogtedaling door bodemdaling [m]	0,00	-0,23	-0,45	-0,90

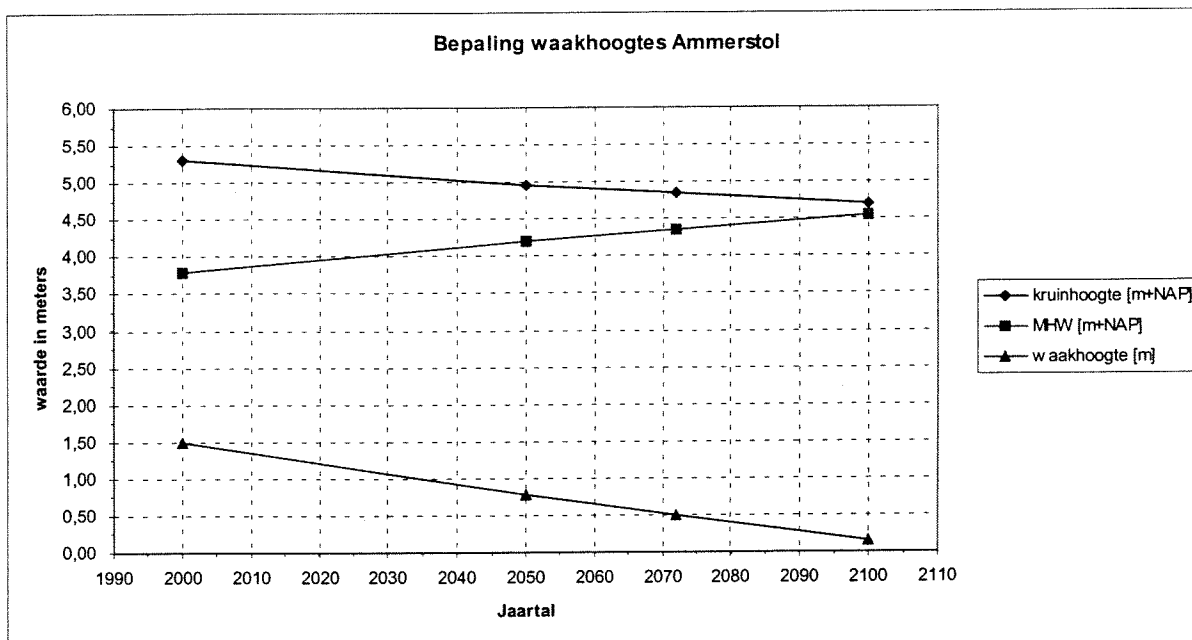


figuur 3.3: Grafische weergave randvoorwaardenveranderingen.

NE 6. Conform de eisen, gesteld in de Wet op de waterkering, dient er een waakhogte van 0,50m te zijn. Dit is de hoogte tussen MHW en de kruinhoogte. Voor de huidige dijk is de waakhogte voor de komende periode ingeschat (zie tabel 3-3 en figuur 3.4). Dit betekent dat de huidige waterkering qua hoogte niet meer voldoet in 2072, qua stabiliteit zijn er nu al problemen.

tabel 3-3: Inschatting waakhogte in de komende periode.

Jaartal	kruinhoogte [m+NAP]	MHW [m+NAP]	waakhogte [m]
2000	5,30	3,80	1,50
2050	4,97	4,20	0,77
2072	4,85	4,35	0,50
2100	4,70	4,55	0,15



figuur 3.4: Grafische weergave voorspelling waakhoogte

3.4.3 Technische eisen

TE 1. De waterkering zal het MHW moeten keren, zonder daarbij stabiliteit of functie te verliezen. De waterkering mag dus niet falen en niet bezwijken. Dit betekent dat de waterkering blijvend moet voldoen aan de eisen NE 2, NE 5 en NE 6.

TE 2. Voor de belasting gelden de volgende belastingfactoren:

permanente belasting (γ_a) in combinaties	permanente belasting (γ_a) gunstig werkend	veranderlijke belasting (γ_g)
1,2	0,9	1,5

TE 3. De materiaalfactoren zijn:

materiaal	uiterste grenstoestand (ugt)	bruikbaarheidsgrenstoestand (bgt)
staal	1,0	1,0
betonstaal	1,15	1,0
beton (druk)	1,2	1,0
beton (trek)	1,4	1,0

TE 4. Op de woningen zijn de volgende factoren van toepassing:

Veiligheidsklasse :	3
Referentieperiode:	50 jaar

TE 5. Veranderlijke belasting op de woningen:

categorie	extreem p_{rep} [kN/m ²]	momentaan ψ	geconcentreerd F_{rep} [kN]
vloer	1,75	0,4	3
ontsluitingswegen	2,0	0,25	3
balkons e.d.	2,5	0,5	3
balustraden	0,5	0	1
parkeergarages	2,0	0,7	10
daken	1,0	0	1,5

TE 6. Belasting door sneeuw: $p_{rep} = C_i * p_{sn,rep} = 0,56 * 0,7 \text{ kN/m}^2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$.

TE 7. Windbelasting: $W_i = A_i * C_i * p_w$

3.4.4 Functionele eisen

- FE 1. De hoofdfuncties die de waterkering momenteel vervult, bescherming van de Krimpenerwaard tegen overstromingen met een overstromingskans van 1/2000 per jaar, zoals vastgelegd in de Wet op de Waterkering, moet in de toekomst vervuld blijven.
- FE 2. De waterkering moet eigendom blijven van de dijkbeheerder en bereikbaar zijn voor inspectie.
- FE 3. De nevenfuncties die de waterkering momenteel vervult mogen niet afnemen, noch in kwalitatieve, noch in kwantitatieve zin. Een verschuiving in functies is, mits maatschappelijk aanvaard, wel toegestaan.

De huidige nevenfuncties met hun beheerders zijn:

Functie	impl./expl.	beheerder
Woonfunctie	impliciet	huiseigenaren
Cultuurfunctie van historische bebouwing	expliciet	Gemeente
Cultuurfunctie van beschermd stadsgezicht	impliciet	Gemeente
Cultuurfunctie van de aanwezige natuurwaarden	impliciet	Provincie
Verkeersfunctie als ontsluitingsweg	expliciet	Provincie
Verkeersfunctie voor fietsers	expliciet	Gemeente
Verkeersfunctie voor bestemmingsverkeer	expliciet	Gemeente

Uit de huidige functies volgen de volgende functionele eisen:

Wonen:	De waterkering moet de ondergrond bieden voor bebouwing en tevens ruimte hiervoor vrij laten.
Verkeer:	De waterkering moet het bestemmingsverkeer een goede mogelijkheid bieden tot het ontsluiten van de hieraan gelegen bebouwing.
Natuur:	De waterkering mag geen belemmering vormen voor de huidige natuurwaarden.
Cultuur:	De waterkering mag geen verstoring vormen voor de historische bebouwing en het beschermde stadsgezicht

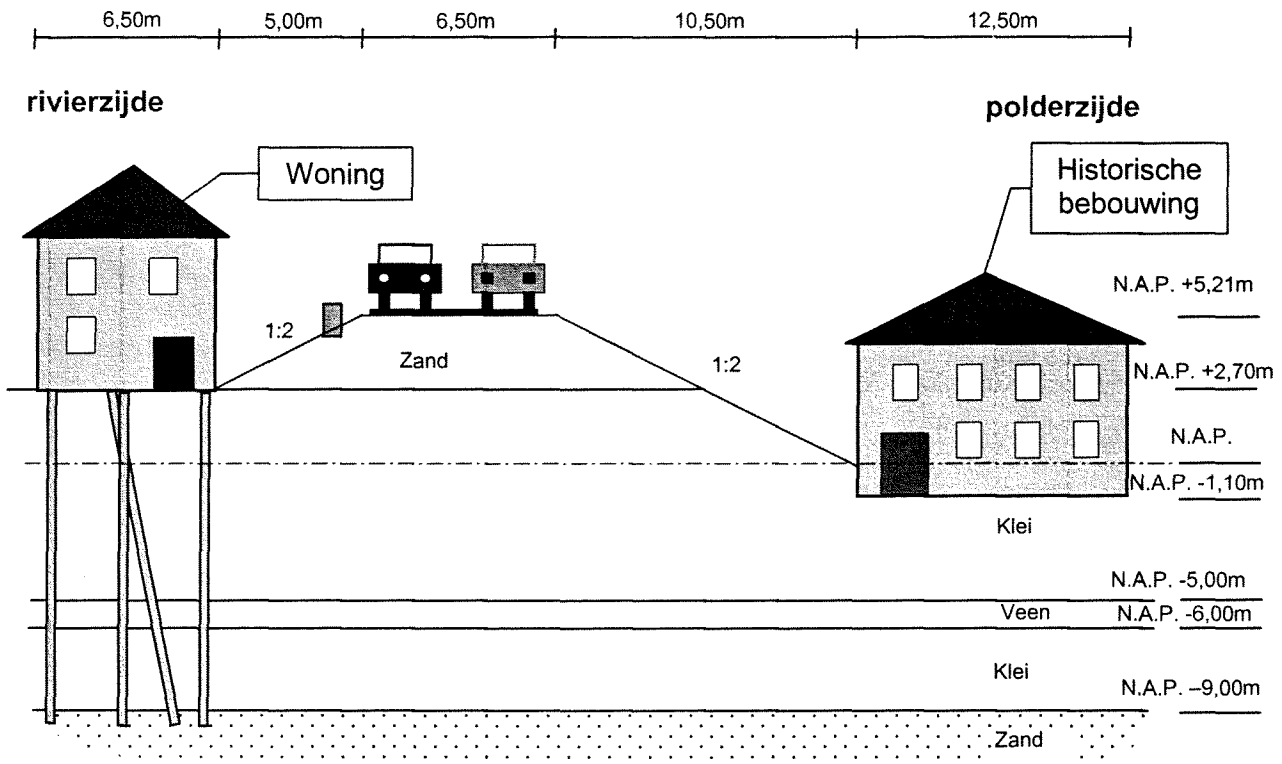
4 Ontwerp waterkeringen

Als vergelijking voor de innovatieve waterkering dient de aanleg van een traditionele waterkering als basis. De afmetingen hiervan zullen worden bepaald in paragraaf 4.2 Ontwerp van een traditionele waterkering. Hieruit zal direct blijken dat dit geen haalbaar alternatief is op de beschouwde locatie, waardoor de aanleg van een alternatieve waterkering een logische keuze wordt. De afmetingen van een harde constructie worden bepaald in paragraaf 4.3 Ontwerp van een harde constructie. Als uitgangspunt dient uiteraard de bestaande situatie weergegeven in paragraaf 4.1.

4.1 Bestaande situatie

De huidige dijk is opgebouwd uit klei, met taluds onder een helling van 1:2. De laatste verhoging is echter uitgevoerd in zand. Buitendijks bevindt zich een verhoogd voorland waarop in de jaren vijftig woningen zijn gebouwd, gefundeerd op palen. Binnendijks bevinden zich aan de teen van de dijk enkele historische panden, gefundeerd op staal. Op de kruin is een lokale verkeersweg geplaatst (zie figuur 4.1). Aan weerszijden van deze weg bevinden zich enkele parkeerhavens op een verhoging naast de woningen. Aan de binnenzijde bevinden zich ook enkele afritten naar woningen en straten die in de polder liggen. Bij de laatste dijkversterkingronde zijn er aan de rivierzijde van de kruin enkele muurtjes geplaatst in combinatie met openingen waar schotbalken in geplaatst kunnen worden.

Het verhoogde voorland varieert in breedte van vijf tot vijftig meter. Er is in de karakteristiek doorsnede voor een gemiddelde hiervan gekozen en een breedte van tien meter gehanteerd.



figuur 4.1: Huidige situatie met hoogtematen. (schaal 1:250)

4.2 Ontwerp van een traditionele waterkering

Als referentie voor de innovatieve waterkering zal er eerst een traditionele waterkering worden ontworpen. Deze kan niet uitgevoerd worden, maar geeft wel een indicatie van afmetingen en eisen ter vergelijking voor een innovatieve waterkering.

Om een goede waterkering te ontwerpen, wordt er stap voor stap naar een aantal aspecten gekeken. Uit deze elementen wordt dan het benodigde profiel opgebouwd.

4.2.1 Bepaling kruinhoogte

De kruinhoogte (h_{kr}) van een dijk is als volgt opgebouwd⁵:

$$h_{kr} = MHW + h_{zsr} + h_{zkl} + h_{opw} + h_{sbb} + w$$

waarin:

- MHW: Maatgevend Hoog Water, dit is het peil dat de dijk minimaal moet kunnen keren en bedraagt in het onderhavige geval NAP + 4,55m (in 2100)
- h_{zsr} : De relatieve zeespiegelrijzing, deze is reeds meegenomen in het toekomstige MHW en wordt niet apart in rekening gebracht (0,65 m).
- h_{zkl} : De hoogte die extra is aangebracht om het effect van zetting en klink teniet te doen. De totale hoogte hiervan bedraagt hier 0,60m (zie NE 3 in 3.4 Programma van Eisen)
- h_{opw} : De waterstandsverhoging, dankzij de opwaaiing door de wind. De wind uit het zuiden is maatgevend en deze zorgt voor een verhoging van 0,0015m
- h_{sbb} : De verhoging die veroorzaakt wordt door seiches en oscillaties is hier verwaarloosbaar.
- w: De waakhogte om het effect van golfoploop en -overslag te verkleinen is gelijk gesteld aan de minimale waakhogte van 0,50m

De sommatie van deze elementen leidt tot de benodigde kruinhoogte, welke hier zo'n NAP + 6,30m is. Volgens moderne methodes zou er een overslagdebiet toegestaan kunnen worden van 0,1 l/s/m¹, hetgeen tot een scherper ontwerp zou kunnen leiden. Deze methode vraagt, als compensatie voor een lagere kruinhoogte, echter wel perfecte grastaluds, hetgeen gezien het huidige gebruik van de dijk voor andere functies als wonen e.d. niet erg eenvoudig te realiseren is en dus hier niet gebruikt zal worden

4.2.2 Bepaling minimale breedte

De 'groene dijk', die beschouwd mag worden als 'standaard rivierdijk', wordt als uitgangspositie genomen. Dit is een dijk bestaande uit een zandlichaam bekleed met een kleilaag van 2m, met taluds van 1:3 en als toplaag een grasmat. De breedte van de dijk wordt vooral bepaald door de standzekerheid. De minimale breedte gevraagd vanuit veiligheidsoogpunt is 4m. Indien de verkeersfunctie behouden dient te blijven wordt de kruinbreedte 6,50m. Hieraan wordt de ruimte toegevoegd die de taluds van 1:3 vragen (per zijde een breedte van 3 maal de dijkhoogte), hier dus $2 \cdot 3 \cdot (\text{NAP} + 6,30\text{m} - \text{NAP} - 1,10) = 45\text{m}$. Naast dit directe ruimtebeslag, wordt er ook gebruik gemaakt van tenen van klei ter vermindering van piping, van een kwelsloot, van bermen ter vergroting van de stabiliteit en eventueel van kwelschermen. Het gaat hier te ver op daar nader op in te gaan. Er wordt volstaan met de afmetingen zoals hierboven geschetst.

⁵ Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW, Delft, juni 1997, pag. 189-190

4.2.3 In rekening brengen van golfbelasting

Tot nu toe is er nog geen rekening gehouden met de golfbelasting. Indien op dezelfde locatie wel rekening wordt gehouden met flinke golven zal dit invloed hebben op de afmetingen van de dijk. Dit zal worden toegelicht en uiteindelijk resulteren in een minimaal dwarsprofiel. Voor de berekening van de golven zijn de waarden gebruikt die als karakteristiek worden beschouwd voor het benedenrivierengebied en vermeld staan in het *Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies*⁶. De maatgevende golf heeft de volgende karakteristieken:

grootheid	symbool	waarde
significante golfhoogte	H_s	0,70 m
significante golfperiode	T_s	2,6 s
golflengte in diep water	L_0	$1,56 T_s^2 = 10,56m$

De toplaag van de dijk bestaat uit een grasmat (reductiefactor $\gamma_R = 0,95$). Verder wordt de dijk uit de vorige subparagraaf 4.2.2 als basis genomen, met een aangepaste waakhoogte.

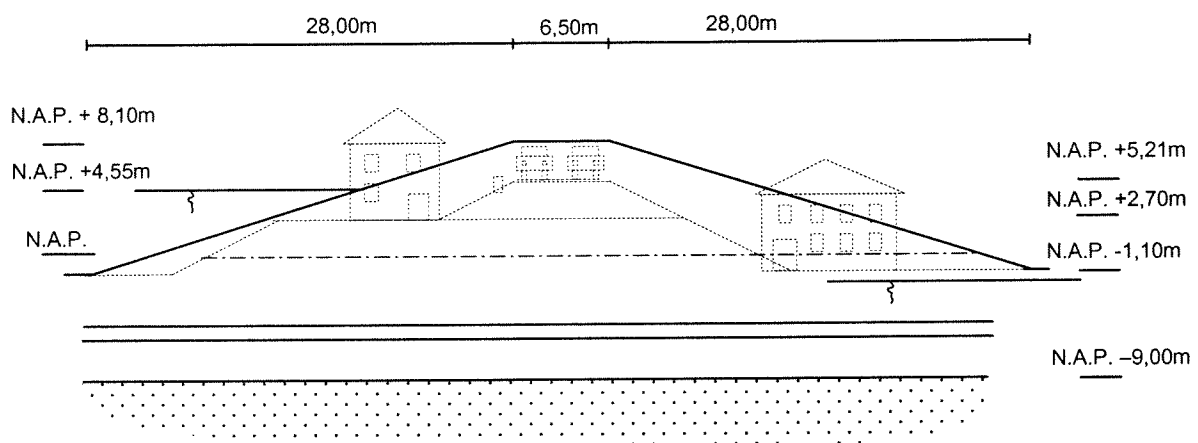
De golfoploop wordt berekend met de formule: $z_{2\%} = 8 H_s \tan\alpha \gamma_R$
 Hieruit volgt een kruinhoogte : $h_k = \text{NAP}+6,30m + z_{2\%}$
 en een breedte op maaiveldniveau: $B = 6,50m + 2 * \cotg\alpha * (h_k - \text{NAP}-1,10m)$.

De golfoploop is in dit geval 1,8m. Dit resulteert in $h_k = \text{NAP} +8,10m$ en $B = 62,0m$.

Hieruit valt te concluderen dat de afmetingen van de minimale dijk zijn:

kruinhoogte (h_k)	NAP +8,10m
kruinbreedte (B_k)	6,50 m
taluds	1:3
breedte op maaiveld (B)	62,0m
toplaag buitentalud	gras

Dit profiel is hieronder geschetst.



figuur 4.2: Afmetingen minimaal dwarsprofiel bij traditionele dijk (Schaal 1:500)

Hieruit blijkt duidelijk dat op de beschouwde locatie de aanleg van een traditionele ophoging geen optie is, omdat dit gepaard gaat met volledig verlies van alle nevenfuncties.

⁶ Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW, Delft, juni 1997, pag. 112

4.3 Ontwerp van een harde constructie

Het enige element dat voor een harde constructie die gebouwd wordt op palen kan worden bepaald is de noodzakelijke hoogte.

De kruinhoogte (h_{kr}) van een dijk is als volgt opgebouwd⁷:

$$h_{kr} = MHW + h_{zsr} + h_{zkl} + h_{opw} + h_{sbb} + w$$

waarin:

- MHW:** Maatgevend Hoog Water, dit is het peil dat de dijk minimaal moet kunnen keren en bedraagt in het onderhavige geval NAP + 4,55m (in 2100)
- h_{zsr} : De relatieve zeespiegelrijzing, deze is reeds meegenomen in het toekomstige MHW. en wordt niet apart in rekening gebracht (0,65 m).
- h_{zkl} : De hoogte die extra is aangebracht om het effect van zetting en klink teniet te doen. Omdat de constructie op palen staat is die hier 0m
- h_{opw} : De waterstandsverhoging, dankzij de opwaaiing door de wind. De wind uit het zuiden is maatgevend en deze zorgt voor een verhoging van 0,0015m
- h_{sbb} : De verhoging die veroorzaakt wordt door seiches en oscillaties is hier verwaarloosbaar.
- w:** De waakhoogte om het effect van golfoploop en -overslag te verkleinen.

Analoog aan het ontwerp van de groene dijk in de vorige paragraaf wordt gerekend met een ontwerp golf van 0,70m. Indien de golven verwaarloosd zouden worden zou de kruinhoogte op NAP+4,55m mogen worden gesteld (gelijk aan MHW dus). Hierop moet echter nog wel een waakhoogte worden geteld tegen de overslag door golven.

De formule hiervoor (zie ⁸) is:

$$w = \alpha_{komb} H_s + 0,30 \text{ [m]}$$

waarin:

- w** te bepalen waakhoogte
- α_{komb} factor waarin de komberging wordt verdisconteerd (hier is geen komberging en dan is α_{komb} gelijk aan 1)
- H_s significante golfhoogte (hier dus 0,70m)

Hieruit volgt dat de waakhoogte bij een verticale constructie, gefundeerd op palen gelijk is aan 1,0m. De minimale kruinhoogte is derhalve NAP +5,55m.

Om piping en onderloopsheid te voorkomen, hetgeen bij een constructie op palen altijd erg snel optreedt doordat de grond wel zakt, maar de constructie niet, is de aanleg van een kwelscherm onder de constructie noodzakelijk.

Verder dient een harde constructie natuurlijk goed gefundeerd te zijn en voldoende stijf, sterk en stabiel om zijn functie te vervullen, maar hiervoor zijn geen minimale afmetingen aan te geven.

⁷ Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW, Delft, juni 1997, pag. 189-190

⁸ Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW, Delft, juni 1997, pag. 109

5 Alternatieven en varianten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de verschillende principeoplossingen die in het hoofdrapport gepresenteerd zijn worden toegepast op de locatie van de casestudy. Alle principeoplossingen zullen geprojecteerd worden op de situatie in Ammerstol met daarin afmetingen op schaal. Elke oplossing zal beoordeeld worden op voor- en nadelen, waarna terugkoppeling naar de scoretabel kan plaatsvinden.

Als eerste zal de bestaande situatie worden toegelicht met horizontale en verticale afmetingen. Hierin zullen ook alle eisen die er aan afmetingen van de nieuwe waterkering worden gesteld worden toegelicht.

Uitgangspunt is de scoretabel. De principeoplossingen uit het onderzoek komen allen in aanmerking om als oplossing in Ammerstol te dienen. De alternatieven zijn weergegeven in tabel 5-1. Van deze conceptoplossingen zal kort worden onderzocht of deze als oplossing in Ammerstol kunnen dienen. Er zal een keuze worden gemaakt en de gekozen oplossing zal nader worden uitgewerkt.











In de huidige situatie worden door de waterkering drie functies vervuld: er bevinden zich woningen op de dijk, er bevindt zich een verkeersweg op de dijk en achter de dijk zijn historische panden te vinden. Daarnaast is het geheel beschermd als stadsgezicht. Uit de scoretabel blijkt dat een aantal oplossingen redelijk scoort op alledrie de punten, te weten de wand, de diepwand en de dijk met verbeterde ondeggrond. Echter ook de andere oplossingen scoren redelijk tot goed en zullen dus bekeken worden. Door alle oplossingen kort te beschouwen is het tevens mogelijk de scoretabel te calibreren, zodat deze in toekomstige situaties inderdaad een goed beeld geeft van de mogelijke oplossingen.

Alle oplossingen zullen worden vergeleken met een traditionele ophoging, zoals die ontworpen is in 4.2 Ontwerp van een traditionele waterkering, uitgevoerd in zand en klei. Deze oplossing is niet goed toepasbaar, vanwege de eisen die er worden gesteld aan ruimtegebruik, multifunctionaliteit en veiligheid, maar dient wel als uitgangspunt voor de vergelijking.

Er worden aan de nieuwe waterkering de volgende eisen gesteld (als specificatie op 3.4 Programma van Eisen):

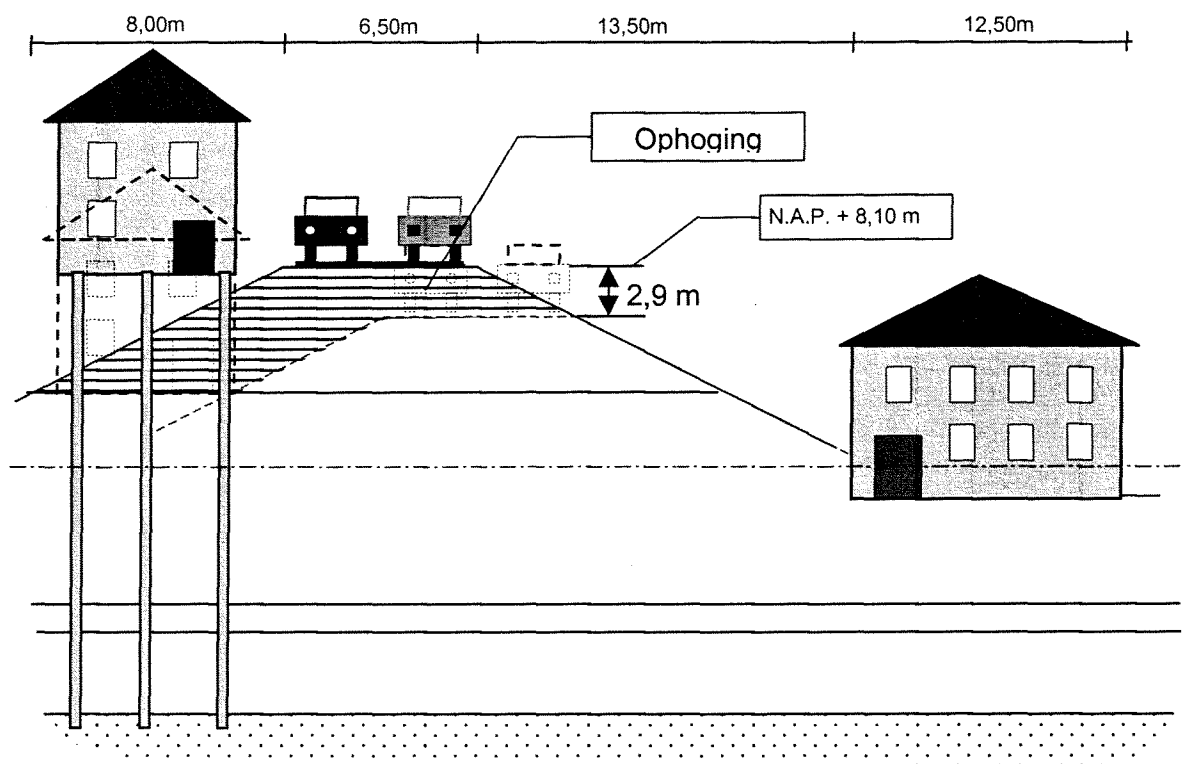
- De verbeterde waterkering zal indien deze wordt uitgevoerd als een grondlichaam een kruinhoogte moeten hebben die zo'n 2,90 m boven de huidige kruinhoogte ligt, dus op NAP+8,10m.
- Indien er gebruik wordt gemaakt van een harde constructie kan de kruinhoogte beperkt worden doordat geen rekening hoeft te worden gehouden met zettingen en golfploop. Op basis van de maatgevende golfhoogte van 0,70m lijkt als eerste schatting een hoogte van ongeveer 1,0m boven MHW een redelijke hoogte. Indien er voor een harde constructie wordt gekozen zal dit nader worden uitgewerkt. Qua orde van grootte voldoet 1,0m heel goed.
- De binnendijkse woningen dienen behouden te blijven. De buitendijkse woningen mogen eventueel vervangen worden door nieuwe woningen, als de woonfunctie maar behouden blijft. Hetzelfde geldt voor de verkeersfunctie die behouden moet blijven, maar de weg zelf niet noodzakelijkerwijs.
- Verder is een eis dat het dorpsgezicht niet ingrijpend gewijzigd mag worden, omdat dit beschermd is als typisch Nederlands rivierenlandschap.
- Als oplossing voor deze eisen zal een multifunctionele waterkering worden ontworpen die ruimte biedt aan de historische functie, de woonfunctie, de verkeersfunctie en uiteraard aan de waterkeringsfunctie.

tabel 5-1: Scoretabel principeoplossingen.

Code	Oplossing	Schets	Zekerheid van waterkering	Woonfunctie	Transportfunctie	Historie	Natuurfunctie	Meervoudige functiecombinatie	Flexibiliteit waterkering	Flexibiliteit functieruimte	Uitvoerbaarheid	Landschappelijke inpassing	Kosten
I-a	Dijk met aangepaste ophoging		o	o	o	-	++	+	+	+	+	+	+
I-b	Dijk met verbeterde ondergrond		-	+	o	+	++	+	++	+	+	+	+
II-a	L-muur		++	++	++	--	o	o	--	++	++	-	o
II-b	Doosconstructie		++	++	++	--	-	++	o	-	++	o	o
II-c	Folie		+	++	--	--	--	o	--	--	-	-	-
II-d	Wand		-	+	+	++	o	+	+	+	--	+	+
III-a	Diepwand		+	-	+	++	++	o	--	+	++	+	+
III-b	Kistdam		+	+	++	-	-	-	-	+	o	-	+
IV-a	Klepkering		--	-	+	-	-	-	--	-	-	++	--
IV-b	Hefconstructie		--	+	-	-	-	-	+	o	-	+	--

5.2 Dijk met aangepaste ophoging

Een manier om de dijk te verhogen, zonder een extra belasting aan te brengen, is door op te hogen met lichte ophoogmaterialen. Ideeën hiervoor zijn geëxpandeerde kleikorrels of schuimbeton (zie figuur 5.1). Een ander idee is door gebruik te maken van holle buizen. Hoewel deze oplossing een goede mogelijkheid kan zijn op andere locaties, is deze oplossing niet goed toepasbaar in Ammerstol. Zoals duidelijk is geworden in het onderzoek van Grondmechanica Delft is de huidige waterkering niet stabiel en is de huidige dijk niet veilig. Een ophoging, waarbij de huidige dijk zijn functie moet blijven vervullen als waterkering, is dus niet mogelijk. Er is uit het onderzoek gebleken dat bij het proefvak een lichte ophoging geen grote voordelen bood ten opzichte van een gewone ophoging en dus ook geen oplossing was. Een mogelijke oplossing hiervoor zou een combinatie zijn van de lichte ophoging met een ondergrondverbetering.



figuur 5.1: Aangepaste ophoging met nieuwe buitendijkse woning op palen.

De zekerheid van waterkeren is slechter in vergelijking met van een traditionele ophoging. Het is onzeker of de ophoging horizontaal stabiel is te krijgen, doordat de schuifspanning sterk afneemt door lichtere bovenbelasting op het ophoogmateriaal. Verder is het ophoogmateriaal dermate licht, dat het gevaar voor opdrijving ontstaat in een hoogwatersituatie. Deze problemen wegen waarschijnlijk niet op tegen de winst die er qua stabiliteit behaald kan worden door verkleining van het aandrijvend moment in vergelijking met een traditionele ophoging.

Een ander nadeel is dat voor het aanbrengen van de ophoging de bestaande woningen en wegen verwijderd moeten worden. Door de onzekerheden in de gedragingen van het lichte materiaal is het aanbrengen van nieuwe woningen op het talud van dit materiaal niet aantrekkelijk, waardoor de woningen los op palen dienen te worden geplaatst. De lichte ophoging heeft tot gevolg dat de binnendijkse monumentale panden behouden kunnen blijven.

De flexibiliteit is beperkt, daar de eisen, die er aan de nieuwe kering omtrent nevenfuncties worden gesteld, verdere ophoging moeilijk maken. De kering is in principe goed uit te voeren

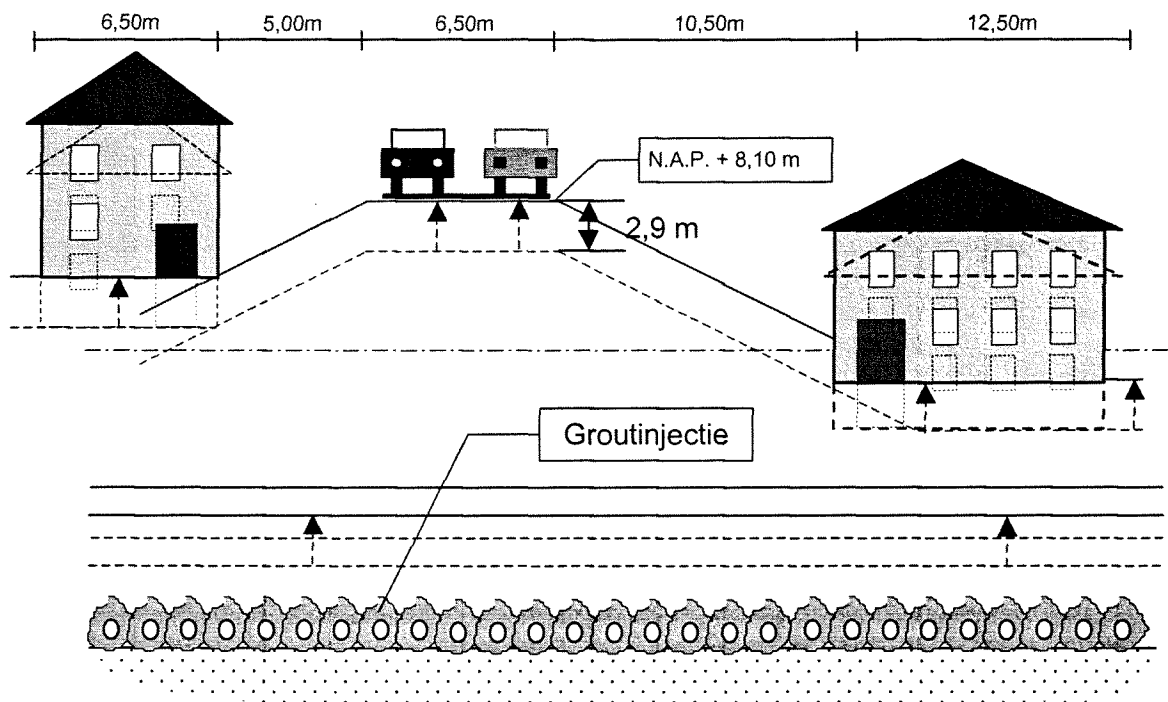
en goed in te passen in het rivierlandschap. Er zijn derhalve geen grote afwijkingen van de beoordeling zoals die in de scoretabel zijn te vinden.

In deze situatie blijkt deze oplossing echter niet goed toepasbaar omdat de huidige waterkering niet aan de veiligheidseisen voor stabiliteit voldoet en een ophoging hierin geen verbetering brengt. Dit kan niet meegenomen worden in de algemene tabel, omdat het uitgangspunt daar is dat de huidige waterkering aan de huidige eisen voldoet.

5.3 Dijk met verbeterde ondergrond en (traditionele) ophoging

Een manier om de stabiliteit van de dijk te vergroten, is het verbeteren van de ondergrond. Dit kan door middel van bijvoorbeeld een groutinjection of zand-cement-kolommen. Daarnaast zal de waterkering opgehoogd moeten worden. Hiervoor is eigenlijk geen ruimte beschikbaar. Indien de waterkering dankzij de grondverbetering een grotere stabiliteit heeft, kan er in principe traditioneel opgehoogd worden met zand of klei. Omdat de buitendijkse woningen gesloopt zouden mogen worden, zou dit mogelijk zijn. Het betekent echter wel een aantasting van het stadsgezicht, door zowel de hogere dijk, als de sloop van de woningen. Een alternatief is door de ophoging en de ondergrondverbetering in met één integrale oplossing door te voeren, bijvoorbeeld door gebruik te maken van onderhogen, een methode waarbij zand of grout onder grote druk de ondergrond ingespoten wordt. Het lijkt vrijwel onmogelijk deze ophoging te beperken tot de dijk, tenzij er damwanden worden aangebracht bij de randen van het op te hogen gebied, maar dan is een kistdam aantrekkelijker (zie 5.8). Daarnaast leveren de buitendijkse woningen die gefundeerd zijn op palen problemen op, omdat deze niet zomaar opgetild kunnen worden.

Een alternatief lijkt het aanbrengen van kousen van geotextiel in horizontale boorgaten die gevuld kunnen worden met grout. Los van de onzekerheden in de realisatie en werking hiervan, lijkt het aanbrengen van deze kousen op de beschouwde locatie vrijwel onmogelijk. Toch is getracht dit alternatief vorm te geven. Zie figuur 5.2.



figuur 5.2: Ondergrondverbetering d.m.v. onderhogen (groutinjection).

Het aanbrengen van een onderhoging is een zeer riskante operatie door de relatieve nieuwe procedure en door het grote risico van ongelijke zettingen/ophogingen en de slechte controle. Een ander probleem is dat er bij het onderhogen zeker problemen ontstaan aan de

rand van het te onderhogen gebied en aangezien die randen in de stadskern vallen, zijn deze problemen aanzienlijk.

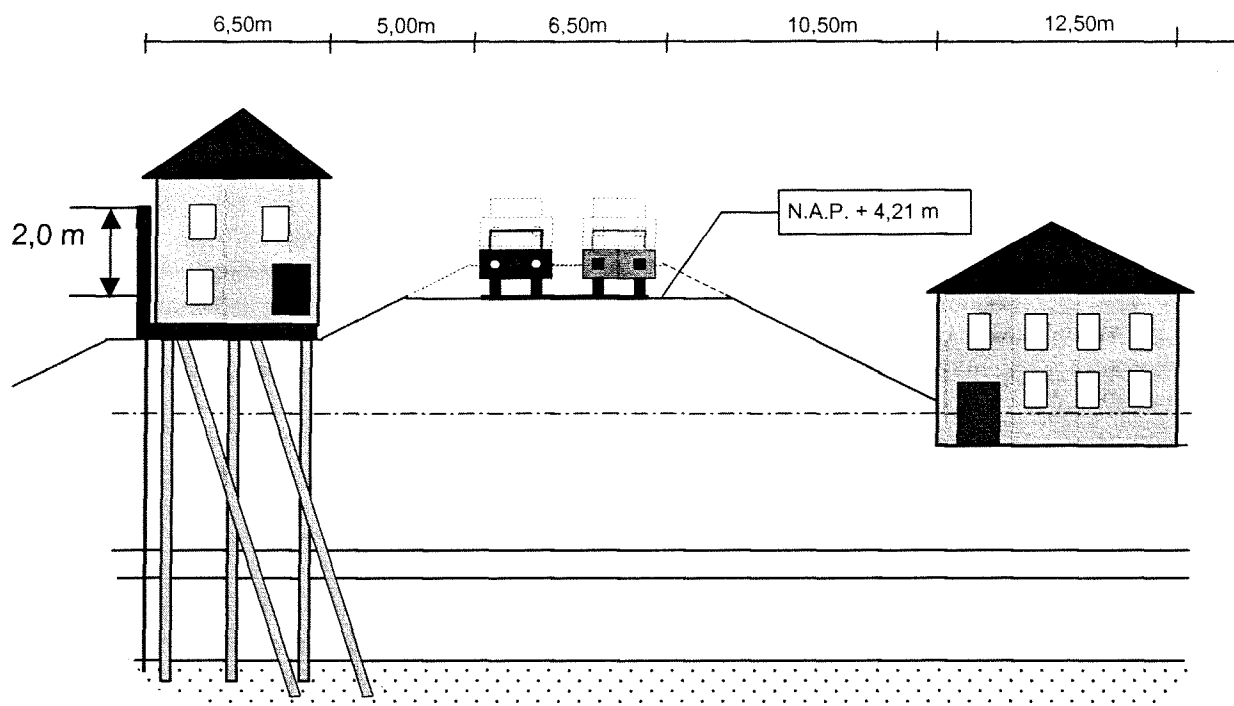
Alternatieven bij het onderhogen zijn het onderhogen met behulp van een groutinjectie. Hierbij treden deels dezelfde problemen op als bij onderhoging met zand. Een andere mogelijkheid is door de bovengrond te bevriezen en vervolgens te "liften" door het injecteren van zand eronder. Naast de onervarenheid hiermee, gelden ook hier de problemen met de randen van het gebied.

Mede door de technische problemen en onzekerheden is de zekerheid van waterkeren bij deze oplossing slecht. De aanleg van nieuwe woningen en wegen is even slecht als bij de lichte ophoging, hoewel de bestaande bebouwing misschien intact kan blijven. De flexibiliteit is goed, doordat de verbeterde ondergrond een hoge draagkracht en stabiliteit heeft en in de toekomst dus relatief eenvoudig opgehoogd kan worden. Uiteraard is de landschappelijk inpasbaarheid hoog, omdat er uiterlijk niets verandert. Dit wijkt nauwelijks af van de beoordeling in de scoretabel. Zoals al aangegeven bestaan er wel grote twijfels omtrent de uitvoerbaarheid van de oplossing en dit maakt de oplossing minder aantrekkelijk.

5.4 L-muur

Het is ook mogelijk om in Ammerstol een harde kering toe te passen zoals een L-muur. Een nadeel van deze oplossing is dat de huidige situatie aangepast moet worden om de constructie aan te kunnen leggen en te kunnen laten functioneren. Een goede manier om de situatie te verbeteren is door de constructie aan te leggen ter plaatse van de buitendijkse woningen en na aanleg op dezelfde plaats nieuwe woningen te bouwen (zie figuur 5.3). Op deze manier kan de waterkeringverbetering worden gecombineerd met een verbetering van de woningen in de stad. Dit kan worden gezien als stadsvernieuwing en dat kan in dat opzicht wenselijk zijn. Punt van aandacht is wel de aansluiting op de waterkering aan weerszijden L-muur. Voordeel is dat de huidige dijk de waterkerende functie verliest. Ter vergroting van de stabiliteit en het stadsgezicht bestaat er de mogelijkheid om de laatste ophoging weer af te graven.

Ter voorkoming van onderloopsheid en piping wordt de onderzijde van de L-muur aangesloten op een damwand. Om de krachtsafdracht te realiseren wordt de L-muur onderheid door middel van heipalen onder de constructie.



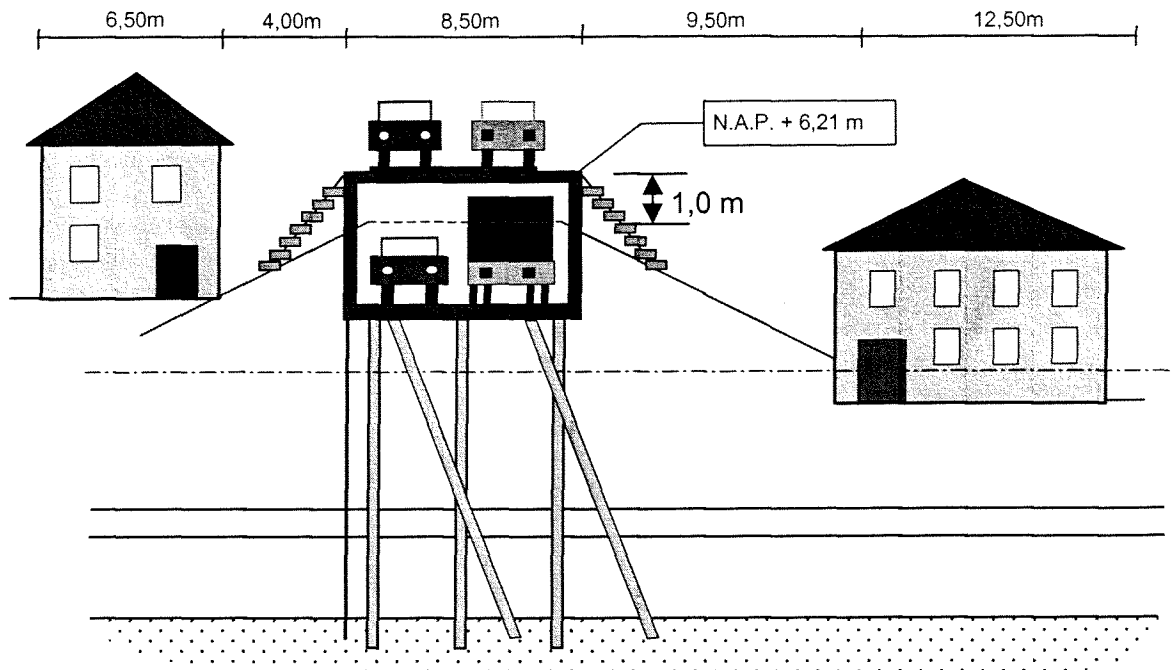
figuur 5.3: L-muur in de buitendijkse woning.

De zekerheid van waterkeren is hoog voor de L-muur op zich. Problemen die op zouden kunnen treden hebben betrekking op de dubbele functie van de L-muur en de gebrekkige controle door de dijkbeheerders. Op zich is de constructie uitermate geschikt als fundering voor woningen, zij het dat het om nieuwbouw gaat. Bij deze oplossing kan de bestaande historische bebouwing intact blijven, vooral indien de kruin wordt afgegraven, hetgeen tot grotere stabiliteit leidt. De verkeersweg zal dan wel opnieuw moeten worden aangelegd. Om het beheer en de verantwoordelijkheden zoveel mogelijk te scheiden, is het waarschijnlijk het meest aantrekkelijk de woningen los op de L-muur te bouwen en niet te integreren. Doordat de kering onderdeel is van de fundering van de woningen, is deze in de toekomst moeilijk te verhogen. Wel is de ontwerplevensduur van de woning korter, waardoor er tijdens herbouw van de woning goede mogelijkheden zijn voor aanpassing van de L-muur. Verder hoeft de uitvoering geen problemen op te leveren, wel moet de bestaande buitendijkse bebouwing worden gesloopt en zal er tijdens de uitvoering sprake zijn van een afname in de bereikbaarheid, doordat er veel ruimte nodig is voor de aanleg van de L-muur met onderbouw.

De aanleg van een L-muur in combinatie met woningbouw is een goed alternatief indien de buitendijkse woningen vervangen mogen worden.

5.5 Doosconstructie of folieconstructie

Een alternatieve harde constructie is de doosconstructie. Qua waterkering is de functie identiek aan de L-muur, maar voor de invulling van de nevenfuncties is de werking totaal anders. De doosconstructie kan gebruikt worden om verkeer over of door te laten plaatsvinden, of als woning (zie figuur 5.4). Als woning biedt de doos geen voordelen boven de L-muur, maar als verkeersmedium zijn die er wel. Door de grote stijfheid van de wanden wordt een stabiele basis geschapen, bijvoorbeeld voor een lokale weg over de doos en een doorgaande erin. De koker dient als waterkering in combinatie met een aansluitend damwandscherm. Ter verkleining van de gecreëerde barrière kan de koker aan de zijanten worden verfraaid door trappen, beplanting, beschildering enzovoort.



figuur 5.4: Doosconstructie in de waterkering.

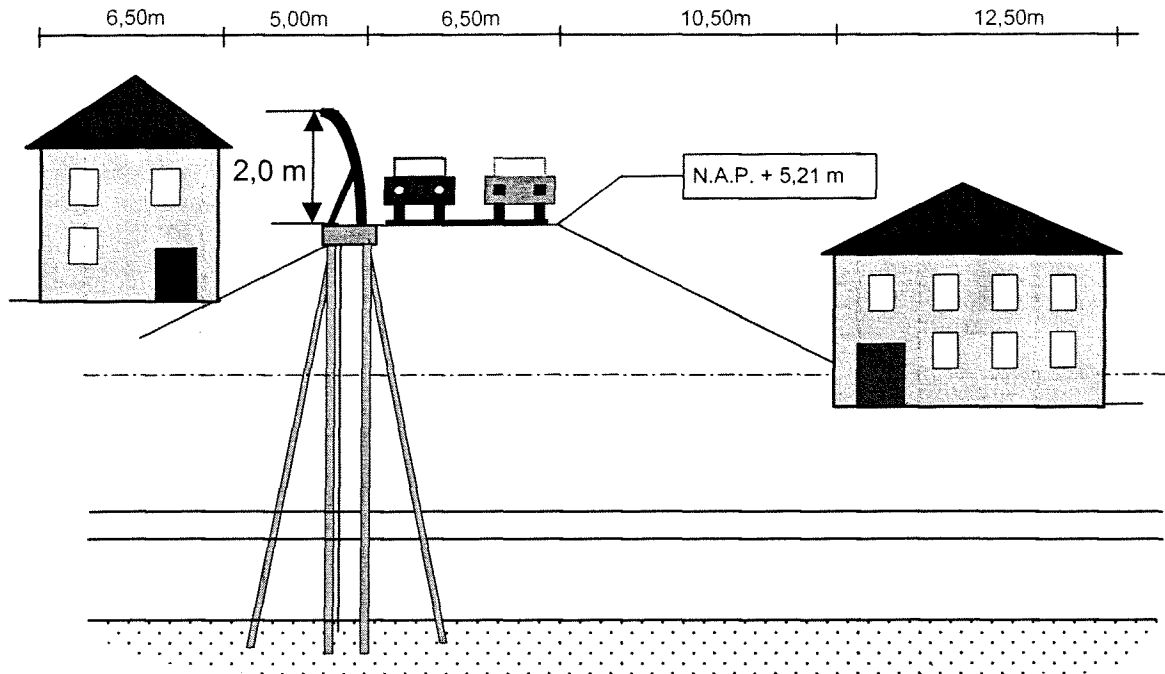
De zekerheid van waterkeren is groot, doordat het een solide constructie van beton betreft, in combinatie met damwanden. De koker biedt ruimte voor transport, zowel erin als erop. De historische bebouwing kan behouden blijven, de buitendijkse bebouwing zal misschien gesloopt moeten worden om de koker aan te kunnen leggen. De flexibiliteit voor toekomstige verhogingen is goed. Het is mogelijk om een opstaande wand op de koker te plaatsen of om traditioneel op te hogen, maar er zitten wel beperkingen aan, met name aan de draagkracht van de paalfundering. Verder zijn de functieruimten niet erg flexibel, in theorie zou de ruimte op de koker ingevuld kunnen worden door woningen, maar dat voldoet niet aan de eisen gesteld bij dit probleem. De uitvoering is vrij lastig, enerzijds omdat tijdens de bouw geen transport over de kering kan plaatsvinden, anderzijds omdat tijdens de bouw een verminderd waterkerend vermogen aanwezig is, doordat een deel van de huidige waterkering wordt afgegraven.

Al met al lijkt de oplossing met een doos hier niet erg aantrekkelijk.

5.6 Wand

Een oplossing die weinig afbreuk doet aan het uiterlijk van de dijk, is de aanleg van een doorzichtige wand. Dit zou bijvoorbeeld een stalen, kunststof of aluminium frame kunnen zijn, waarbinnen glazen of plexiglas platen zitten. Deze oplossing is qua principe vergelijkbaar met de schotbalken, alleen in een modernere uitvoering. De krachtsafdracht geschiedt op gelijke wijze, de waterdruk en winddruk wordt via kolommen overgebracht via de fundering van beton naar de funderingspalen (zie figuur 5.5).

Nadelen van deze oplossing zijn de duidelijke scheiding die er wordt aangebracht tussen binnen en buitendijks gebied. Met name binnen het dorp leidt dit tot een onaanvaardbare barrière. Indien de buitendijkse woningen intact blijven (hetgeen mogelijk is bij deze oplossing) worden deze fysiek gescheiden van de rest van Ammerstol. Dit zou opgelost kunnen worden door doorgangen te maken met deuren, vergelijkbaar met die in een geluidswal. Toch leidt dit voor de buitendijkse bewoners waarschijnlijk tot een onaanvaardbare situatie. Verder zijn er grote onzekerheden over de waterdichtheid van de verbindingen tussen het frame en de platen, met name bij de deuren.



figuur 5.5: Doorzichtige kerende wand.

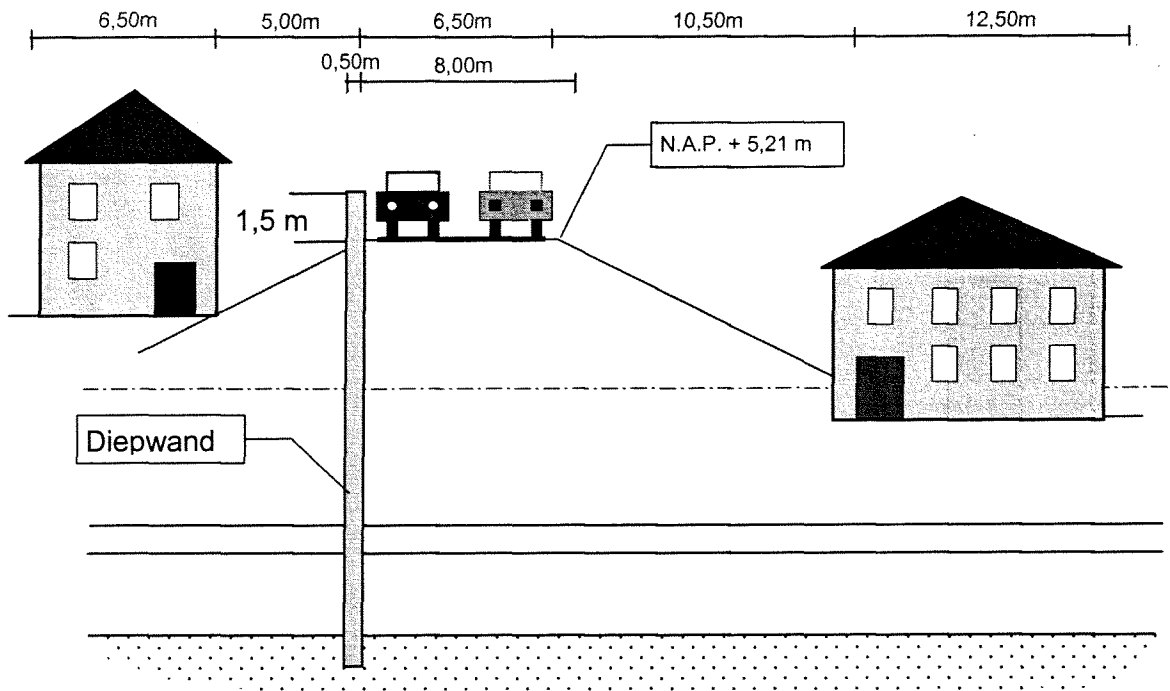
De zekerheid van waterkeren is niet optimaal, zo zijn de openingen (deuren) mogelijke plekken waar het water van bijvoorbeeld golven doorheen kan. Verder is er sprake van niet uniforme materialen, met bijborende aansluiting en er is geen reserve aanwezig. De wand is een duidelijke barrière en hoewel er naast de wand ruimte is voor woningen, zijn deze slecht bereikbaar. Er is wel ruimte voor een verkeersweg. De waterkering is niet eenvoudig aan te passen aan toekomstige eisen. Indien de fundering daarop wordt ontworpen kan in de toekomst wel een hogere wand worden geplaatst, maar dit kan slechts tot de ontwerpbelasting op de fundering. De functieruimten zijn redelijk flexibel in te vullen, doordat deze los staan van de kering zelf. De wand zelf lijkt geen problemen op te leveren bij de uitvoering, de doorgangen zullen echter wel problematisch zijn, vooral gezien de strenge eisen die daaraan gesteld worden. Wel zal goed onderzoek gedaan moeten worden naar de toepassing van doorzichtige materiaal dat aan de eisen voldoet. De verwachting is echter dat dit oplosbaar is met de huidige generatie kunststoffen.

De wand lijkt een oplossing die niet goed toepasbaar is op de huidige locatie door de barrièrewerking. Wel zijn er misschien mogelijkheden buitendijks.

5.7 Diepwand met opzetstuk

De aanleg van een diepwand is in deze context de meest traditionele oplossing. Er wordt een sleuf gegraven in de huidige dijk. Deze sleuf wordt tijdens de bouwfase volgestort met betoniet, om steundruk te verlenen zodat er geen grond in de sleuf schuift. Deze sleuf wordt gegraven tot aan de draagkrachtige zandlaag (in dit geval dus N.A.P. -9,00m). In het betoniet worden stalen raamwerken gehangen van wapeningsstaven. Tenslotte wordt het beton gestort, waarbij de grond dienst doet als bekisting. Op de diepwand wordt een opzetstuk gestort met behulp van bekisting. Dit storten gebeurt in delen, om te voorkomen dat er teveel warmteontwikkeling plaatsvindt. Ook in de lengte wordt de diepwand in delen (segmenten) opgebouwd. Uiteindelijk ontstaat er een doorlopende wand van beton. Deze wand houdt het water wel tegen, maar is voor de krachtsafdracht deels afhankelijk van de grond achter de kering. (zie figuur 5.6)

De diepwand is een goede mogelijkheid, omdat er weinig ruimte voor nodig is en de huidige functies niet aangetast hoeven te worden. Een nadeel is wel dat niet ten volle geprofiteerd kan worden van de aanleg van een harde constructie. De aanwezigheid van het talud zorgt voor golfloop en de zetting van de grond achter de diepwand zal invloed hebben op de standzekerheid, waardoor er een marge moet worden ingebouwd.. Dit resulteert in een iets hogere kerende hoogte dan bij een harde constructie (ongeveer 1,5m).



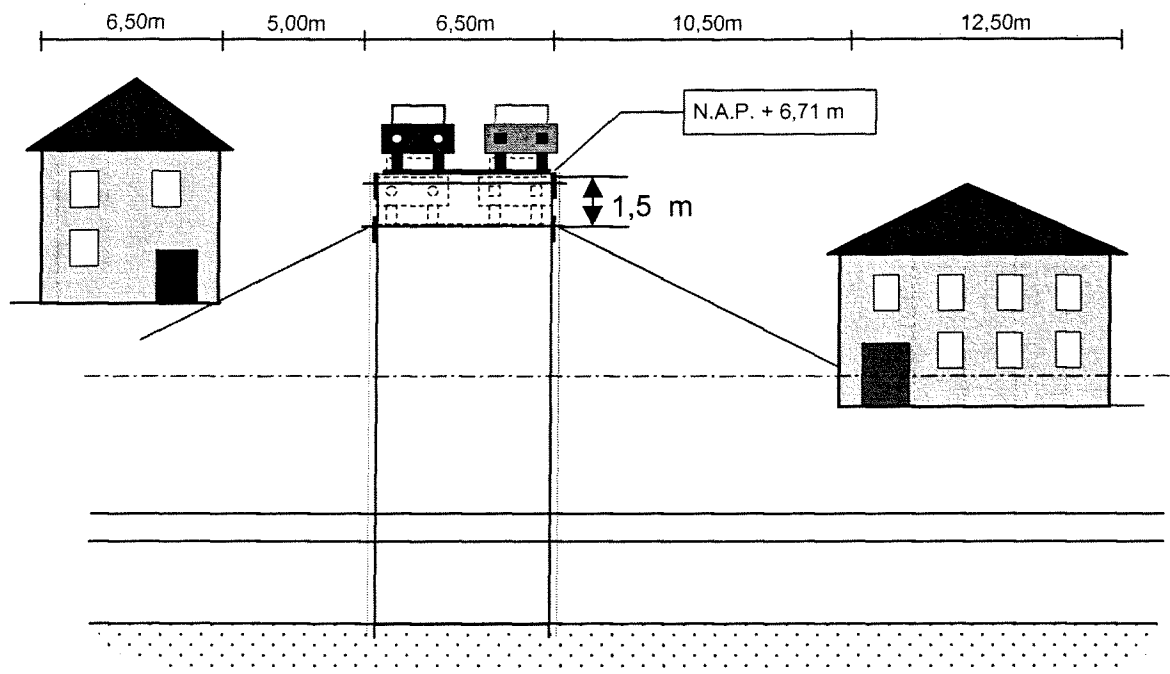
figuur 5.6: Diepwand met erachter gewapende grond als verhoging op grondkolommen.

De zekerheid van waterkeren is hoog, maar wordt beperkt door de afhankelijkheid van de grond achter de diepwand, waaraan de horizontale stabiliteit wordt ontleend. Doordat de verhoging van de waterkering beperkt is (orde 1,5m) zal de diepwand enige barrièrewerking hebben. Een goede manier om dit op te lossen, is door de aanleg van een ophoging achter de diepwand met licht ophoogmateriaal (zie ook 5.2). Ook het aanbrengen van grondkolommen (grond vermengd met grout, kalk, grind of cement) waardoor de draagkracht en stabiliteit van het grondlichaam toenemen, is een optie. Hier bovenop kan dan eventueel grond worden gestort (bijv. gewapende grond) waarop de weg kan worden aangelegd. Op deze ophoging kan de verkeersfunctie worden vervuld. Tevens kan door middel van trappen aan weerszijden de barrièrewerking worden verminderd. In dat geval doet de diepwand geen afbreuk aan de woonfunctie en de verkeersfunctie, ook is de landschappelijke inpassing hiermee bereikt. De flexibiliteit van de diepwand is beperkt door de draagkracht van de ondergrond (het Pleistocene zand) en de horizontale stabiliteit van het grondlichaam. Het is mogelijk op een later tijdstip nog een stuk erop te storten. Dit heeft wel nadelige consequenties voor de nevenfuncties. De invulling van de functieruimten is redelijk beperkt. De uitvoering van de diepwand levert geen problemen op, de verhoging misschien wel.

5.8 Kistdam

De kistdam kan een oplossing zijn. Een kistdam bestaat uit twee stalen damwanden die onderling verbonden zijn en op die wijze de grond ertussen mobiliseren, waardoor er een soort gewichtsconstructie ontstaat. In het onderhavige geval zou er aan weerszijden van de weg een damwand in de dijk geheid kunnen worden tot aan de draagkrachtige laag op N.A.P. -9,00m. Het voordeel bij deze oplossing is dat alle huidige nevenfuncties behouden

kunnen blijven. De woningen kunnen gespaard worden en de weg kan na voltooiing van de waterkering opnieuw aangelegd worden, zij het op een hoger niveau. Onder de weg kunnen de trekankers aangebracht worden om de kistdam te laten functioneren. Zie figuur 5.7. Een nadeel is dat het uiterlijk wel zal veranderen, dankzij de kistdam zal een verticale kering deels in de plaats komen van een grondtalud. De aanwezigheid van het talud zorgt voor golfploop waardoor er een marge moet worden ingebouwd. Dit resulteert in een iets hogere kerende hoogte dan bij een harde constructie (ongeveer 1,5m). De bereikbaarheid van de woningen kan hierdoor verslechteren. Verder geldt dat tijdens de bouw de bereikbaarheid erg slecht is.



figuur 5.7: Kistdam als waterkering met daarop een verkeersweg.

De kistdam is een redelijk veilige constructie, door de combinatie van een dubbel damwandscherm in combinatie met grond zijn er voldoende marges aanwezig. Net als bij de diepwand is ook hier sprake van barrièrewerking. Deze barrière is te verminderen door de aanleg van trappen. Er wordt dus wel enige afbreuk gedaan aan de woonfunctie, geen enkele echter aan de verkeersfunctie of de historische bebouwing. De flexibiliteit van de waterkering voor toekomstige ophogingen is erg klein. Een optie zou een verlenging van de damwanden kunnen zijn door middel van lussen, maar de kosten en beperkte betrouwbaarheid hiervan maken die oplossing niet erg aantrekkelijk. De flexibiliteit van de functieruimten is beperkt, doordat op de kistdam eigenlijk geen andere functie vervuld kan worden dan de transportfunctie. Wel is het misschien mogelijk een verkeersfunctie aan te brengen in de kistdam. Gedacht wordt dan aan een betonnen koker in de kistdam tot aan kruinhoogte waarbinnen ruimte is voor verkeer (vergelijkbaar met een tunnel) in combinatie met grondverbetering eronder. Dit kan leiden tot een uitbreiding van functies. Wel is de ruimte te beperkt voor een tunnel in twee richtingen, waardoor de investeringskosten hiervoor misschien te hoog zijn.

De kistdam is goed te realiseren en lijkt een aantrekkelijke oplossing.

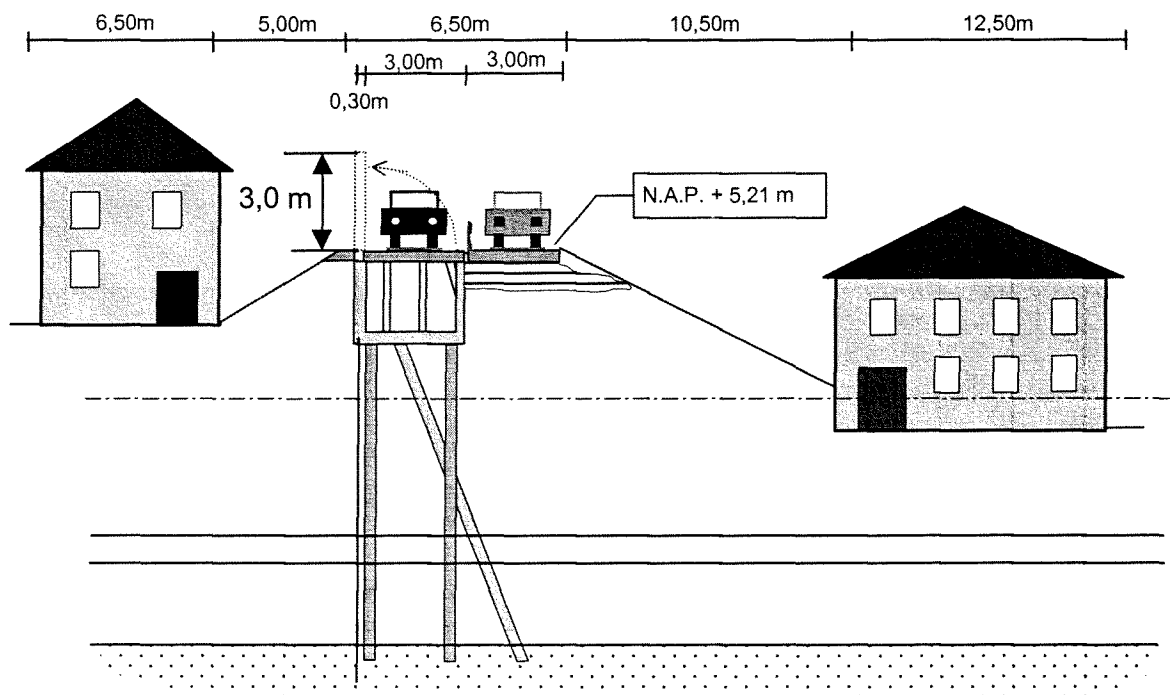
5.9 Beweegbare keringen

Een alternatieve mogelijkheid is de aanleg van een beweegbare waterkering. Indien het uitgangspunt is dat de huidige functies gehandhaafd dienen te blijven, ligt de aanleg van een

klepkering of hefschuif het meest voor de hand. Hoewel theoretisch ook een balgstuw gebruikt zou kunnen worden, bestaat er grote onzekerheid over de krachtsafdracht en de benodigde ruimte bij deze oplossing. Ook een brede hefkering zou een mogelijkheid kunnen zijn, maar hierbij bestaan er grote onzekerheden over de werking. Daarnaast kan binnen de beperkte beschikbare ruimte waarschijnlijk geen hefkering worden aangelegd, waarop een weg in dezelfde categorie kan worden aangelegd. Daarnaast kan tijdens hoogwater de kering waarschijnlijk niet gebruikt kan worden voor transport vanwege de combinatie van dynamische belastingen. Het voordeel van de beweegbare kering is dat deze tijdens laagwater geen barrière vormt, noch in aanzicht noch als een fysieke hindernis.

5.9.1 Klepkering

De klep kan worden aangelegd over de totale breedte van de weg, maar ook over één weghelft, waardoor de weg niet versmald hoeft te worden. Er zijn diverse uitvoeringsvarianten denkbaar. Zo is er de mogelijkheid om de weg op de klep aan te leggen (zie figuur 5.8) of verzonken in een bak onder de klep. Het rotatiemechanisme kan variëren van hydraulische cilinders of vijzels tot aan een oprijfmechanisme. Deze oplossingen vormen tijdens hoogwater wel een barrière, zowel in aanzicht, als in fysieke hindernis omdat de buitendijkse woningen onbereikbaar zijn en er beperkte verkeersafwikkeling kan plaatsvinden.



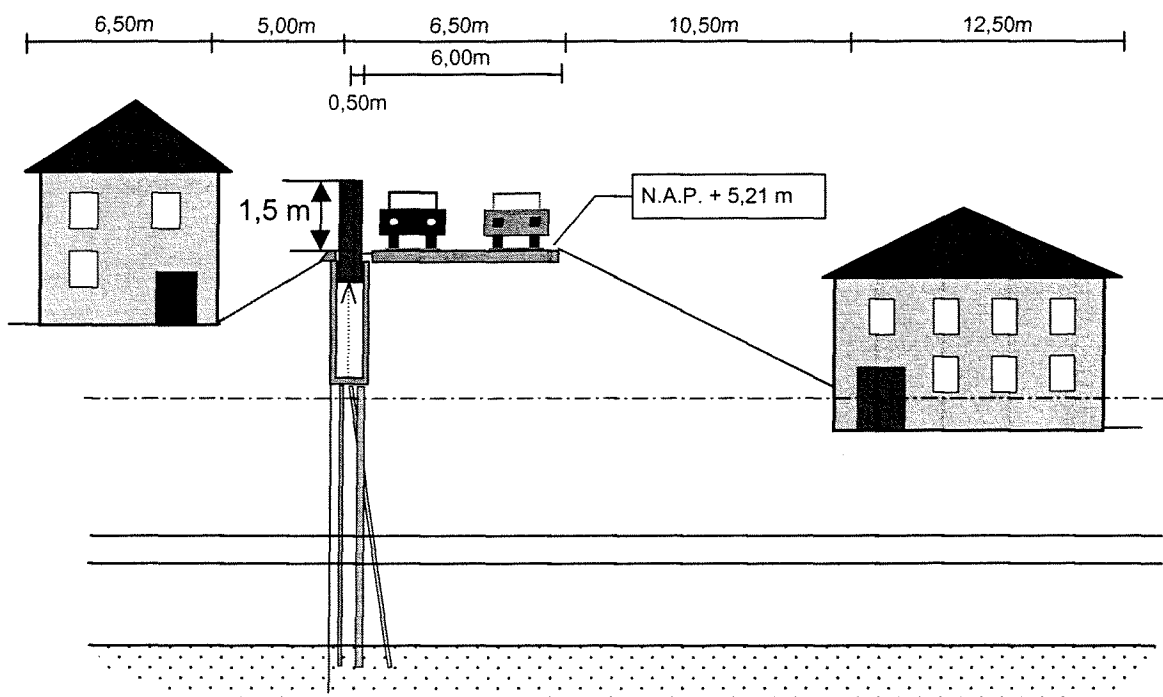
figuur 5.8: Klepkering met verkeer over de klep.

De zekerheid van waterkeren van de klepkering is beperkt. De constructie bevat bewegende delen die een grote faalkans hebben, doordat er onzekerheid is of de kleppen wel omhoog gaan of niet, of de bewegingsmechanieken wel functioneren, of de aansluiting wel goed is of de leppen wel vrij zijn (geparkeerde auto's kunnen een belemmering vormen) enz. Dit maakt de waterkering erg onzeker, vooral omdat er geen reserve aanwezig is. Door de onzichtbaarheid van de constructie tijdens laagwater is de constructie erg aantrekkelijk voor de landschappelijk inpassing. Verder kan de klep gebruikt worden voor de transportfunctie en is er geen barrièrewerking. Tijdens hoogwater is er echter wel een barrière, zowel voor de bewoning als het verkeer. De klepkering is niet flexibel voor toekomstige waterstandsverhogingen, omdat de afmetingen van klep en bak beperkt zijn, nog afgezien van de dimensionering van het bewegingsmechaniek en de fundering. Ook de uitvoering is

onzeker, doordat de kleppen onderling moeilijk waterdicht zijn te maken en het tracé tamelijk bochtig is, hetgeen extra complicaties met zich meebrengt. Dit maakt dat toepassing van de klepkering erg onaantrekkelijk is.

5.9.2 Hefschuif

De hefschuif kan naast de weg worden aangelegd of eventueel op één weghelpt, waardoor de weg versmald zou moeten worden. Er zijn diverse uitvoeringsvarianten denkbaar. Het grootste verschil zit in het hefmechanisme. Dit kan variëren van hydraulische cilinders of vijzels tot aan een opdrijfmechanisme. Deze oplossingen maakt vrijwel geen gebruik van de huidige dijk, die dan ook verlaagd zou kunnen worden. Deze oplossing vormt tijdens hoogwater wel een barrière, zowel in aanzicht, als in fysieke hindernis omdat de buitendijkse woningen onbereikbaar zijn en er geen (of beperkte) verkeersafwikkeling kan plaatsvinden.



figuur 5.9: Klepkering met verkeer over de klep.

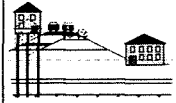

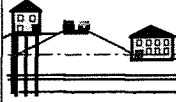

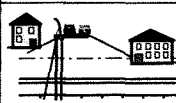


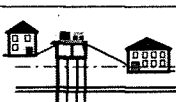

De zekerheid van waterkeren van de hefschuif is beperkt. De constructie bevat bewegende delen die een grote faalkans hebben, doordat er onzekerheid is of de schuiven wel omhoog gaan of niet, of de bewegingsmechanieken wel functioneren, of de aansluiting wel goed is enz. Dit maakt de waterkering erg onzeker, vooral omdat er geen reserve aanwezig is. Door de onzichtbaarheid van de constructie tijdens laagwater is de constructie erg aantrekkelijk voor de landschappelijk inpassing. Tijdens hoogwater is er natuurlijk wel een barrière. De klepkering is niet erg flexibel voor toekomstige waterstandsverhogingen, omdat de afmetingen van schuif en met name het ondergrondse huis en bak beperkt zijn, nog afgezien van de dimensionering van het bewegingsmechaniek en de fundering. Dit maakt dat toepassing van de hefschuif op deze locatie niet erg aantrekkelijk is, wel mogelijk.

6 Keuze uit te werken alternatief

6.1 Waardering verschillende alternatieven.

De waardering voor de verschillende alternatieven, zoals deze terug te vinden is in het vorige hoofdstuk is voor de overzichtelijkheid uitgedrukt in een scoretabel, waarmee de scoretabel uit het hoofdrapport goed is te controleren. Alleen kansrijke alternatieven zijn hierin opgenomen.

tabel 6-1: Scoretabel voor situatie in Ammerstol

Code	Oplossing	Schets	Zekerheid van waterkering	Inloed op woonfunctie	Inloed op transportfunctie	Behoud historische bebouwing / stadsgezicht	Meervoudige functiecombinatie	Flexibiliteit waterkering	Flexibiliteit functieruimte	Uitvoerbaarheid	Landschappelijke inpassing
I-a	Dijk met aangepaste ophoging		--	--	.	+	--	--	--	-	+
I-b	Dijk met verbeterde ondergrond		-	-	o	--	-	++	++	--	++
II-a	L-muur		++	++	o	++	+	+	+	+	+
II-b	Doosconstructie		++	+	++	-	++	+	o	--	-
II-d	Wand		-	o	o	o	o	-	++	-	+
III-a	Diepwand		+	o	o	-	-	+	-	+	-
III-b	Kistdam		+	+	+	o	o	-	-	++	-
IV-a	Klepkering		--	o	-	+	-	--	o	--	o
IV-b	Hefschuif		--	o	-	+	--	--	o	--	o

6.2 **Vergelijking tussen verschillende locaties voor de waterkering met bijbehorende alternatieven.**

Uit de scoretabel (zie tabel 6-1) blijkt dat deze redelijk overeenkomt met die van de principeoplossingen, zoals die te vinden zijn in het hoofdrapport (zie *Innovatieve waterkeringen* en tabel 5-1).

Verder is duidelijk dat er twee mogelijk locaties zijn voor de aanleg van de verbeterde waterkering:

1. De waterkering wordt buitendijks van de huidige waterkering gelegd.
2. De waterkering wordt ter plaatse van de huidige kruin gelegd.

Beide locaties bieden een aantal mogelijkheden om de waterkering te realiseren:

1.a. Dijk met aangepaste ophoging

De aangepast ophoging zal buitendijks moeten worden aangelegd, omdat anders of de hellingen te steil worden, of de verkeersfunctie komt te vervallen. Dit betekent dat de woningen buitendijks zullen moeten worden gesloopt en later opnieuw aangelegd kunnen worden, hoewel dit dan zal moeten gebeuren op palen en de beschikbaarheid van ruimte kleiner is. De oplossing is dus niet multifunctioneel en schept ook nog een probleem voor zowel de woningen als de weg.

1.b. L-muur

De L-muur kan ter plaatse van de woningen worden gelegd, die dan vervangen zullen worden door een nieuwe rij woningen. De L-muur vormt de waterkering en kan geïntegreerd worden in de woningen. Deze oplossing is multifunctioneel en voldoet aan alle eisen zoals die zijn gesteld.

1.c. Doosconstructie

De doosconstructie kan ter plaatse van de woningen worden gelegd, die dan vervangen zullen worden door een nieuwe rij woningen. De wand van koker vormt de waterkering. De doos kan als fundering voor de woningen dienen, alsmede plaats bieden aan verkeer. Deze oplossing is multifunctioneel en voldoet aan alle eisen zoals die zijn gesteld.

1.d. Doorzichtige Wand

De optimale locatie voor een wand is aan de rivierzijde van de buitendijkse woningen, die daarmee binnendijks komen te liggen, hierdoor vormt de wand geen barrière. Deze oplossing voldoet aan bijna alle eisen, behalve de eis dat het rivierbed niet versmald mag worden. Verder is de waterkering niet multifunctioneel en valt daarmee niet binnen het kader van deze studie.

2.a. Dijk met verbeterde ondergrond

De risico's die een dergelijke onderhoging met zich meebrengt zijn aanzienlijk. Dit heeft invloed op de bebouwing in het algemeen en de historische bebouwing in het bijzonder. Tevens zijn er grote vraagtekens omtrent de uitvoerbaarheid. Van multifunctionaliteit is geen sprake.

2.b. Doosconstructie

De doos kan in de kruin worden gelegd. Dit betekent echter dat er meerdere aanpassingen moeten worden doorgevoerd om de barrièrewerking te verminderen of teniet te doen. Hiermee is de oplossing wel mogelijk, maar niet erg aantrekkelijk, gezien de hoge kosten die er gemaakt worden voor de aanleg. De oplossing is redelijk multifunctioneel.

2.c. Diepwand

De diepwand is een betrouwbare oplossing. De barrièrewerking is echter vergelijkbaar met die van de doos. Dit maakt de constructie onaantrekkelijk, mede doordat de constructie zelf niet multifunctioneel is en er nog aanpassingen achter de diepwand nodig zijn, zoals grondverbetering en het gebruik van gewapende grond, om de nieuwe constructie geschikt te maken om als ondergrond voor een verkeersweg te dienen.

2.d. Kistdam

De kistdam kent dezelfde beperkingen als de diepwand en de doosconstructie omtrent de aanwezigheid van een barrière. Wel zal de oplossing goedkoper zijn, doordat de kistdam zelf zowel waterkering is als ondergrond voor de verkeersweg en er geen verdere aanpassingen nodig zijn. Indien wordt gekozen voor een waterkering ter plaatse van de kruin is dit de meest aantrekkelijke oplossing.

2.e. Klepkering

De klepkering heeft geen barrièrewerking indien de kleppen niet in gebruik zijn. Daarmee vervalt een bezwaar dat voor de andere oplossingen ter plaatse van de kruin geldt. Wel blijft de zekerheid van waterkering een punt van zorg. De klepkering is nog niet toegepast als waterkering, alleen als waterscheiding. Een waterkering stelt hogere eisen aan de waterdichtheid en daarnaast bestaat er twijfel over de faalkans van de bewegingsmechanieken, mede door de mogelijke aanwezigheid van obstakels. Dit maakt de waterkering tot een enigszins twijfelachtige oplossing, zeker gezien de hoge kosten voor de waterkering. Ook is deze oplossing niet echt multifunctioneel.

2.f. Hefschuif

De hefschuif heeft geen barrièrewerking indien de schuif omplaat is. De zekerheid van waterkering blijft wel een punt van zorg, waaronder de faalkans van de bewegingsmechanieken, mede door de mogelijke aanwezigheid van obstakels. Dit maakt de waterkering tot een enigszins twijfelachtige oplossing, zeker gezien de hoge kosten voor de waterkering. Ook is deze oplossing niet echt multifunctioneel.

6.3 Keuze voor alternatief

De meest geschikte oplossing buitendijks is volgens de scoretabel de aanleg van een L-muur als waterkering en tevens als fundering voor nieuwbouw. Deze oplossing combineert de aanleg van een waterkering met een versterking van de woningbouw ter plaatse. Deze nieuwbouw biedt de mogelijkheid om het stadsgezicht te versterken, met name indien dit wordt ontwikkeld in samenwerking met een landschapsarchitect. Daarnaast sluit het volledig aan bij de doelen zoals die geformuleerd zijn bij aanvang van de studie.

De meest geschikte oplossing op de huidige plaats van de kruin is volgens de scoretabel de aanleg van een kistdam. Deze oplossing heeft dezelfde voor- en nadelen als de andere oplossingen op die locatie, zoals: beperkt ruimtegebruik, de mogelijkheid om de bestaande situatie min of meer intact te laten, maar ook de barrièrewerking. De kistdam is echter de minst dure oplossing en daarnaast het meest eenvoudig uit te voeren, doordat er geen ontgraving van de huidige waterkering hoeft plaats te vinden. De oplossing is echter niet multifunctioneel in dat opzicht dat er bij het ontwerp in ernstige mate rekening moet worden gehouden met de nevenfunctie.

Op basis van deze afweging wordt ervoor gekozen het alternatief waarbij de waterkering wordt gevormd door een L-muur, die is opgenomen in nieuwbouwwoningen, verder uit te werken. Dit omdat deze oplossing beter past binnen de doelstellingen van de studie dan de kistdam en omdat dit alternatief het beste scoort in de scoretabel.

7 Uitwerking L-muur geïntegreerd in buitendijkse woning

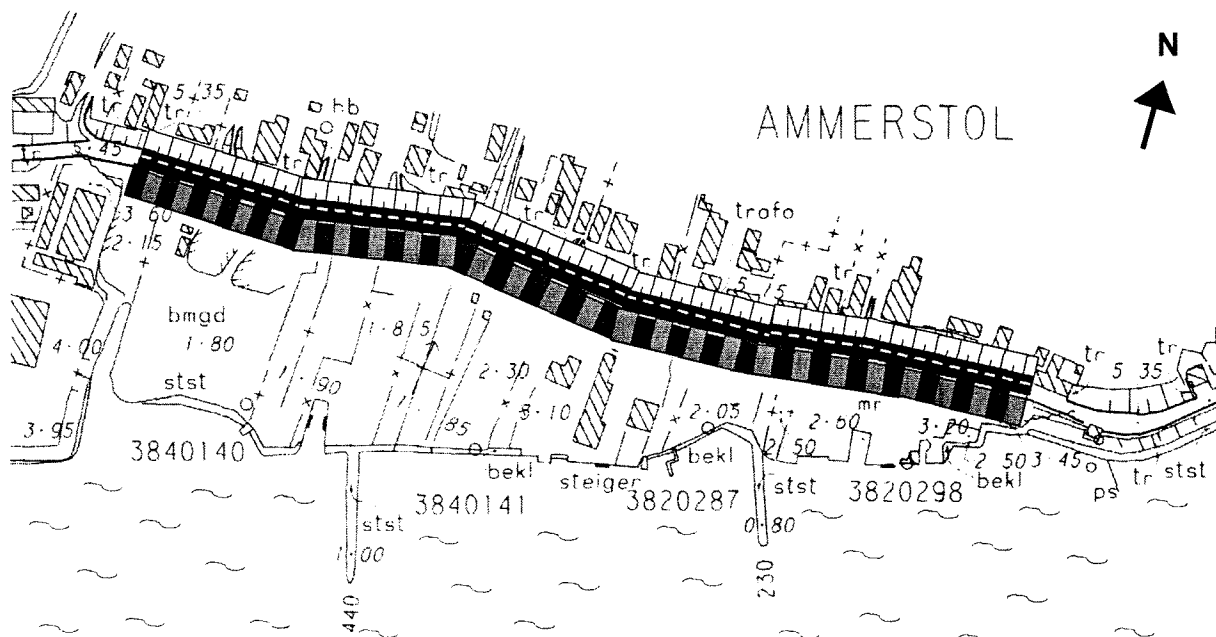
7.1 Gewenst eindresultaat

Het is de bedoeling dat er een waterkering verrijst die uit twee delen is opgebouwd. Boven het huidige maaiveld wordt een L-muur gebouwd, onder het maaiveld wordt de L-muur aangesloten op een damwandscherm. De top van de L-muur ligt minimaal op NAP+5,55m (zie 4.3 Ontwerp van een harde constructie) Gekozen wordt hier voor een kleine extra marge, waardoor de top op NAP+5,70m wordt gelegd en de L-muur dus een hoogte heeft van 3,00m.

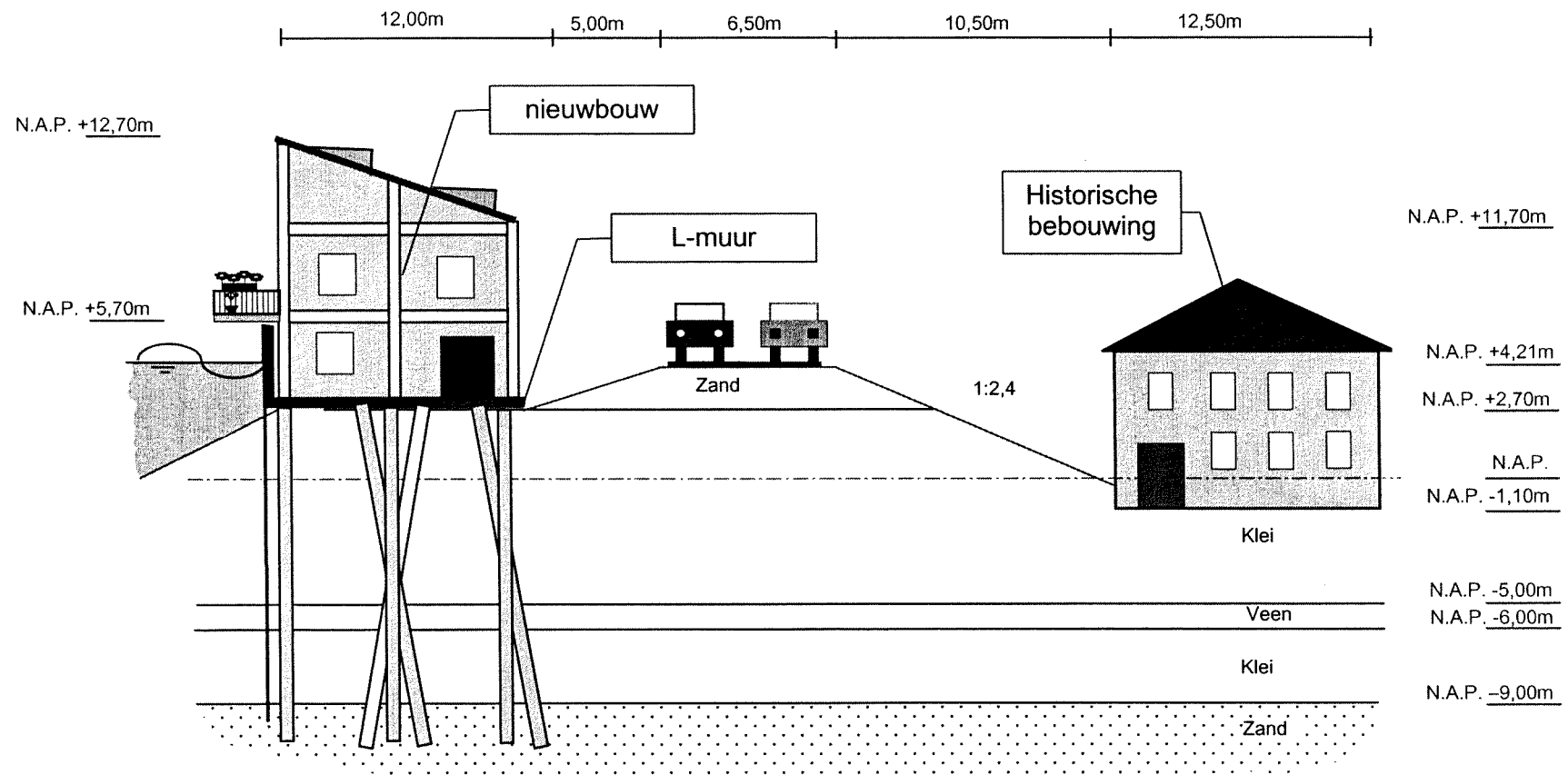
Tezamen vormen de L-muur en de kwelschermen de waterkering (zie figuur 7.1). Deze aanpassing zal over een lengte van circa 500 meter worden doorgevoerd. Op de voet van de L-muur kunnen nieuwbouwwoningen worden aangelegd, ofwel los op de L-muur, ofwel geïntegreerd met de L-muur. Deze nieuwbouwwoningen kunnen zodanig vormgegeven worden, dat ze aansluiten op het natuurlijke rivierlandschap. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld landschapsarchitecten in combinatie met stedenbouwkundigen worden aangetrokken. In de ondergrond wordt een waterkerend damwandscherm geheid, dat aansluit op de L-muur. Deze damwand zal worden ingestort in en verankerd aan de L-muur om een waterdichte aansluiting te garanderen. Dit scherm ontleent zijn stabiliteit deels aan de inklemming in de L-muur en deels aan de omliggende grond, in combinatie met de heipalen, die de fundering vormen voor de L-muur. Het scherm heeft alleen een waterkerende en geen dragende functie.

De gewenste situatie is die waarbij de L-muur geïntegreerd is in de woningen. Deze kunnen tezamen een langgerekte keten vormen (zoals te zien is in plattegrond 7.1) of onderling gescheiden met ruimte voor bijvoorbeeld garages.

Omdat de waterkerende functie van de dijk vervalst, kan deze verlaagd worden. Een goede optie lijkt het om de kruin van de dijk met één meter te verlagen. Op de locaties met stabiliteitsproblemen kan dan het talud verflauwd worden tot 1:2,4. Op locaties waar een verflauwing niet gewenst is kan de kruin worden verbreed.



plattegrond 7.1: Gewenste eindsituatie (schaal 1:4000)

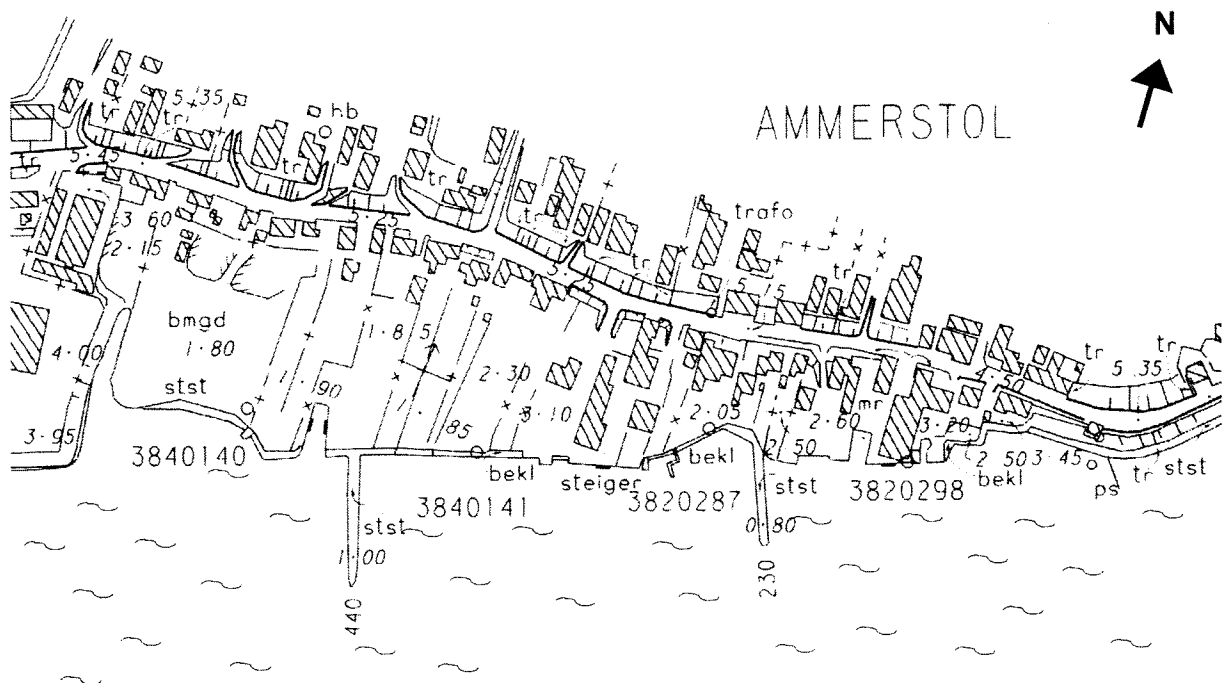


figuur 7.1 Gewenste eindsituatie met afmetingen en hoogtematen tijdens MHW (schaal 1:250)

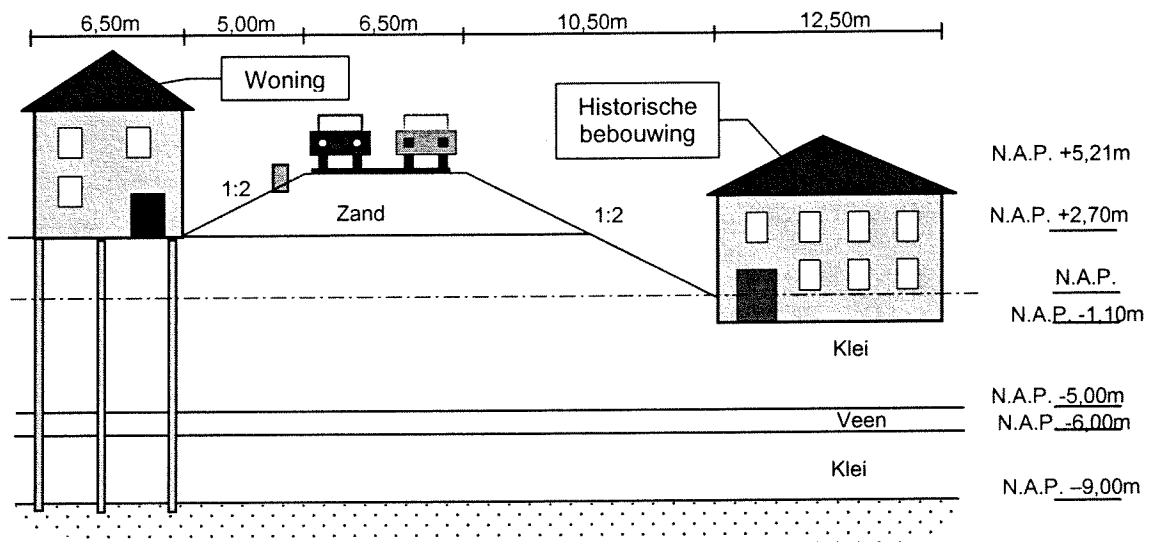
7.2 Uitvoering

Voordat de constructie zal worden gedimensioneerd zal eerst naar het uitvoeringsplan worden gekeken. Op deze wijze kan snel inzichtelijk worden gemaakt wat de kritieke situaties zijn en welke belastingen dan optreden. Op basis hiervan kan de constructie worden gedimensioneerd, zodanig dat deze veilig is zowel in de gebruiksfase als in de aanlegfase.

Globaal kan de uitvoering in zes fasen worden opgedeeld, die hier kort uiteengezet zullen worden. De werkzaamheden worden per fase beschreven en weergegeven in een plattegrond en een doorsnede. Er zal met elke fase begonnen worden in het westen, waardoor in het overzicht het bouwterrein links verder gevorderd is dan rechts. Het startpunt is de huidige situatie zoals die weergegeven is in plattegrond 7.2.



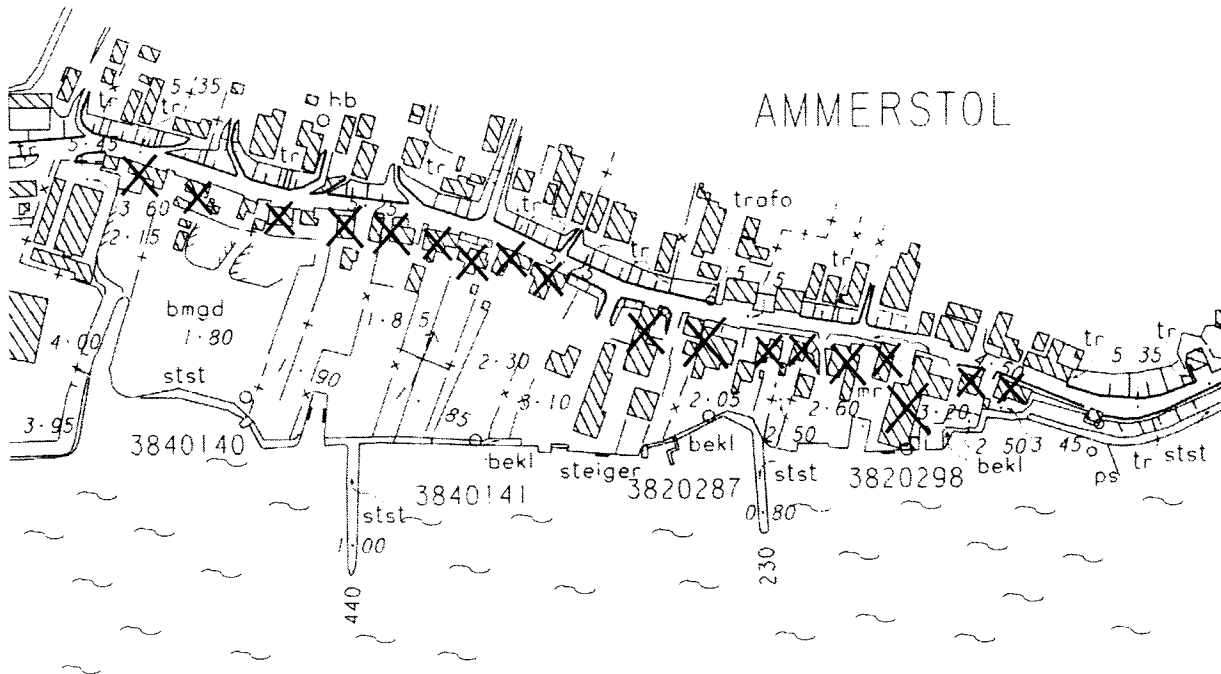
plattegrond 7.2: Huidige situatie (schaal 1:4000)



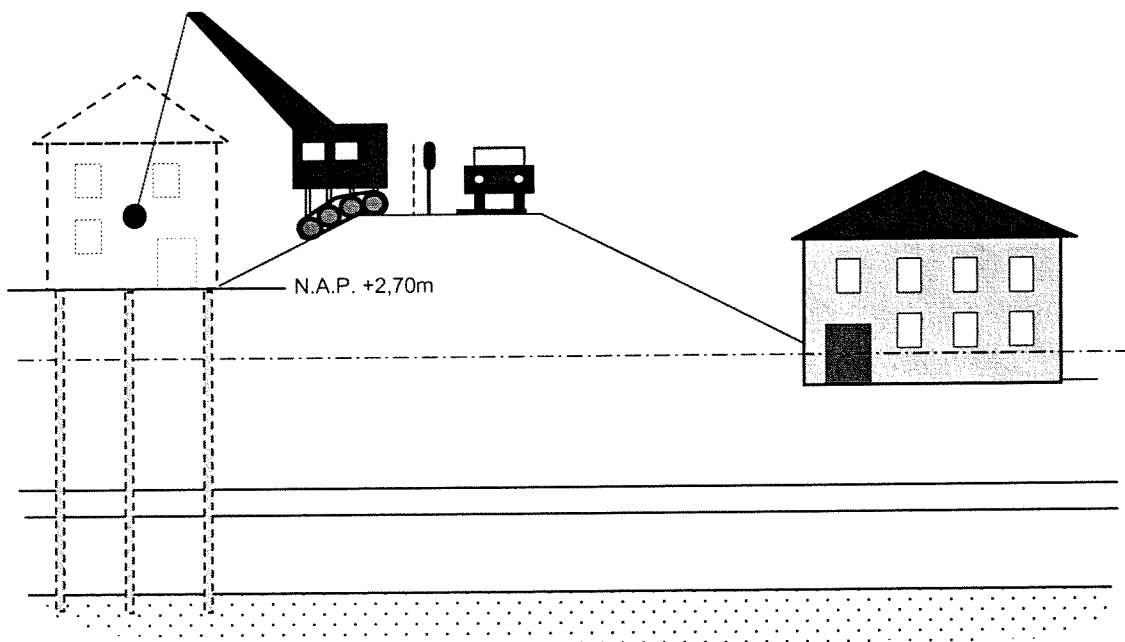
figuur 7.2: Huidige situatie met hoogtematen. (schaal 1:350)

7.2.1 Fase I: Sloop bestaande bebouwing en bouwrijp maken terrein.

In deze fase zal het bouwterrein bouwrijp worden gemaakt. Eerst zal het bouwterrein worden afgezet door hekwerken. Na deze afbakening kan met de sloop van de aanwezige woningen worden begonnen. Dit dient te geschieden volgens de huidige milieuwetgeving en dat betekent dat de woningen ontmanteld dienen te worden door deze gefaseerd af te breken, zodat recycling van bouw materiaal kan plaatshebben. Tijdens en na de sloop zal het puin afgevoerd dienen te worden. Ook de heipalen zullen moeten worden getrokken. Na de sloop zal het terrein geëffend dienen te worden. Dit kan bereikt worden door plaatselijk af te graven of grond te storten. Nadat het terrein geëgaliseerd is, kan deze fase als voltooid worden beschouwd.



plattegrond 7.3: Fase I: Sloop buitendijkse bebouwing

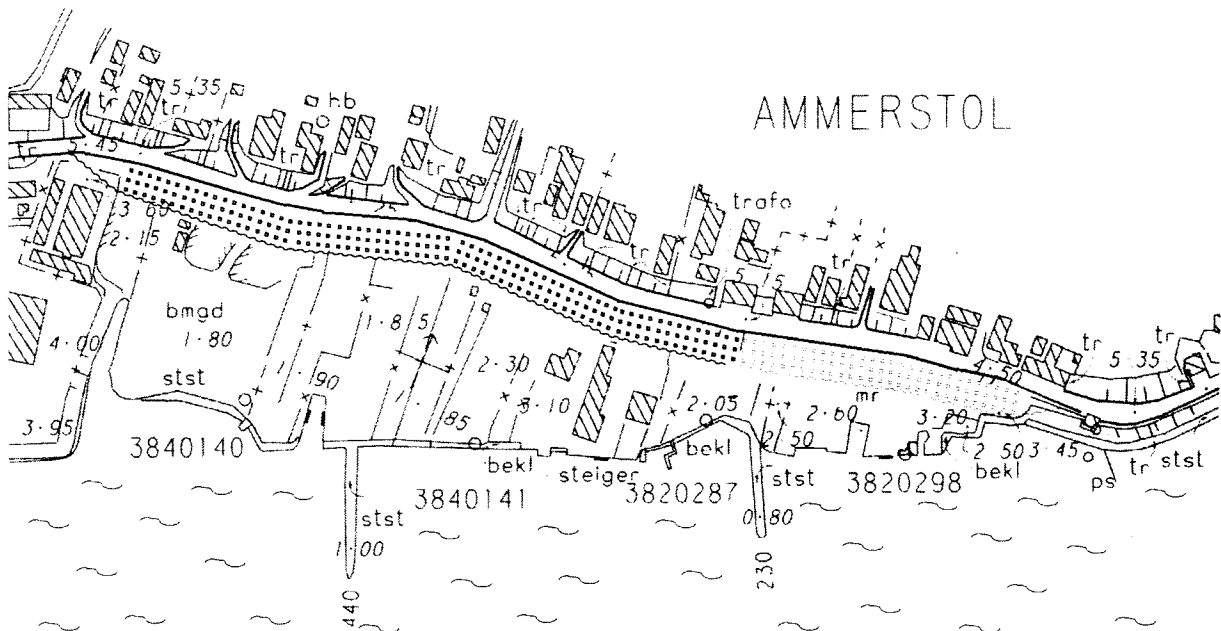


figuur 7.3: Fase I: Sloop buitendijkse bebouwing

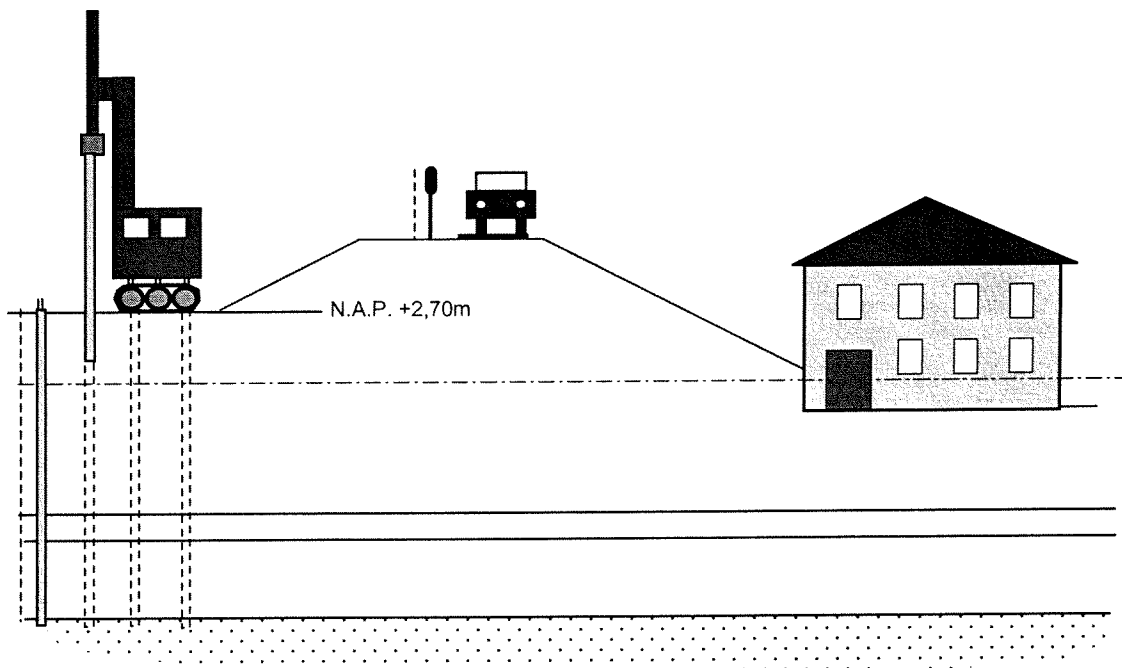
7.2.2 Fase II: Aanbrengen fundering en kwelscherm

Als het terrein bouwrijp is gemaakt, kan de fundering worden aangebracht. Deze bestaat uit een aantal palen, die ingehaald worden tot in de draagkrachtige zandlaag (NAP -9,0 m). Voorsnog wordt ervan uitgegaan dat de palen geheid kunnen worden. Mocht dit problemen opleveren voor de bestaande binnendijkse bebouwing, door trillingen in het dijklichaam, dan zullen de palen ofwel geboord dienen te worden, ofwel geschroefd.

Na het aanbrengen van de fundering dient het waterkerende damwandscherm te worden aangebracht. Dit kan pas na het aanbrengen van de funderingen om het risico van lekkage door vervormingen te verkleinen. Voorsnog wordt ervan uitgegaan dat de damwandplanken kunnen worden getrild. Indien dit niet mogelijk is kunnen de damwandplanken worden geheid of eventueel door hydraulisch weggedruken worden geplaatst.



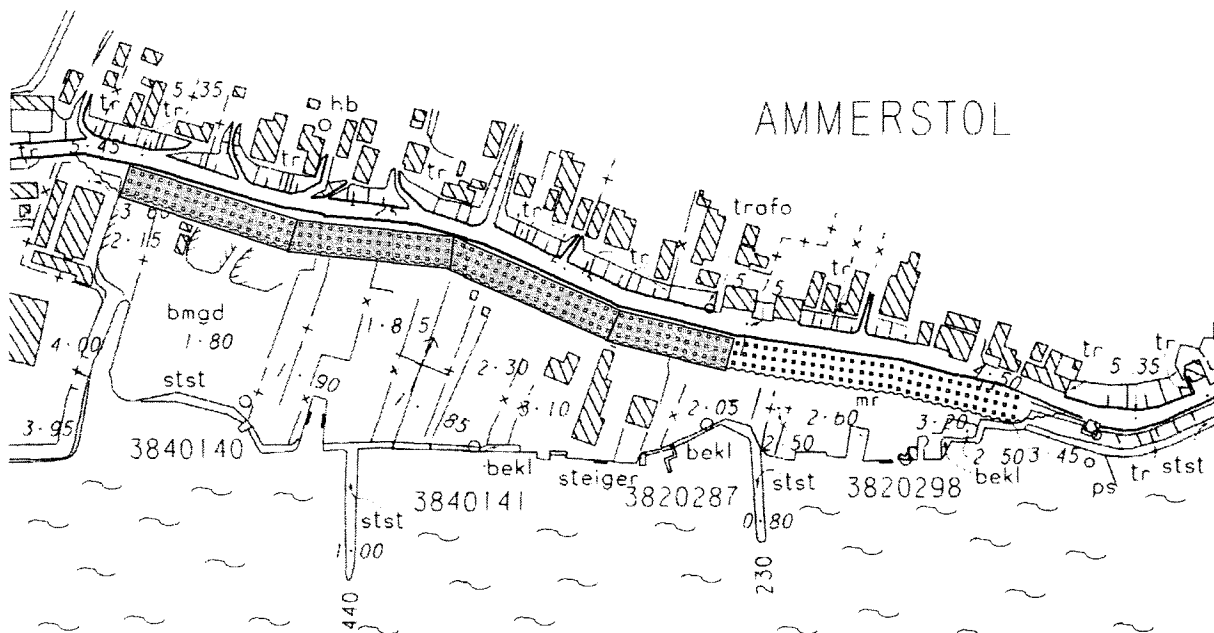
plattegrond 7.4: Fase II: Aanbrengen fundering en kwelscherm



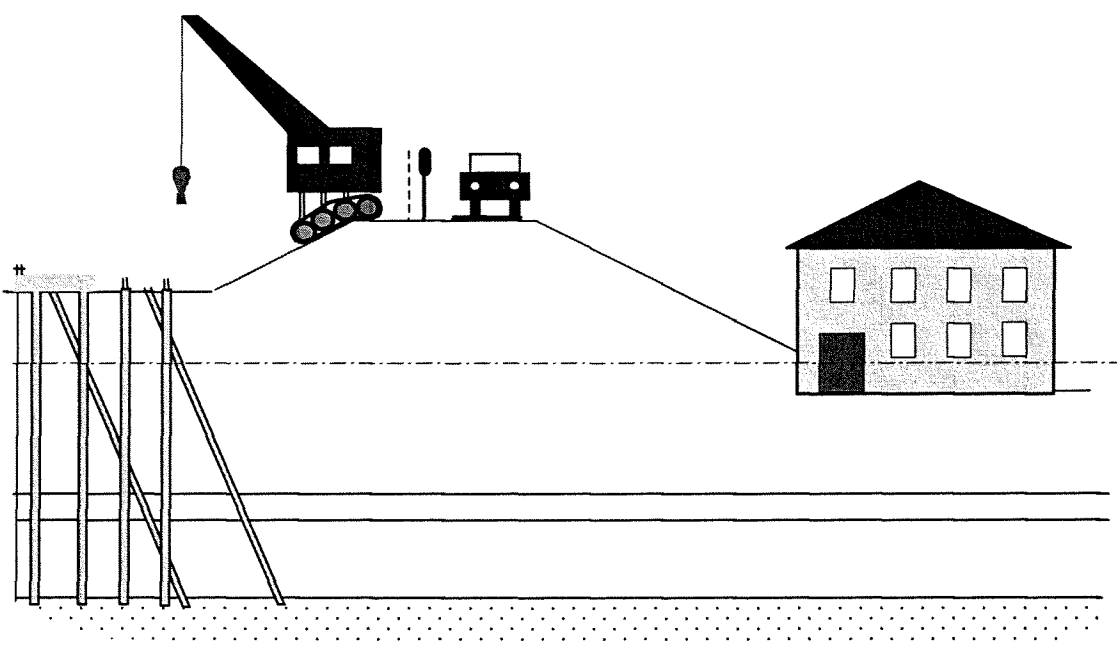
figuur 7.4: Fase II: Aanbrengen funderingspalen en damwandscherm

7.2.3 Fase III: Aanbrengen vloer

Op de aangebrachte fundering kan vervolgens de vloer (gewapend beton, deel van de L-muur) worden aangebracht. Deze vloer wordt door middel van de wapening aangesloten op de funderingspalen. Mogelijk dient er gebruik te worden gemaakt van funderingsbalken of ponsplaten, maar daar wordt verder geen rekening mee gehouden. Doordat de vloer boven het grondwaterpeil wordt aangebracht, is er geen bemaling nodig of gebruik van onderwaterbeton. Er wordt eerste een werkvloer aangelegd waarop de vloerbekisting voor de definitieve vloer wordt aangebracht. Er moet aandacht worden besteed aan de aansluiting van de wapening op die van de funderingspalen en ook op de van de later te storten wand. Verder wordt de vloer gestort in 6 vloerdelen, waarbij de onderlinge aansluiting door rubberprofielen waterdicht wordt gemaakt. Ook de aansluiting op het damwandscherm is een aandachtspunt. Deze dient aan de vloer te worden verankerd. Na het aanbrengen van de wapening kan het beton worden gestort, met behulp van een kraan.



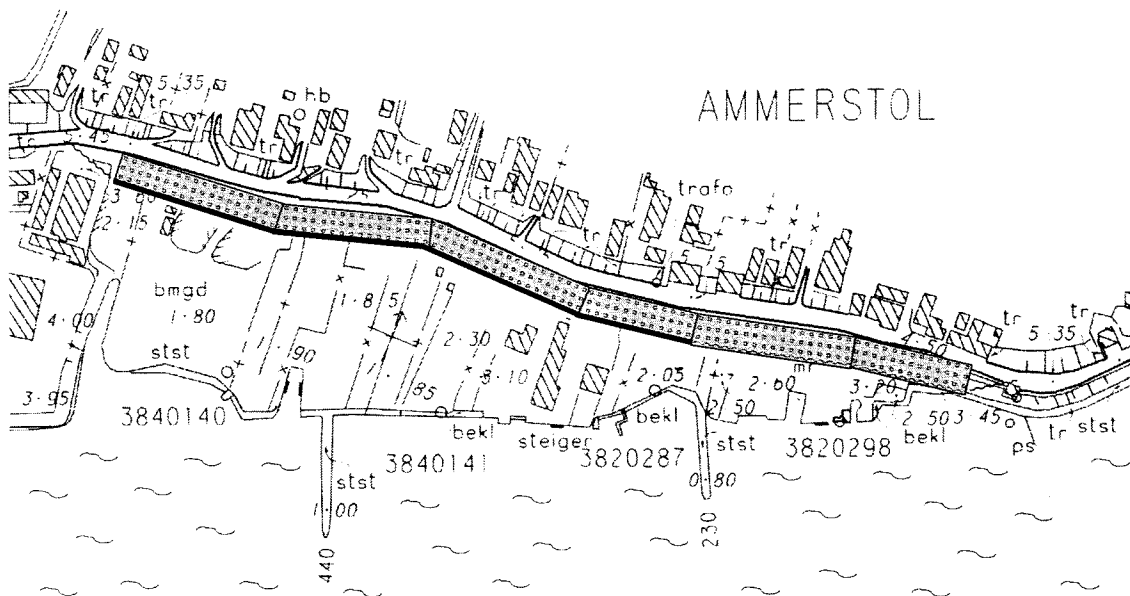
plattegrond 7.5: Fase III: Aanbrengen vloerplaat



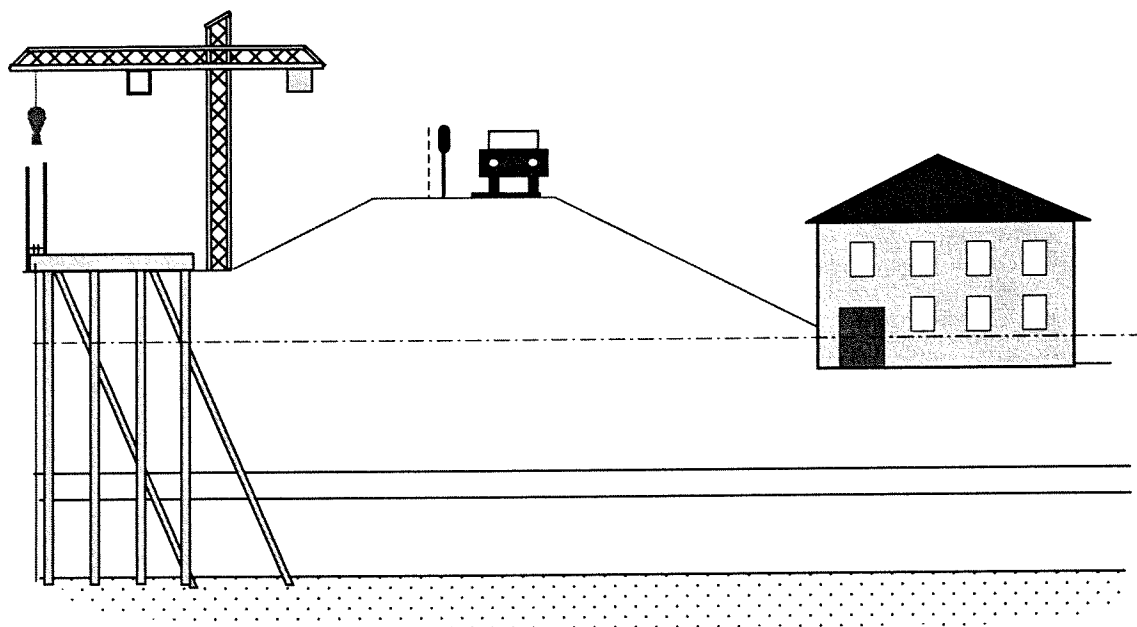
figuur 7.5: Fase III: Aanleg vloerplaat

7.2.4 Fase IV: Aanleg wand

Na het storten van de vloer kan de wand worden aangelegd. Er dient veel aandacht te worden besteed aan de aansluiting van de wand op de vloer. Zo moet de wapening de krachten over kunnen brengen en dient de aansluiting ook waterdicht te zijn. Ook onderling dienen de wanden goed op elkaar te worden aangesloten, dit kan door gebruik te maken van voegprofielen. Een minimale dikte van 60cm is vereist om de wand als waterdicht te kunnen beschouwen. In het ideale geval sluit de wand naadloos aan op de vloer en vormt zo één geheel. Voor de storten van de wand dient er gebruik te worden gemaakt van een solide systeembekisting. Na het aanbrengen van de wapening kan het beton worden gestort, met behulp van een kraan. Waarschijnlijk dient hiervoor een kraanbaan te worden gebruikt. De aanleg van de wand is hier zodanig weergegeven, dat de L-muur in één keer gebouwd wordt. Dit is mogelijk, maar het is waarschijnlijker dat deze in compartimenten wordt gebouwd, waarbij er 6 verschillende delen te onderscheiden zijn en per deel fase IV en V doorlopen kunnen worden alvorens te starten met het volgende compartiment.



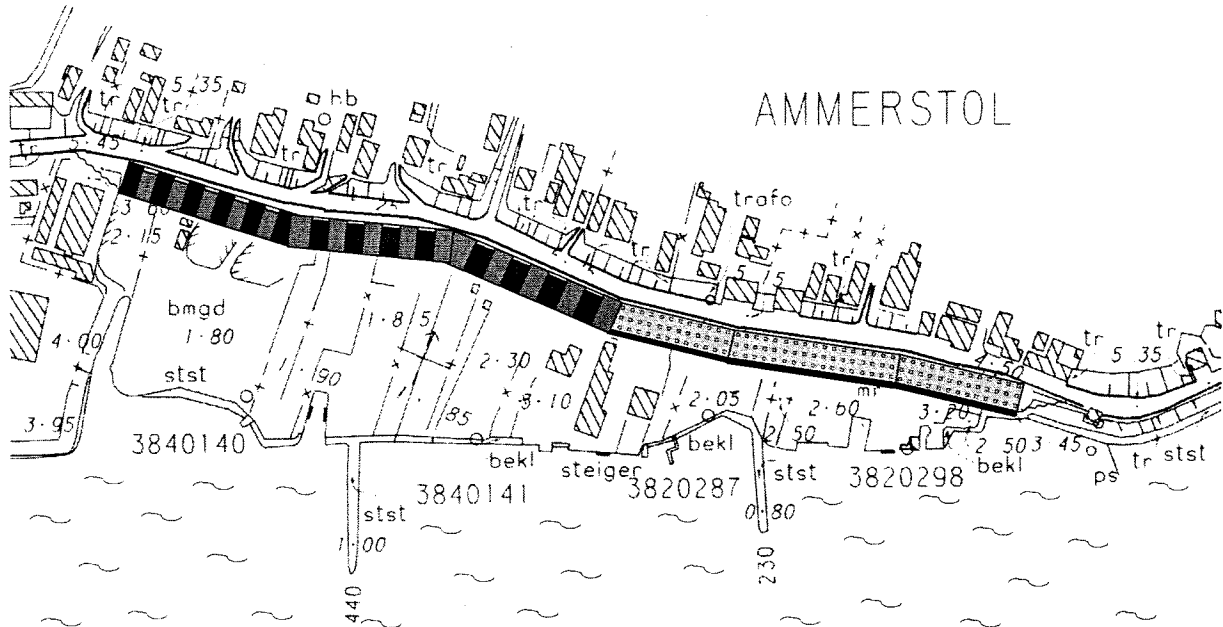
plattegrond 7.6: Fase IV: Aanleg wand van de L-muur



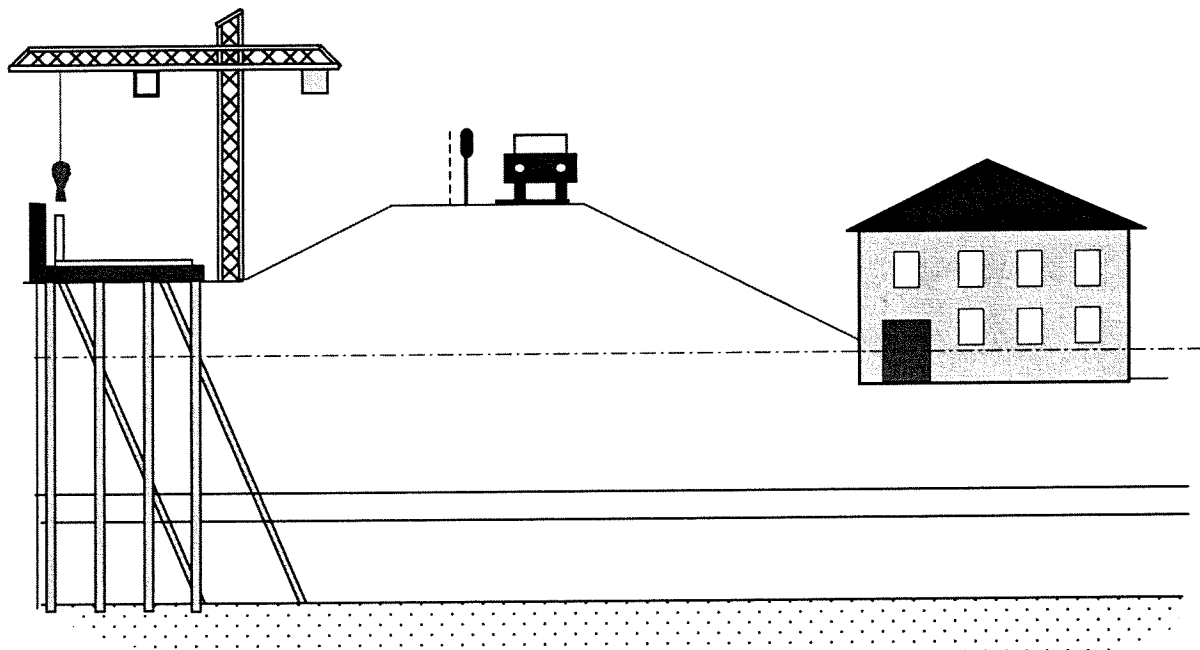
figuur 7.6: Fase IV: Aanleg wand van de L-muur

7.2.5 Fase V: Bouw woningen

Na het storten van de wand is de waterkering compleet. Er kan nu invulling worden gegeven aan de nevenfuncties. De meest logische keuze voor een nevenfunctie is de ruimte op te vullen met nieuwbouwwoningen, zoals al eerder is voorgesteld. Deze woningen kunnen gebruikmaken van de L-muur als fundering. De L-muur kan echt fysiek geïntegreerd worden in de woningen (de wand is ook een wand van de woning), of kan zuiver dienen als fundering, waardoor de woningen er dus los opgebouwd worden (functiescheiding tussen waterkeren en wonen). De tweede optie zal meegenomen worden bij de uitwerking.



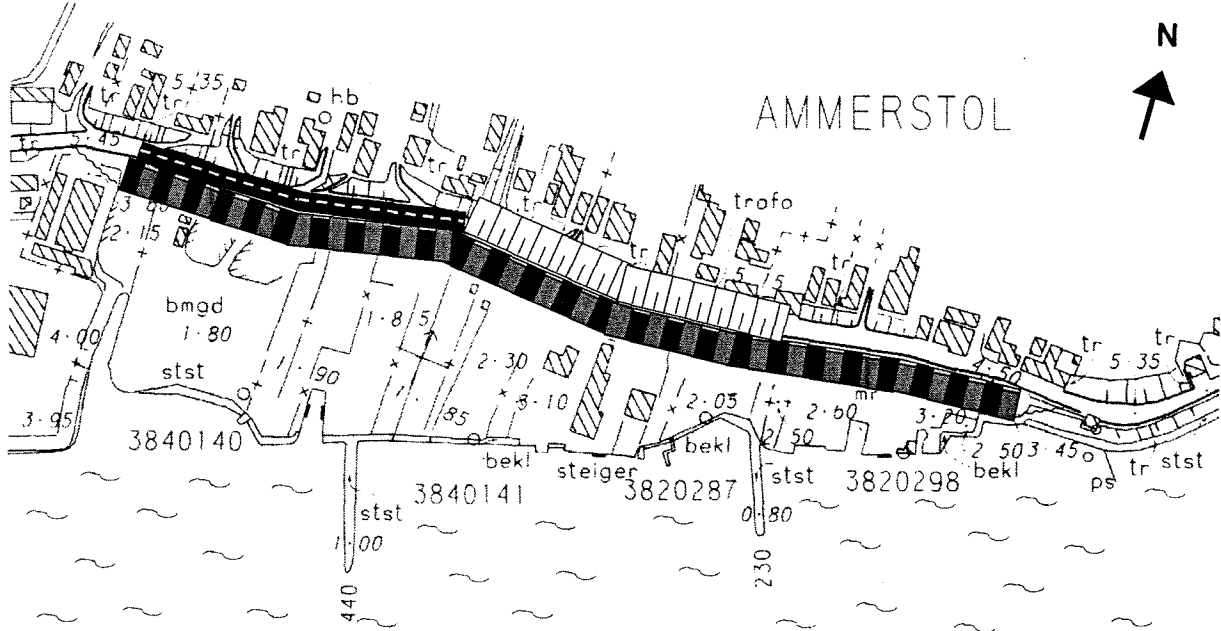
plattegrond 7.7: Fase V: Bouw woningen



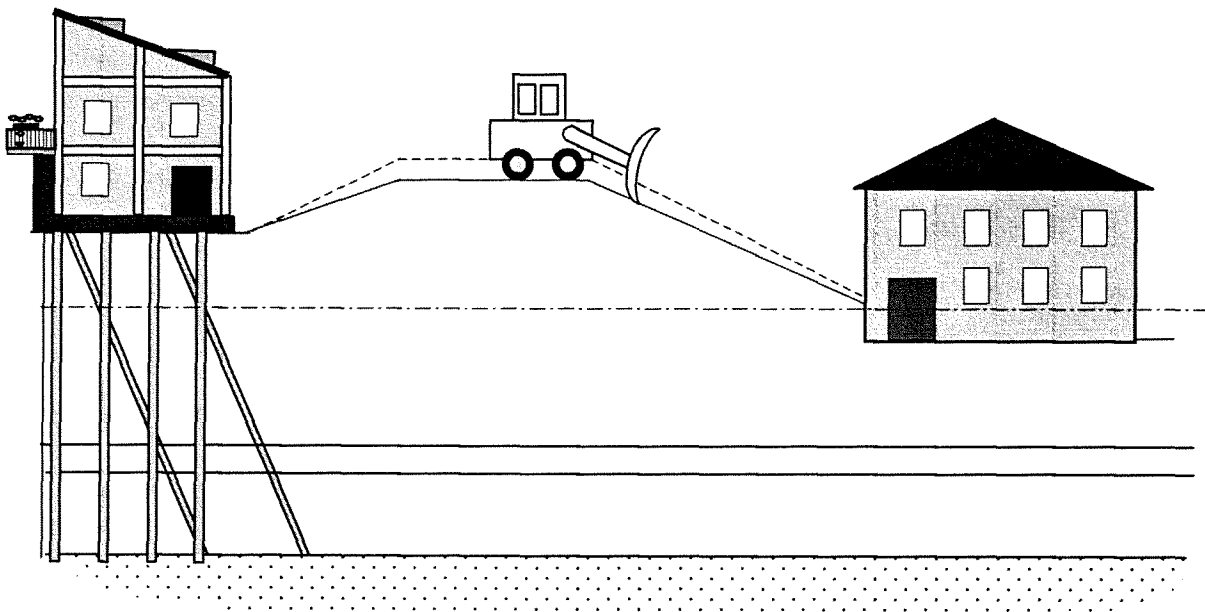
figuur 7.7: Fase V: Bouw woningen

7.2.6 Fase VI: Verlagen kruin

Na het voltooiën van de woningen is er nog de mogelijkheid om de kruin te verlagen. Aangezien de kruin in de startsituatie al te maken had met een lage stabiliteit, is het aantrekkelijk de bovenbelasting te verminderen door de kruin af te toppen en/of het talud te verflauwen. Door de bouwverkeer, dat gebruikt is bij de bouwwerkzaamheden van de L-muur met woningen, is de weg waarschijnlijk dermate vernield dat deze vervangen dient te worden. het verlagen van de kruin kan derhalve gecombineerd worden met de aanleg van een nieuwe weg.



plattegrond 7.8: Fase VI: Verlagen kruin en aanleg nieuwe weg.



figuur 7.8: Fase VI: Verlagen kruin, verflauwen talud en aanleg nieuwe weg.

7.3 Conclusies uit uitvoeringsplan

Uit het uitvoeringsplan kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Doordat de bestaande waterkering intact blijft, hoeft er geen tijdelijke waterkering te worden aangelegd.
- Het onderlopen van het bouwterrein hoeft niet tot grote problemen te leiden, maar het is beter het te voorkomen in de fases II tot en met IV, omdat dan wel enige vertraging op kan treden. Dit betekent dat deze fases zullen moeten vallen in het zomerseizoen (bij lage rivierwaterstanden).
- Omdat het een langer tracé betreft, kan de aanleg van de L-muur het beste in delen worden uitgevoerd. Pas na voltooiën van de L-muur kan begonnen worden met de bouw van de woningen.
- De verlaging van de kruin kan waarschijnlijk goed worden gecombineerd met de aanleg van een nieuwe verkeersweg.
- Er zijn geen situaties dermate kritiek, dat extra eisen worden gesteld aan het ontwerp van de elementen van de waterkering.

8 Constructief ontwerp waterkering

Om de elementen van de waterkering te kunnen dimensioneren, dient rekening te worden gehouden met de belastingen en eisen die op de waterkering van toepassing zijn. Het gaat er in dit hoofdstuk om globale afmetingen van de constructie(onderdelen) te verkrijgen. Er is getracht orden van grootte aan te geven en geen optimale maten, dat valt buiten de doelstelling van deze studie.

De gebruikte schematisaties zijn dan ook tamelijk grof, met name die van de ondergrond. Aangezien deze zuiver als indicatief zijn beschouwen is deze vereenvoudiging acceptabel geacht.

8.1 Opbouw grond

De grondparameters waarmee gerekend wordt staan in tabel 8-1:

tabel 8-1: Rekenparameters grondeigenschappen

Van [m]	Tot [m]	Materiaal	γ_{NAT} [kN/m ³]	γ_{DROOG} [kN/m ³]	Cohesie [kN/m ²]	Phi [°]	K_a [-]	K_o [-]	K_p [-]
+2,70	+5,21	Ophoogzand	20	17	0	30	0,3	0,5	3,0
-5,00	+2,70	Klei Tiel	13	13	11	23	0,4	0,6	2,3
-6,00	-5,00	Veen	10	10	9	26	0,4	0,6	2,6
-9,00	-6,00	Klei Gorkum	17	17	6	23	0,4	0,6	2,3
-10,00	-9,00	Pleistoceen Zand	20	17	0	30	0,3	0,5	3,0

Op basis van deze grondparameters kunnen de verticale spanningen in de grond worden bepaald. Deze waarden zijn weergegeven in tabel 8-2

tabel 8-2: Verticale spanningen in de grond

Diepte [m]	dikte [m]	soort. gew. [kN/m ³]	bijkomende grondsp. [kN/m ²]	totale spanning [kN/m ²]	water-spanning [kN/m ²]	korrel-spanning [kN/m ²]
NAP +2,70	0	0	0	0	0	0
NAP-1,60	4,30	13	60	60	0	60
NAP-5,00	3,40	13	47	107	34	73
NAP-6,00	1,00	10	10	117	44	73
NAP-9,00	3,00	18	55	170	74	96
NAP-10,00	1,00	20	20	190	84	106

8.2 Dimensionering Damwand.

Voor de damwand is de maatgevende situatie de situatie aan het einde van de ontwerplevensduur. De complete waterkering is dan vervangen en het achterland heeft een zo'n groot mogelijke bodemdaling en waterspiegeldaling doorgemaakt. Indien er dan hoogwater optreedt, het MHW is dan NAP +4,55m, treedt de maximale belasting op. Achter de damwand bevindt zich dan het grondwater tot polderpeil op NAP -2,50. Deze situatie is maatgevend voor de dimensionering van de damwand. De belasting aan de rivierzijde bestaat uit de waterdruk in combinatie met de gronddruk. Deze belasting levert een horizontale kracht op naar rechts (positief in x-richting). De krachten worden opgenomen door de grond achter de damwand. Als eerste wordt gekeken naar hoe diep de damwand ingeheid moet worden, voordat er horizontaal krachtenevenwicht is.

De belasting komt van links, de grond levert daar dus een actieve gronddruk op (horizontale spanning = waterspanning plus K_a * korrelspanning).

Deze worden opgenomen door de grond en het water rechts, dus daar is sprake van een passieve gronddruk (horizontale spanning = waterspanning plus K_p * korrelspanning).

Dit levert op basis van een grove berekening de volgende waarden op (zie tabel 8-3 en tabel 8-4):

tabel 8-3: Belasting op de damwand vanaf de linkerkzijde (buitendijkse zijde).
Maaiveld op NAP +2,70m, grondwaterstand op NAP +2,70m.

	materiaal	dikte laag	K_a	hor. korrelsp	hor. grondsp	hor. kracht
NAP +2,7 0		0,0 m	0	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ¹
NAP -1,60	Klei Tiel	4,3 m	0,4	7 kN/m ²	35 kN/m ²	75 kN/m ¹
NAP -5,00	Klei Tiel	3,4 m	0,4	13 kN/m ²	75 kN/m ²	143 kN/m ¹

tabel 8-4: Maximale reactiekracht op de damwand vanaf de rechterzijde (binnendijkse zijde).
Maaiveld op NAP +2,70m, grondwaterstand op NAP -1,60m.

	materiaal	dikte laag	K_p	hor. korrelsp	hor. grondsp	hor. kracht
NAP +2,7 0		0,0 m	0	0 kN/m ²	0 kN/m ²	0 kN/m ¹
NAP -1,60	Klei Tiel (droog)	4,3 m	2,3	-137 kN/m ²	-152 kN/m ²	-327 kN/m ¹
NAP -5,00	Klei Tiel (nat)	3,4 m	2,3	-167 kN/m ²	-217 kN/m ²	-437 kN/m ¹

Hieruit valt af te leiden dat er geen eisen worden gesteld aan de inheidiepte van de damwand om horizontaal evenwicht te bereiken, omdat de passieve horizontale gronddruk niet groter kan worden dan de actieve en er blijkens de tabellen dus nog voldoende marge is. Momentenevenwicht wordt dan ook probleemloos bereikt en zal niet worden gecontroleerd. Omdat er geen grote krachten of momenten ontstaan, worden er ook geen hoge eisen gesteld aan de stijfheid van de damwand en kan met een licht profiel worden volstaan. Dit mechanisme is dus niet maatgevend.

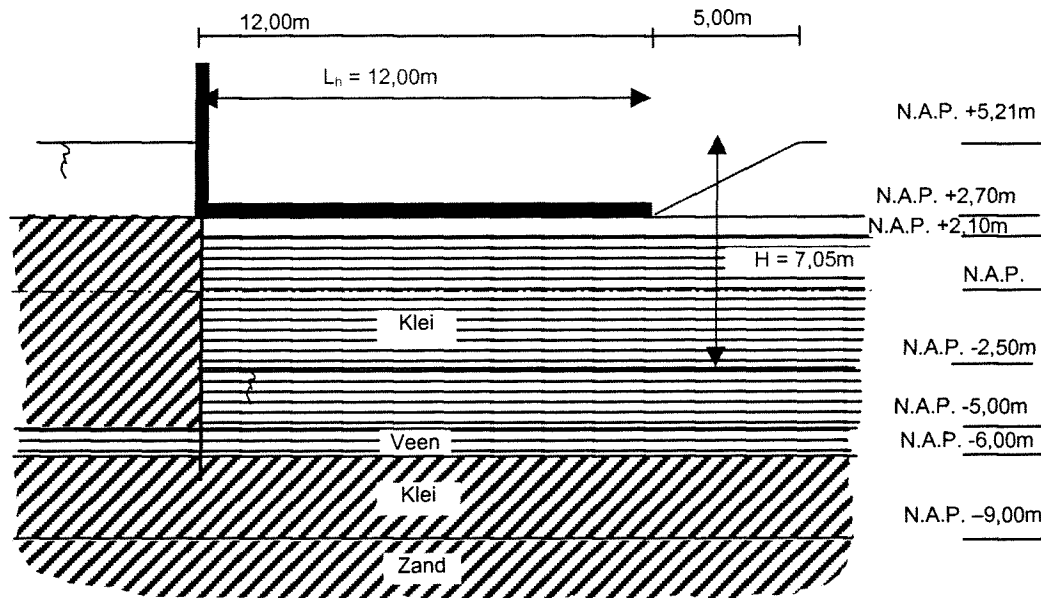
Wel zal nog gekeken moeten worden naar het pipingcriterium, omdat het voorkomen van piping en de vermindering van kwel de voornaamste functie is van de damwand.
De gebruikte formule is de rekenregel van Lane:

$$L_v + 1/3 * L_h \geq H * c_{w.creep}$$

waarin:

- L_v is de horizontale component van de leklengte [m]
- L_h is de verticale component van de leklengte [m]
- H is het toelaatbare verval over de waterkering [m]
- $c_{w.creep}$ is een materiaalcoëfficiënt afhankelijk van de grondsoort [-]

Deze factoren zijn ook weergegeven in figuur 8.1.



figuur 8.1: Factoren van de rekenregel van Lane voor piping

De damwand bevindt zich volledig in klei- en veenlagen. De materiaalcoëfficiënt $c_{w.creep}$ van klei is 2⁹. Het verval over de kering is (NAP +4,55m – NAP –2,50m =) 7,05m. De horizontale kwallengte is 12,0m (breedte voet). Ingevuld levert dit:

$$L_v \geq 1/3 * L_h + H * c_{w.creep} \rightarrow L_v \geq 4,0m + 7,05m * 2 \rightarrow L_v \geq 18,1m$$

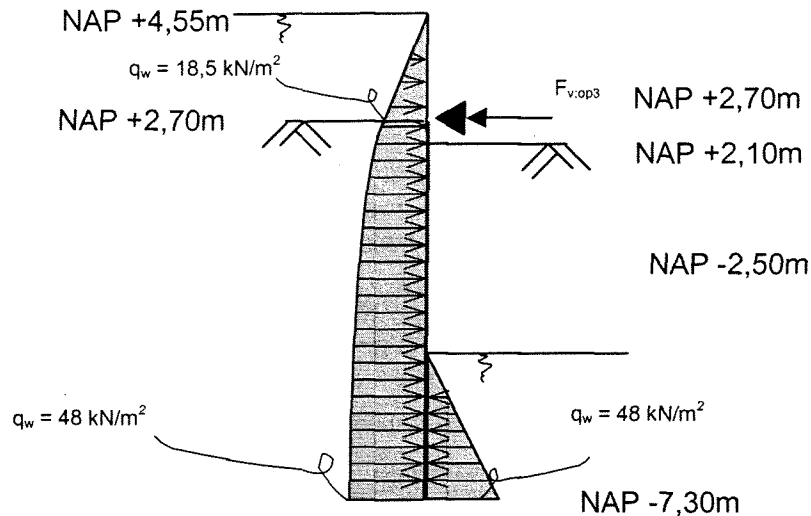
Indien hier de wandlengte van de L-muur afgetrokken wordt (vanaf maaiveld tot waterlijn is 1,85m) blijft er aan benodigde verticale kwallengte 16,3m over. Dit komt overeen met een damwand van 8,15m. Omdat de onderkant van de damwand dan in de veenlaag terecht zou komen, wordt gekozen voor een damwand van 10m, de onderkant van de damwand komt dan op NAP-7,30m (dus ruim één meter in de onderste kleilaag).

Verder zal er bij hoogwater ook een horizontale kracht op de damwand werken. Deze wordt deels opgenomen door achterliggende grond en deels via de vloer van de L-muur door de paalfundering. In 2100 zal volgens verwachting¹⁰ (zie ook 3.4 Programma van Eisen) de bodem dalen met 60cm en het polderpeil met 90cm. Deze ontwikkelingen hebben beide een vergrotende invloed op de maatgevende belastingen.

⁹ Technische rapport voor controle op het mechanische piping bij rivierdijken, Ir. E.O.F. Calle, Ir. J.B. Weijers, TAW, Delft, januari 1994 pag. 1

¹⁰ Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen, F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999

De horizontale krachten en waterspanningen die er dan op de damwand werken zijn schematisch weergegeven in figuur 8.2. De waterdruk aan de voet van de damwand is aan beide zijden natuurlijk gelijk, anders zou er geen evenwicht heersen. Dit betekent dat de kleilagen invloed hebben op de stijghoogte en er dus geen sprake is van hydrostatisch drukverloop. Een mogelijke situatie wordt hieronder geschetst.

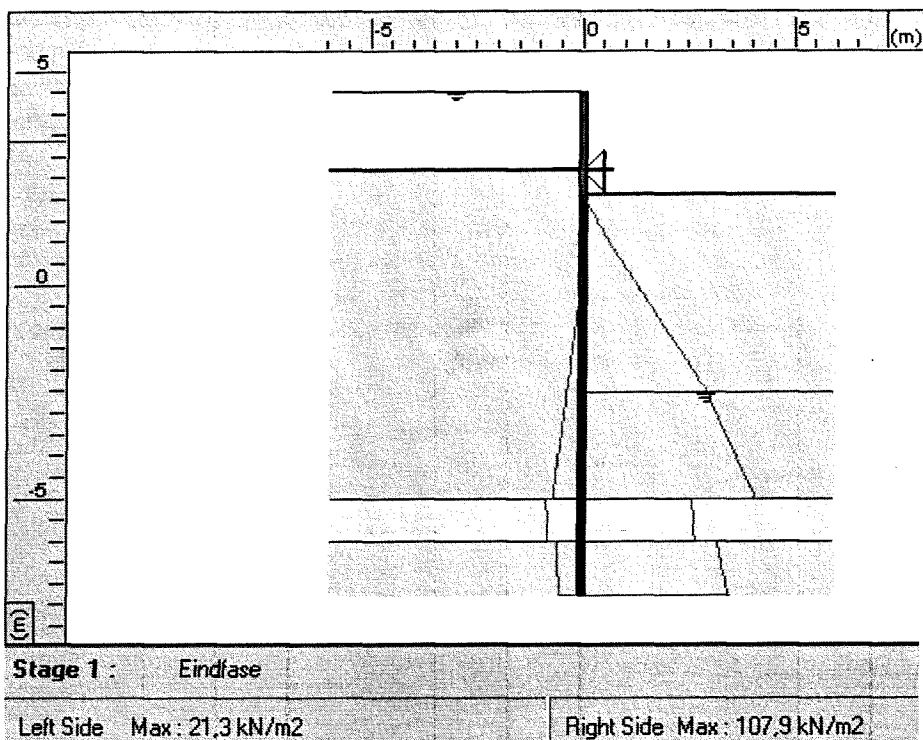


figuur 8.2: Schematische weergave belastingen op de damwand in 2100

8.2.1 Berekeningen met MSheet

Er is in deze situatie een berekening gemaakt met het programma MSheet, een simulatie programma waarmee de vervormingen en krachten van en in een damwand kunnen worden berekend. In dit programma is de eindsituatie gesimuleerd, waarin de damwand ingeklemd is in de L-muur er MHW optreedt (NAP +4,55m) en de grond en het grondwaterpeil ter plaatse van de L-muur maximaal gezakt zijn, zie figuur 8.3. In deze figuur zijn tevens de effectieve horizontale korrelspanningen weergegeven.

Er is gerekend met een damwand van 10m lengte. Omdat er geen grote spanningen op de damwand zullen werken in de bouwphase en door de inklemming in de L-muur in de gebruiksfase kan worden volstaan met een licht profiel. Er wordt een damwandprofiel gekozen, bekend als BZ 17, met een soortelijke massa van 131 kg/m, een traagheid I_z van 18.390 cm⁴ en een buigstijfheid EI van 28619 kNm².



figuur 8.3: Damwand in maatgevende situatie met horizontale spanningen

De totale uitvoer van de berekening is weergegeven in bijlage II. Hieronder volgen de belangrijkste waarden.

tabel 8-5: Belangrijkste waarden uit de uitvoer van MSheet

De oplegreacties in de vloer van de L-muur zijn:	dwarskracht	-88,4 kN/m
	moment	-99,1 kNm/m.
De maximale verplaatsing		32,9 mm
Het maximale moment		-109,7 kNm/m
De maximale schuifkracht		67,4 kN/m

Deze waarden lijken niet voor problemen te zorgen. De krachten zijn beperkt en ook de verplaatsingen zijn acceptabel om een waterdichte afsluiting te kunnen realiseren. De damwand die gekozen is voldoet daarmee aan de gestelde eisen.

8.3 Uitwendige belasting op de constructie

Er zijn meerdere soorten van uitwendige belasting, die elk maatgevend kunnen zijn. Deze zullen eerst geanalyseerd worden voordat bepaald kan worden aan welke eisen de constructie moet voldoen.

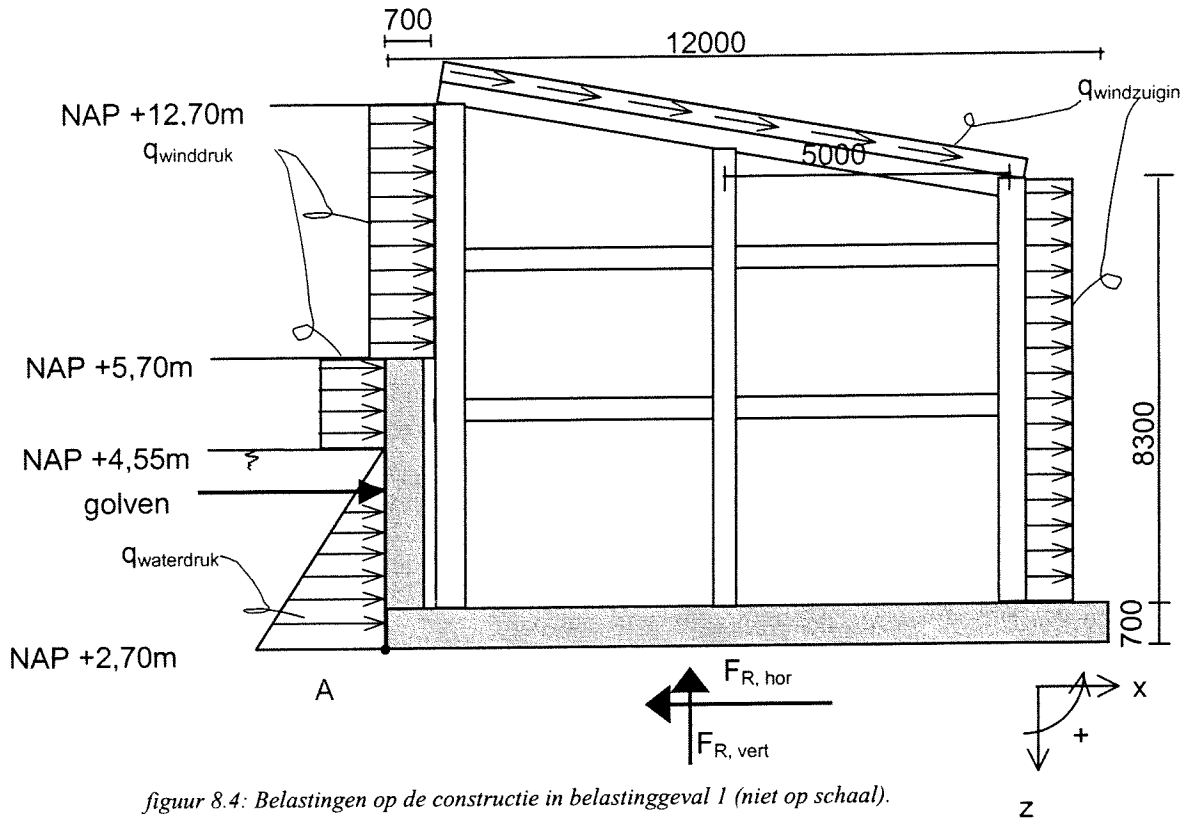
Evenwichtsvoorwaarden

Er zijn drie voorwaarden waaraan de constructie moet voldoen. Deze voorwaarden hebben betrekking op het uitwendige en het inwendige evenwicht:

1. De som van de verticale krachten op de constructie dient gelijk te zijn aan nul: $\Sigma V = 0$.
2. De som van de horizontale krachten op de constructie dient gelijk te zijn aan nul: $\Sigma H = 0$.
3. De som van de momenten ten opzichte van een punt in de constructie (A) dienen allemaal gelijk te zijn aan nul: $\Sigma T_A = 0$.

8.3.1 Belastinggeval 1: situatie in 2100 met MHW en zuidwestelijke wind.

Deze situatie is maatgevend als buiten hoogwater optreedt (in 2100 is MHW NAP +4,55) en zich op de L-muur bebouwing bevindt. Voor de muur bevindt zich dan grond tot NAP+2,70m en water tot NAP +4,55m, achter de L-muur bevindt zich dan het grondwater tot polderpeil op NAP –2,50 en grond tot NAP +2,70m. Verder staat er een sterke wind van links loodrecht op de L-muur.



figuur 8.4: Belastingen op de constructie in belastinggeval 1 (niet op schaal).

tabel 8-6: Belastingen op de constructie in belastinggeval 1

Kracht	omschrijving	grootte
$q_{waterdruk}$	hydrostatische waterdruk	$\frac{1}{2} * (\text{waterkolom})^2 * \gamma_{water}$
golven	golfbelasting	$\frac{1}{2} * (\text{golfhoogte})^2 * \gamma_{water}$
$q_{winddruk}$	horizontale winddruk	oppervlak * windvorm * stuwdruk
$q_{windzuiging}$	horizontale windzuiging	oppervlak * windvorm * zuiging

Om aan de evenwichtsvoorwaarden te voldoen, dienen deze belastingen door de fundering te worden overgedragen naar de draagkrachtige zandlaag. De krachten die door de fundering moeten worden opgenomen zijn:

- $F_{R,hor}$ = som van belasting door water (hydrostatische druk en golfdruk) en wind (druk en zuiging).
- $F_{R,vert}$ = som van verticale belastingen en hier dus gelijk aan 0.

waterbelasting

De horizontale belasting uitgeoefend door de waterdruk van stilstaand water bedraagt:
 $1,85m * \frac{1}{2} * 1,85m * 10 \text{ kN/m}^3 = \frac{1}{2} * (1,85m)^2 * 10 \text{ kN/m}^3 = 17,1 \text{ kN/m}^1$

Hierbij kan de druk veroorzaakt door de golven worden opgeteld.

De golven die op de constructie werken zorgen voor een veranderlijke belasting. Een deel dat moeilijk in te schatten is, is de kracht van golfklappen. Wat wel goed in te schatten is, is de quasi statische belasting veroorzaakt door de golven. De druk die deze golven

veroorzaken kan ruwweg gelijk worden gesteld aan $p_1 = \gamma_{\text{water}} \cdot \text{golfhoogte}$. Bij golven van 0,70m komt dit dus overeen met een extra druk van 7 kN/m^2 .

Wordt deze druk toegevoegd aan de hydrostatische druk, dan wordt de belasting van het water:

$$\frac{1}{2} \cdot (2,55\text{m})^2 \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 32,5 \text{ kN/m}^1.$$

windbelasting

De horizontale belasting uitgeoefend door de winddruk bedraagt¹¹ :

$$F_w = A_i \cdot C_i \cdot p_w$$

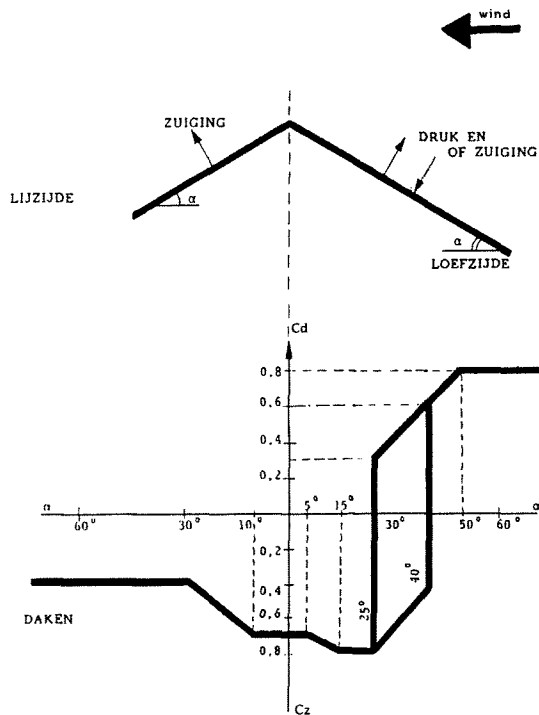
waarin:

A_i Oppervlakte van het beschouwde vlak.

C_i Windvormfactoren (C_d is druk, C_z is zuiging) afhankelijk van oriëntatie.

p_w Extreme waarde van de stuwdruk volgens grafieken en tabellen.

De windvormfactoren worden bepaald met behulp van onderstaande figuur:



figuur 8.5: Windvormfactoren.

De windbelasting is onder te verdelen in drie gebieden:

1. De rivierzijde van de woning en de L-muur met winddruk
2. Het dak met windzuiging
3. De landzijde van de woning met windzuiging

ad 1. Voor de linkerzijde van de woningen op de L-muur en de wand van de L-muur gelden de volgende waarden:

$$A_w = \text{nok woning} - \text{MHW} = \text{NAP}+12,70\text{m} - \text{NAP}+4,55\text{m} = 8,15 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_d = 0,8 \text{ (gevel is een dak onder } 90^0\text{)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2 \text{ (gebied II, onbebouwd gebied, hoogte boven aansluitend terrein is nok woning} - \text{maaiveld polder (NAP}+12,70\text{m} - \text{NAP}-1,60\text{m) is } 14\text{m)}$$

Hiermee komt de windbelasting op de zijkant van de bebouwing op **6,5 kN/m¹**.

¹¹ Informatiemap Algemene constructieer, Prof.ir. A.J.Hogeslag, TU Delft, Delft, augustus 1994

ad 2. De windbelasting op het dak. Indien de daken een oriëntatie hebben van 10^0 met de hoge kant richting de rivier, gelden de volgende waarden:

$$A_d = \text{oppervlakte dak} = \text{breedte bebouwing} / \cos 10^0 = 10\text{m} / 0,98 = 10,15 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_z = 0,7 \text{ (dak onder } 10^0 \text{ aan de lijzijde, dus zuiging)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2 \text{ (gebied II, onbebouwd gebied, hoogte boven aansluitend terrein is nok woning – maaiveld polder (NAP+12,70m – NAP-1,60m) is 14m)}$$

Hiermee komt de belasting op het dak van de bebouwing op **7,0 kN/m¹**.

ad 3. De horizontale belasting uitgeoefend door de windzuiging op de rechterzijde van de bebouwing bedraagt (doordat het dak schuin loopt is de woning slechts 9m hoog):

$$A_w = \text{dak woning – maaiveld} = \text{NAP+11,70m – NAP+2,70m} = 9 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_d = 0,4 \text{ (gevel is een dak onder } 90^0 \text{ aan de lijzijde)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

Hiermee komt de windzuiging op de zijkant van de bebouwing op **3,6 kN/m¹**.

De totale belasting door de wind komt daarmee op **17,1 kN/m¹**.

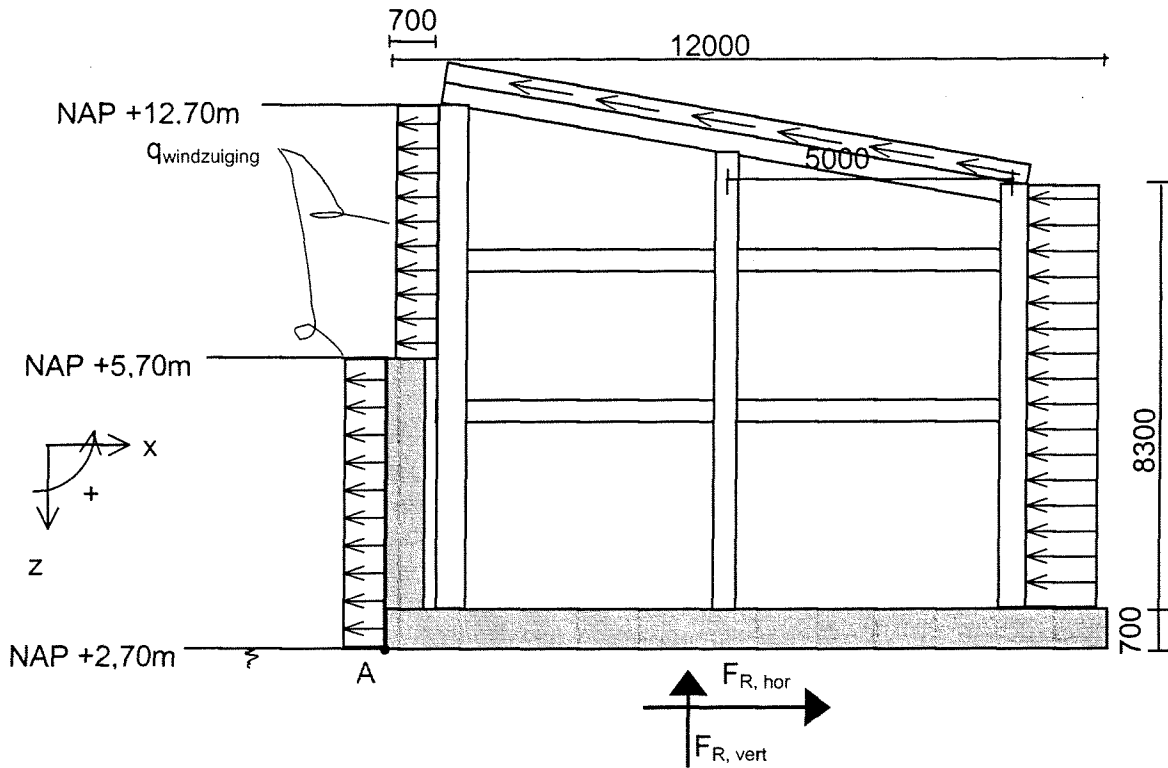
Reactiekrachten bij belastingsituatie 1

De horizontale reactiekracht die geleverd moet worden door de draagkrachtige laag en overgebracht moet worden door de fundering bedraagt in belastingsgeval 1 dus $-32,5 + -17,1 = -50 \text{ kN/m}^1$.

De verticale reactiekracht bedraagt zoals eerder gezegd nul, maar er ontstaat toch een verticale belasting op de fundering doordat het moment opgenomen dient te worden. Om toch verticaal evenwicht te bereiken zorgt dit dus voor trek in de funderingspalen aan de rivierzijde en druk op de palen meer landinwaarts. Omdat deze belasting boven op de belasting door de constructie zelf komt, zal deze hier niet worden uitgerekend.

8.3.2 Belastinggeval 2: Situatie in 2100 met laag water en noordoostelijk wind.

Deze situatie is maatgevend als buiten laagwater optreedt (in 2100 ligt laagwater onder NAP +2,70) en zich op de L-muur bebouwing bevindt. Voor de muur bevindt zich dan grond en water tot NAP+2,70m, achter de L-muur bevindt zich dan het grondwater tot polderpeil op NAP -2,50 en grond tot NAP +2,70m. Verder staat er een sterke wind van rechts loodrecht op de woning.



figuur 8.6: Belastingen op de constructie in belastinggeval 1 (niet op schaal).

tabel 8-7: Belastingen op de constructie in belastinggeval 2

Kracht	omschrijving	grootte
$Q_{winddruk}$	horizontale winddruk	oppervlak * windvorm * stuwdruk
$Q_{windzuiging}$	horizontale windzuiging	oppervlak * windvorm * zuiging

Er is hier dus alleen sprake van windbelasting.

windbelasting

De windbelasting is ook hier onder te verdelen in drie gebieden:

1. Het dak met winddruk
2. De landzijde van de woning met winddruk
3. De rivierzijde van de woning en de L-muur met windzuiging

ad 1. Voor de rechterzijde van de woningen op de L-muur gelden de volgende waarden:

$$A_w = \text{dak woning} - \text{MHW} = \text{NAP}+11,70\text{m} - \text{NAP}+4,55\text{m} = 9,0 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_d = 0,8 \text{ (gevel is een dak onder } 90^0\text{)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2 \text{ (gebied II, onbebouwd gebied, hoogte boven aansluitend terrein is nok woning - maaiveld polder (NAP}+12,70\text{m} - \text{NAP}-1,60\text{m) is 14m)}$$

Hiermee komt de windbelasting op de zijkant van de bebouwing op **-7,2 kN/m¹**.

ad 2. De windbelasting op het dak. Indien de daken een oriëntatie hebben van 10^0 met de hoge kant richting de rivier, gelden de volgende waarden:

$$A_d = \text{oppervlakte dak} = \text{breedte bebouwing} / \cos 10^0 = 10\text{m} / 0,98 = 10,15 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_z = 0,75 \text{ (dak onder } 10^0 \text{ aan de lijkzijde, dus zuiging)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2 \text{ (gebied II, onbebouwd gebied, hoogte boven aansluitend terrein is nok woning – maaiveld polder (NAP+12,70m – NAP-1,60m) is 14m)}$$

Hiermee komt de belasting op het dak van de bebouwing op **-7,5 kN/m¹**.

ad 3. De horizontale belasting uitgeoefend door de windzuiging op de linkerzijde van de bebouwing en de L-muur bedraagt:

$$A_w = \text{dak woning – maaiveld} = \text{NAP+12,70m} – \text{NAP+2,70m} = 10 \text{ m}^2/\text{m}^1$$

$$C_d = 0,4 \text{ (gevel is een dak onder } 90^0 \text{ aan de lijkzijde)}$$

$$p_w = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

Hiermee komt de windzuiging op de zijkant van de bebouwing op **-4,0 kN/m¹**.

De totale belasting door de wind komt daarmee op **-18,7 kN/m¹**.

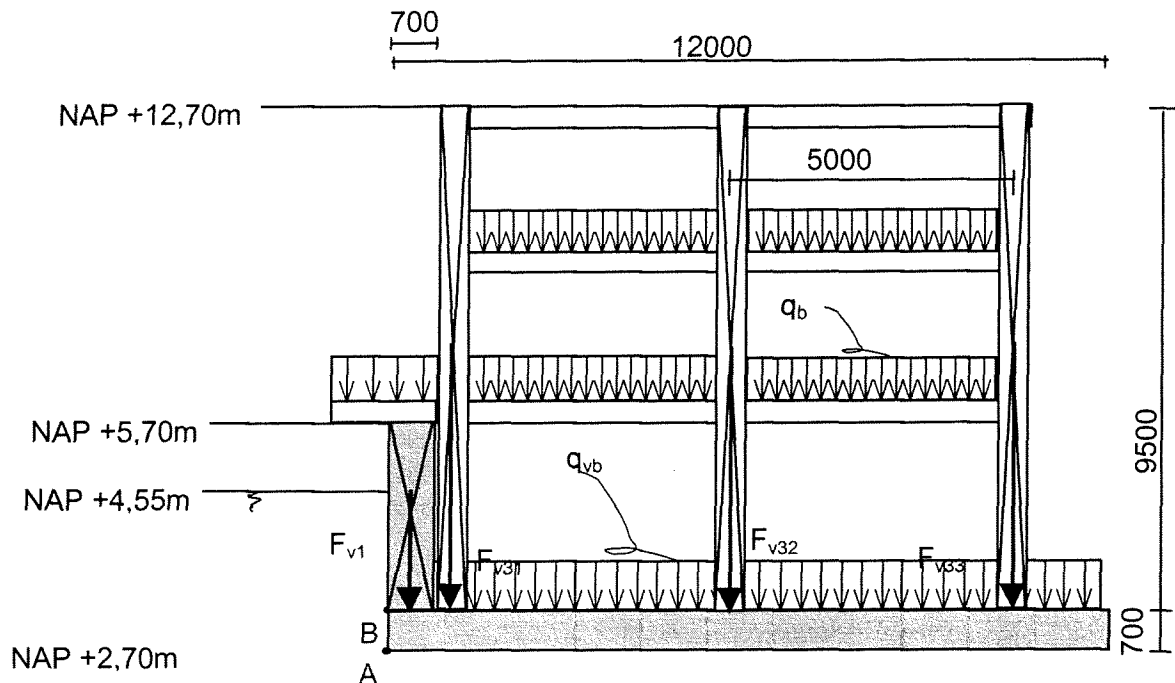
Reactiekrachten bij belastingsituatie 2

De horizontale reactiekracht die geleverd moet worden door de draagkrachtige laag en overgebracht moet worden door de fundering bedraagt in belastinggeval 2 dus **+19 kN/m¹**. De verticale reactiekracht bedraagt zoals eerder gezegd nul, maar er ontstaat toch een verticale belasting op de fundering doordat het moment opgenomen dient te worden. Om toch verticaal evenwicht te bereiken zorgt dit dus voor trek in de funderingspalen aan de landzijde en druk op de palen aan de rivierzijde. Omdat deze belasting wordt gesuperponeerd op de belasting door de constructie zelf komt, zal deze hier niet worden uitgerekend.

8.4 Belastingen van nevenfuncties op de constructie

De belasting binnen de constructie is afhankelijk van het gebruik van de constructie. Hoewel dit niet met zekerheid is te voospellen, kan er een inschatting worden gemaakt op basis van kentallen die voor woningbouw gelden. Daarnaast is er wel te berekenen wat de constructie zelf weegt. Omdat zowel de L-muur als de fundering gedimensioneerd dient te worden, zal de belasting door de woningen en de L-muur zelf worden opgesplitst in twee situaties.

8.4.1 Verticale belasting op de L-muur



figuur 8.7: Verticale belasting op de L-muur (niet op schaal).

tabel 8-8: Verticale belastingen op de L-muur

Kracht	omschrijving	grootte
F_{v1}	Eigen gewicht wand	breedte * hoogte * γ_{beton}
F_{v31}	Gewicht woningen overgebracht door linkermuur	10 kN/m ² (q_b) per verdieping
F_{v32}	Gewicht woningen overgebracht door centrale muur	10 kN/m ² (q_b) per verdieping
F_{v33}	Gewicht woningen overgebracht door rechtermuur	10 kN/m ² (q_b) per verdieping
q_{vb}	Vloerbelasting	10 kN/m ²

Vooralsnog worden de volgende afmetingen van de L-muur aangehouden, die door middel van berekeningen gecontroleerd zullen worden:

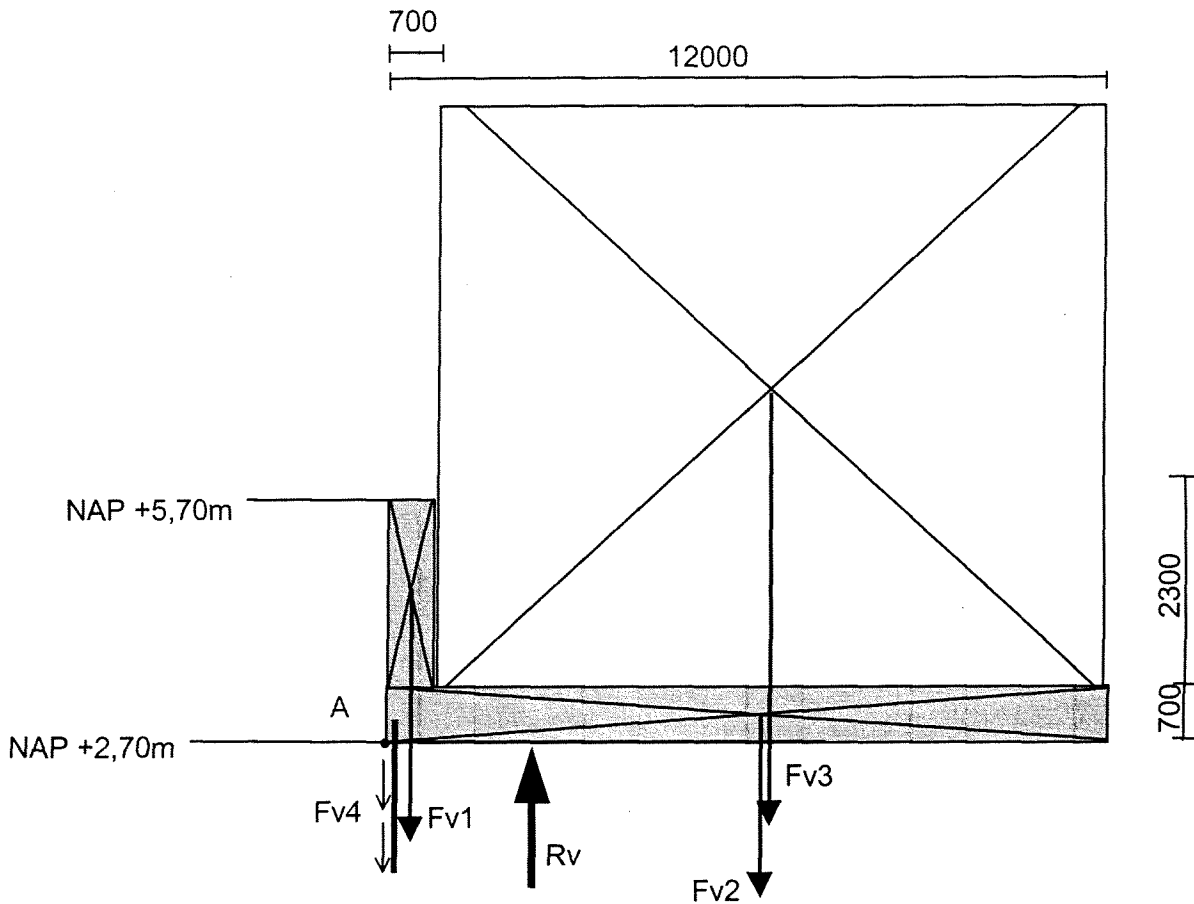
deel	afmeting	maat in m
wand	dikte	0,50
	hoogte (vanaf maaiveld)	5,40
vloer	dikte	0,50
	lengte (vanaf voorkant)	12,00

Op de L-muur werken twee verschillende verticale belastingen.

- Het eigen gewicht van de wand:
 $F_{v1}: 0,50\text{m} * 2,80\text{m} * 24 \text{ kN/m}^3 = 34 \text{ kN/m}^1$
- Het totale gewicht van de woningen. De belasting door de woningen is 10 kN/m^2 (eigen gewicht muren, vloeren en belasting) per verdieping. Uitgaande van drie verdiepingen is dit dus:
 $F_{v3}: 3 * 10,0 \text{ kN/m}^2 * 12,0\text{m} = 360 \text{ kN/m}^1$
 Deze belasting zal niet als één puntlast werken, maar als drie puntlasten ter plaatse van de dragende muren (F_{v31} , F_{v32} en F_{v33}).

De totale verticale belasting op de vloer is derhalve $F_{v1} + F_{v3} = 394 \text{ kN/m}^1$.
 Deze belasting moet opgenomen kunnen worden door de vloer van de L-muur.

8.4.2 Verticale belasting op de fundering



figuur 8.8: Krachten op de fundering in maatgevende situatie (niet op schaal).

tabel 8-9: Belastingen op de fundering

Kracht	omschrijving	grootte
Fv1	Eigen gewicht wand	breedte * hoogte * γ_{beton}
Fv2	Eigen gewicht vloer	dikte * lengte * γ_{beton}
Fv3	Gewicht woningen	10 kN/m ² per verdieping
Fv4	Negatieve kleef op de damwand	$O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$
Rv	Verticale reactiekracht fundering	$\gamma_{f,g}$ (veiligheidsfactor) * ΣF_v

De volledige belasting dient opgenomen te worden door een paalfundering.

Op de fundering werken vier verticale belastingen:

- Het gewicht van de wand :
 $F_{v1}: 0,50m * 4,90m * 24 \text{ kN/m}^3 = 59 \text{ kN/m}^1$
- Het eigen gewicht van de vloer dat wordt bepaald door de afmetingen van de vloer maal het volumieke gewicht van het vloermateriaal (beton, $\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$):
 $F_{v2}: 12,0m * 0,5m * 24,0 \text{ kN/m}^3 = 144 \text{ kN/m}^1$
- Het totale gewicht van de woningen. Dit is de som van de deelbelastingen F_{v31} tot en met F_{v33} . De belasting door de woningen is 10 kN/m² per verdieping. Er wordt uitgegaan van twee verdiepingen en een begane grond. De totale belasting is dan:
 $F_{v3}: 3 * 10,0 \text{ kN/m}^2 * 10,0m = 300 \text{ kN/m}^1$

- Omdat de omliggende grond wel zakt, maar de damwand niet blijft de grond aan de damwand hangen. Volgens de voorspellingen¹² zal de kruin van de huidige dijk de komende 100 jaar door restzetting en bodemdaling zo'n 60cm zakken. Dit is een dermate grote waarde, dat er negatieve kleef te verwachten is. De neerwaarts gericht wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleef wordt bepaald volgens:

$$F_{s, \text{nk}} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$$

waarin:

- $F_{s, \text{nk}}$ de wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleef
- O_p de omtrek van de damwand (= 2 * damwandbreedte per m¹ damwand = 2* 1,50m/m¹)
- h de dikte van de laag waarvan de negatieve kleef wordt berekend (= 12,0m)
- K_0 de neutrale horizontale gronddrukcoëfficiënt (zie tabel 8-1)
- σ_v' de gemiddelde verticale effectieve spanning in de beschouwde laag (volgt uit interpolatie van spanningen in tabel 8-2)
- δ de wrijvingshoek tussen damwand en grond (is ongeveer gelijk aan ϕ , zie tabel 8-1)

Hieruit volgt dat $F_{s, \text{nk}}$ op te splitsen is in drie trajecten, elk bestaande uit één grondlaag.

tabel 8-10: Negatieve kleef damwand

Van [m]	Tot [m]	Materiaal	O_p [m]	h [m]	K_0	σ_v' [kN/m ²]	δ [°]	$F_{s, \text{nk}}$ [kN]
-5,00	+2,70	Klei Tiel	3,00	7,70	0,61	36,52	23,10	220
-6,00	-5,00	Veen	3,00	1,00	0,56	73,23	25,90	60
-9,00	-6,00	Klei Gorkum	3,00	3,00	0,60	85,00	23,50	200
-9,00	+2,70	Totaal		11,70				480

Dit betekent dat voor alle trajecten de neerwaartse wrijvingskracht kan worden bepaald met $F_{s, \text{nk}} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$. De totale neerwaartse wrijvingskracht per strekkende meter damwand zou neerkomen op 480 kN. Dit is een erg hoge waarde. Het is mogelijk de damwand zodanig chemisch te behandelen, dat de wrijving en daarmee samenhangende negatieve kleef sterk wordt verminderd. Deze kan de kleef reduceren met zo'n 75%. Er zal dan ook slechts 25% in rekening worden gebracht.

$$Fv4 : 0,25 * 480 = 120 \text{ kN/m}^1$$

De verticale belasting van de L-muur met bebouwing op de fundering is

$$Fv1 + Fv2 + Fv3 + Fv4 = 625 \text{ kN/m}^1$$

¹² Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen, F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999

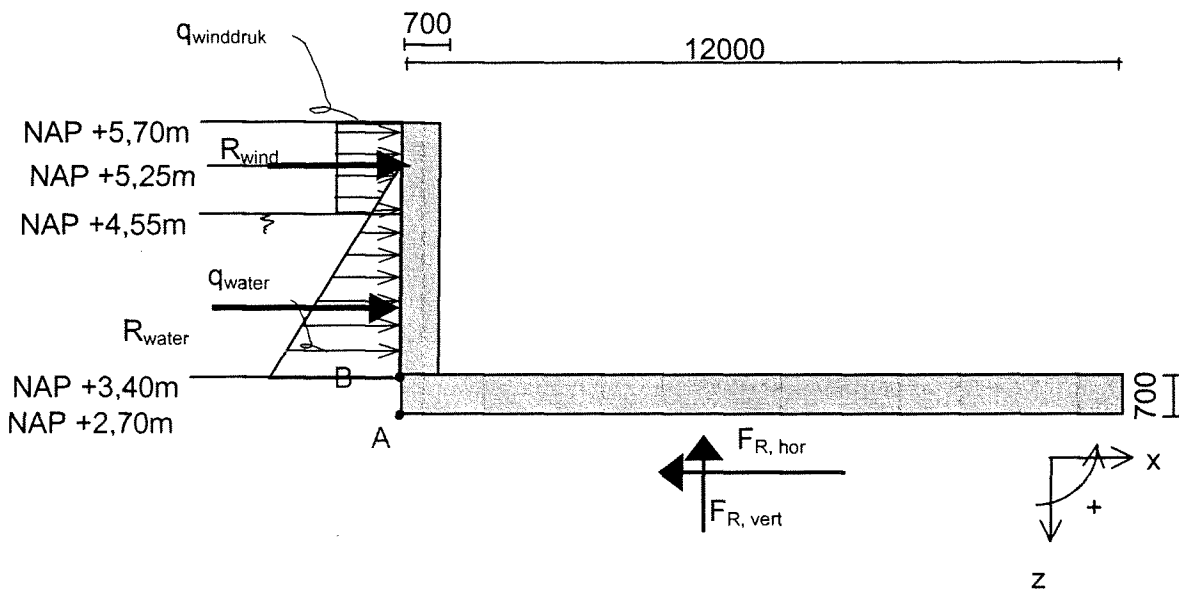
8.5 Dimensionering L-muur

8.5.1 Dimensionering wand

Vooralsnog worden de volgende afmetingen van de L-muur aangehouden, die door middel van berekeningen gecontroleerd zullen worden:

deel	afmeting	maat in m
wand	dikte	0,70
	hoogte (vanaf maaiveld)	3,00
vloer	dikte	0,70
	lengte (vanaf voorkant)	12,00

De dikte van de L-muur wordt allereerst bepaald door de uitvoering. Het is vrijwel niet mogelijk dunnere wanden dan 50cm te maken, dus uitvoeringstechnisch is 0,5m een praktische maat. Om de waterdichtheid te garanderen is echter een dikkere wand noodzakelijk, geschat wordt dat 0,70m daarvoor minimaal nodig is.



figuur 9 Belastingen voor bepaling maatgevend moment in de L-muur

Momentencontrole

Maatgevend voor de dikte van de wand van de L-muur is het moment dat ontstaat in punt B, op een hoogte van NAP+ 3,40m, aan de bovenzijde van de plaat. Dit gebeurt bij een waterstand van NAP+4,55m onder stormcondities (zie voor gebruikte grootheden paragraaf 8.3.1).

Moment t.g.v. water

Voor het water geldt de volgende vereenvoudiging. De golven en hydrostatische druk worden samengenomen, en vereenvoudigd tot een waterstand van NAP +5,25m met als resultante R_{water} .

$$(\text{= } \frac{1}{2} * (\text{hoogte})^2 * \gamma_{water} = \frac{1}{2} * (\text{NAP} + 5,25\text{m} - \text{NAP} + 3,40\text{m})^2 * 10 \text{ kN/m}^3 = 17,1 \text{ kN/m}^1)$$

Deze resultante heeft een arm (d_{water}) van $\frac{2}{3} * (\text{NAP} + 5,25\text{m} - \text{NAP} + 3,40\text{m}) = 1,23\text{m}$

$$\text{Moment t.g.v. water} = M_{water} = R_{water} * d_{water} = 17,1 \text{ kN/m}^1 * 1,23\text{m} = 21,1 \text{ kNm/m}^1$$

Moment t.g.v. wind

Voor de wind geldt dat deze werkt over een hoogte van 1,15m, met de eerder bepaalde factoren wordt de belasting $R_{wind} = A_i * C_i * p_w = 1,15 \text{ m}^2/\text{m}^1 * 0,8 * 0,99 \text{ kN}/\text{m}^2 = 0,91 \text{ kN}/\text{m}^1$. De arm van deze belasting is $(\text{NAP} +4,55\text{m} - \text{NAP} +3,40 + \frac{1}{2} * (\text{NAP} +5,70\text{m} - \text{NAP} +4,55\text{m})) = 1,73\text{m}$

$$\text{Moment t.g.v. wind} = M_{wind} = R_{wind} * d_{wind} = 0,91 \text{ kN}/\text{m}^1 * 1,73\text{m} = 1,57 \text{ kNm}/\text{m}^1$$

Het moment in punt B (geleverd door waterdruk, golven en winddruk) wordt dan: $M_{water} + M_{wind} = 22,67 \text{ kNm}/\text{m}^1$. Dit moment moet opgenomen kunnen worden door de wapening in de wand.

tabel 8-11 Dwarskracht en moment in de wand vvan de L-muur

element	Kracht	arm	moment
water	17,1 kN/m ¹	1,23 m	21,10 kNm/m ¹
wind	0,91 kN/m ¹	1,73 m	1,57 kNm/m ¹
Totaal	18 kN/m ¹		22,7 kNm/m ¹

Het wapeningspercentage is te bepalen door het maatgevend moment ($M_o = 23 \text{ kNm}/\text{m}^1$) te delen door de breedte ($b = 1,0\text{m}$), dikte ($d = 0,70\text{m}$) in het kwadraat en de opneembare betondruk ($f'_b = 15 \text{ N}/\text{mm}^2$ (bij betonsterkte B25)). Het wapeningspercentage is te bepalen met behulp van Tabel 8.IV in het collegedictaat van gewapend beton¹³. Hieruit blijkt dat bij gegeven moment geen eisen aan de wapening worden gesteld. Praktisch geldt er wel een minimum en maximum wapeningspercentage, waardoor het wapeningspercentage moet liggen tussen 0,15% en 1,38%. Aangezien geen grote belastingen op de constructie werken, wordt een wapeningspercentage van 1,0% gebruikt

Schuifspanningcontrole

De optredende schuifspanning is de rekenwaarde van de dwarskracht ($18 \text{ kN}/\text{m}^1$) gedeeld door de breedte (1m) en nuttige hoogte (0,70m) van de wand. Hiermee is de rekenwaarde van de dwarskracht $26 \text{ kN}/\text{m}^2$. Er wordt geen normaalkracht op de wand uitgeoefend. De toelaatbare schuifspanning zonder dwarskrachtwapening ligt tussen de 0,4 en $1 \text{ N}/\text{mm}^2$, afhankelijk van de gebruikte betonsoort en hoeveelheid langswapening. De optredende spanning is $26 \text{ kN}/\text{m}^2 = 0,026 \text{ N}/\text{mm}^2$. Er behoeft dus geen dwarskrachtwapening aangebracht te worden en de wand is dik genoeg

8.5.2 Dimensionering vloerControle vloerdikte

Op de vloer van de L-muur werken drie verschillende verticale belastingen.

- Het eigen gewicht van de wand:
Fv1: $0,70\text{m} * 2,30\text{m} * 24 \text{ kN}/\text{m}^3 = 39 \text{ kN}/\text{m}^1$
- Het totale gewicht van de woningen. De belasting door de woningen is $10 \text{ kN}/\text{m}^2$ per verdieping. Uitgaande van drie verdiepingen is dit dus:
Fv3: $3 * 10,0 \text{ kN}/\text{m}^2 * 12,0\text{m} = 360 \text{ kN}/\text{m}^1$
Deze belasting zal niet als één puntlast werken, maar als drie puntlasten ter plaatse van de dragende muren en een vloerbelasting op de plaat.
- De negatieve kleeft op de damwand:
Fv4 : $0,25 * 480 = 120 \text{ kN}/\text{m}^1$

¹³ College G20A – Gewapend beton,
Prof.dr.ir. J.C. Walraven, TU Delft, Delft, oktober 1995 pag. VIII-22

De vloer moet deze belastingen over kunnen brengen naar de fundering. Gezien de dikte van de vloer (70 cm) levert dit waarschijnlijk geen problemen op. De muren worden rechtstreeks boven de palen van de fundering geplaatst waardoor er geen grote momenten of dwarskrachten optreden. In de conventionele woningbouw voldoen dunnere vloeren al met gemak. Het grootste moment doet zich voor in de vloer door de vloerbelasting. Het gebruikte wapeningspercentage in de wand van 1,0% zal ook in de vloer worden gebruikt.

8.6 Dimensionering fundering

8.6.1 Berekening belasting fundering

Zoals al geconstateerd in de vorige paragrafen, werken er op de fundering meerdere belastingen. Alle de belastingen worden door de L-muur overgedragen aan de fundering, vermeerderd met het eigen gewicht van de L-muur. De verticale belastingen zijn rechtstreeks over te nemen uit 8.4.2. Voor de horizontale belasting geldt dat beide belastinggevallen uit 8.3 maatgevend kunnen zijn en dat dus op beide gedimensioneerd moet worden. Om de belastingen berekend in de vorige paragrafen op te kunnen nemen, worden de volgende eisen aan de fundering gesteld (inclusief belastingfactoren t.g.v. permanente belasting van 1,2 en van dynamische belasting van 1,5). De rekenwaarde van de maximale verticale draagkracht van de paalfundering is de representatieve waarde van de maximale draagkracht van de fundering gedeeld door materiaalfactor $\gamma_{m;b}$

$$F_{r,fund,max;d} = F_{r,fund,max,rep} / \gamma_{m;b} = F_{r,fund,max,rep} / 1,25:$$

Belastinggeval 1 (MHW en zuidwestelijke wind):

Op te nemen belasting	symbool	ontwerpbelasting	rekenwaarde fundering
verticale belasting	Rv	$1,2 * 625 \text{ kN/m}^1 = 750 \text{ kN/m}^1$	$750 * 1,25 = 940 \text{ kN/m}^1$
horizontale belasting (zie 8.3.1)	Rh _R	$1,5 * 52,5 \text{ kN/m}^1 = 80 \text{ kN/m}^1$	$80 * 1,25 = 100 \text{ kN/m}^1$

Belastinggeval 2 (laagwater en noordoostelijke wind):

Op te nemen belasting	symbool	ontwerpbelasting	rekenwaarde fundering
verticale belasting	Rv	$1,2 * 625 \text{ kN/m}^1 = 750 \text{ kN/m}^1$	$750 * 1,25 = 940 \text{ kN/m}^1$
horizontale belasting (zie 8.3.2)	Rh _R	$1,5 * -19,0 \text{ kN/m}^1 = -29 \text{ kN/m}^1$	$-29 * 1,25 = 37 \text{ kN/m}^1$

8.6.2 Berekening verticale draagkracht fundering

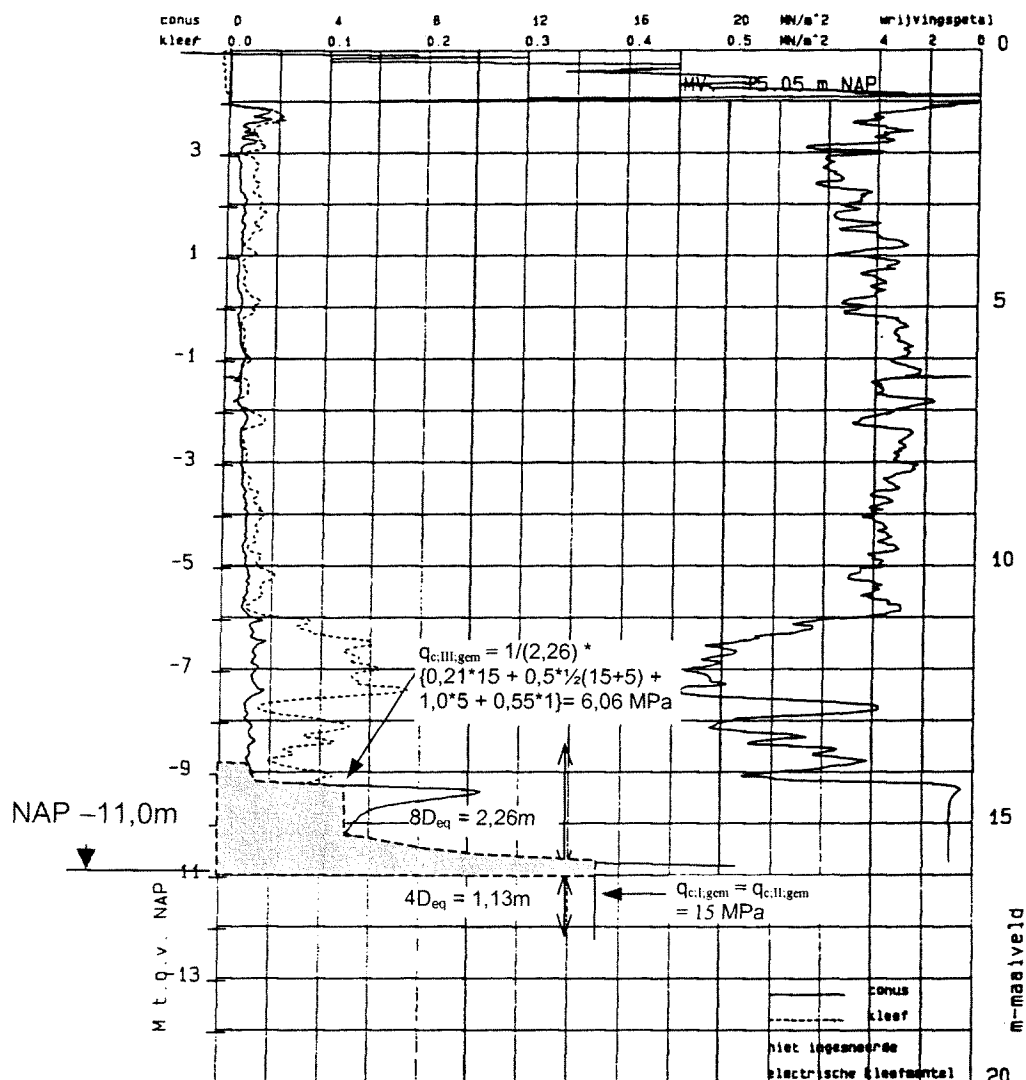
In deze paragraaf wordt de draagkracht van een paal met een inheidiepte van 14 m (maaiveld ligt op NAP +2,70m, paalpunt op NAP -11,0m) bepaald voor twee gangbare paaltypen heipalen. Beide palen zijn van gewapend beton en hebben een vierkante doorsnede, waarbij de dwarsafmeting verschilt. De lichtste paal heeft een doorsnede van 250mm, de zwaarste van 400mm. Uitgangspunt is dat er verticaal evenwicht wordt bereikt.

Eerst dient de equivalente diameter (D_{eq}) te worden bepaald van elke paal. Deze diameter is $\sqrt{4/\pi}$ maal de dwarsafmeting van de paal. Op basis hiervan worden de drie trajecten geschematiseerd van de invloedzone volgens Koppejan¹⁴.

- Traject I loopt vanaf de paalpunt tot 0,7 à 4 maal de equivalente diameter naar beneden.
- Traject II vanaf daar tot de paalpunt omhoog.
- Traject III loopt vanaf de paalpunt tot 8 maal de equivalente diameter omhoog.

tabel 8-12: Bepaling invloedzones voor twee heipalen

	afmeting (d*d)	$D_{eq} = \sqrt{4/\pi} * d$	$0,7 * D_{eq}$	$4 * D_{eq}$	$8 * D_{eq}$
I	0,25*0,25m	0,28m	0,20 m	1,13m	2,26m
II	0,40*0,40m	0,45m	0,32 m	1,81m	3,61m



figuur 8.10: Sondering met daarin bepaling conusweerstand voor paal I

¹⁴ Funderingstechnieken, collegedictaat van CTwa303, Prof.ir. A.F. van Tol, TU Delft, Faculteit der Civiele Techniek, Delft 1993 pag. 3.9 – 3.15

De formule voor het bepalen van de maximale puntweerstand luidt:

$$p_{r, \max; \text{punt}} = \frac{1}{2} \left(\frac{q_{c; I; \text{gem}} + q_{c; II; \text{gem}}}{2} + q_{c; III; \text{gem}} \right)$$

waarin:

- $p_{r, \max; \text{punt}}$ maximale puntweerstand
- $q_{c; I; \text{gem}}$ gemiddelde conusweerstand over traject I (vanaf paalpunt tot $0,7 \cdot 4 \cdot D_{\text{eq}}$)
- $q_{c; II; \text{gem}}$ gemiddelde conusweerstand over traject II (vanaf traject I tot paalpunt)
- $q_{c; III; \text{gem}}$ gemiddelde conusweerstand over traject III (vanaf paalpunt tot $8D_{\text{eq}}$ boven)

Voor $q_{c; I; \text{gem}}$ en $q_{c; II; \text{gem}}$ wordt voor beide palen 15 MN/m^2 aangehouden, omdat de sondering hier geen exacte waarde weergeeft. De conusweerstand voor traject III wordt bepaald door vanaf de paalpunt acht maal de equivalente diameter omhoog te gaan en steeds de laagste weerstand te nemen vanaf dat punt.

De $q_{c; III; \text{gem}}$ voor paal I is: $1/(2,26) \cdot \{0,21 \cdot 15 + 0,50 \cdot \frac{1}{2}(15+5) + 1,00 \cdot 5 + 0,55 \cdot 1\} = 6,06 \text{ MPa}$.

De $q_{c; III; \text{gem}}$ voor paal II is: $1/(3,61) \cdot \{0,21 \cdot 15 + 0,50 \cdot \frac{1}{2}(15+5) + 1,00 \cdot 5 + 2,00 \cdot 1\} = 4,20 \text{ MPa}$.

Op basis van deze conusweerstand kan met behulp van bovenstaande formule de maximale puntweerstand per paal worden bepaald. Door deze puntweerstand te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de doorsnede van de paal kan het draagvermogen per paal worden bepaald:

De draagkracht van paal I is $F_{r, \max; \text{punt}} = A_{\text{punt}} \cdot p_{r, \max; \text{punt}} = (0,25\text{m})^2 \cdot 10,5 \text{ MN/m}^2 = 0,65 \text{ MN}$.

De draagkracht van paal II is $F_{r, \max; \text{punt}} = A_{\text{punt}} \cdot p_{r, \max; \text{punt}} = (0,40\text{m})^2 \cdot 9,6 \text{ MN/m}^2 = 1,53 \text{ MN}$.

tabel 8-13: Conusweerstand van de trajecten, maximale puntweerstand en draagvermogen per paal

	Afmetingen	$q_{c; I; \text{gem}}$	$q_{c; II; \text{gem}}$	$q_{c; III; \text{gem}}$	$p_{r, \max; \text{punt}}$	$F_{r, \max}$
I	0,25m * 0,25m	15 MN/m ²	15 MN/m ²	6,06 MN/m ²	10,5 MN/m ²	0,65 MN
II	0,40m * 0,40m	15 MN/m ²	15 MN/m ²	4,20 MN/m ²	9,6 MN/m ²	1,53 MN

8.6.3 Invloed schachtwrijving en negatieve kleef

Naast de draagkracht van de paalpunt, is ook de invloed van de paal van de bovenliggende lagen van belang. De grond kan zowel bijdragen aan de draagkracht (schachtwrijving) als zorgen voor een extra belasting (negatieve kleef).

Schachtwrijving

De maximale schachtwrijving wordt bepaald volgens: $F_{r, \max; \text{schacht}} = O_p \Delta L p_{r, \max; \text{schacht}}$

waarin:

- $F_{r, \max; \text{schacht}}$ de maximale schachtwrijving
- O_p de omtrek van de paalschacht (= $4 \cdot \text{diameter paal}$)
- ΔL de lengte waarover de schachtwrijving wordt gerekend (= dikte zandlaag)
- $p_{r, \max; \text{schacht}}$ de maximale paalschachtwrijving = $\alpha_s \cdot q_c$ (conusweerstand)

$p_{r, \max; \text{schacht}}$ is te berekenen door de conusweerstand van de onderste zandlaag te vermenigvuldigen met de factor α_s (het percentage van de conusweerstand dat als schachtwrijving in rekening gebracht mag worden), hier 0,010 groot.

In het beschouwde geval is $q_c: \{1/(1,71)\} \cdot \{0,21 \cdot 15 + 0,50 \cdot \frac{1}{2}(15+5) + 1,00 \cdot 5\} = 7,7 \text{ MPa}$.

Hiermee komt $p_{r, \max; \text{schacht}}$ op $0,077 \text{ MN/m}^2 = 77 \text{ kN/m}^2$. ΔL is 1,71m, O_p is $4 \cdot 0,25\text{m}$ (paal I).

De maximale schachtwrijving is dan 131,5 kN per paal voor paaltipe I.

Voor paaltipe II komt dit neer op 210 kN per paal.

Negatieve kleef

Volgens de voorspellingen¹⁵ zal de kruin van de huidige dijk de komende 100 jaar door restzetting en bodemdaling zo'n 60cm zakken. Dit is een dermate grote waarde, dat er negatieve kleef te verwachten is.

De neerwaarts gericht wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleef wordt bepaald volgens: $F_{s,nk} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$

waarin:

- $F_{s,nk}$ de wrijvingskracht ten gevolge van negatieve kleef
- O_p de omtrek van de paalschacht (= 4 * diameter paal)
- h de dikte van de laag waarvan de negatieve kleef wordt berekend (= 12,0m)
- K_0 de neutrale horizontale gronddrukcoëfficiënt (zie tabel 8-1)
- σ_v' de gemiddelde verticale effectieve spanning in de beschouwde laag (volgt uit interpolatie van spanningen in tabel 8-2)
- δ de wrijvingshoek tussen paal en grond (is ongeveer gelijk aan ϕ , zie tabel 8-1)

Hieruit volgt dat $F_{s,nk}$ op te splitsen is in drie trajecten, elk bestaande uit één grondlaag.

tabel 8-14: Berekening negatieve kleef voor paaltype I

Van [m]	Tot [m]	Materiaal	O_p [m]	h [m]	K_0	σ_v' [kN/m ²]	δ [°]	$F_{s,nk}$ [kN]
-9,00	-6,00	Klei Gorkum	1,00	3,00	0,60	85,00	23,50	66,5
-6,00	-5,00	Veen	1,00	1,00	0,56	73,23	25,90	19,9
-5,00	+2,70	Klei Tiel	1,00	7,70	0,61	36,52	23,10	73,2
-9,00	-6,00	Totaal						159,6

Dit betekent, dat voor alle trajecten de neerwaartse wrijvingskracht kan worden bepaald met $F_{s,nk} = O_p h K_0 \sigma_v' \tan \delta$. De totale neerwaartse wrijvingskracht voor paaltype I komt neer op 160 kN per paal. Voor paaltype II komt dit neer op 256 kN.

Totale invloed

Qua orde van grootte komen voor paaltype I de schachtwrijving (131 kN) en de negatieve kleef (160 kN) aardig overeen. Omdat de negatieve kleef iets groter is dan de positieve schachtwrijving, zal deze toch meegenomen moeten worden in de verdere berekeningen. Dit geldt ook voor paaltype II (210 resp. 256 kN). Dit kan verdisconteerd worden door het verschil af te trekken van de draagkracht per paal.

8.6.4 Palenplan

Om de belasting per paal te kunnen controleren, dient er een palenplan gemaakt te worden. Uit 8.6.1 bleek dat de verticale belasting op de fundering 940 kN/m¹ is. Uitgaande van drie palen per dwarsdoorsnede, kan bij gebruik van paal I een raaiafstand van $(3 \cdot 0,62 \text{ MN}) / (940 \text{ kN/m}^1) = 2,0 \text{ m}$ worden aangehouden. Bij Paal II zou dit $(3 \cdot 1,48 \text{ MN}) / (940 \text{ kN/m}^1) = 4,7 \text{ m}$ zijn. Hieruit blijkt dat het gebruik van paaltype II meer voor de hand ligt. Ook een zwaardere paal behoort tot de mogelijkheden. Een eerste opzet voor een palenplan met gebruik van paaltype II wordt weergegeven in figuur 8.11 met raaiafstand van 4,0m. Er zijn wel schoorgeheide palen berekend, maar er wordt vanuit gegaan dat die alleen horizontale krachten opnemen (veilige benadering).

¹⁵ Dijken duurzaam veilig, effecten van toenemende belastingen op waterkeringen, F.M. Stroeve, B.A.N. Koehorst, Bouwdienst Rijkswaterstaat, Utrecht 1999

8.6.5 Schoorgeheide palen

Om de horizontale belasting, veroorzaakt door de waterdruk tegen de wand en de wind, op te kunnen nemen, dient er gebruik te worden gemaakt van schoorgeheide palen. Op termijn zal de bestaande dijk door zetting en bodemdaling in hoogte afnemen. Er ontstaat dan een ruimte tussen de vloer en de grond, waardoor er geen wrijving meer optreedt. Daarnaast is de stijfheid van de fundering vele malen groter dan van de grond. Er kan dus geen gebruik worden gemaakt van de grondwrijving.

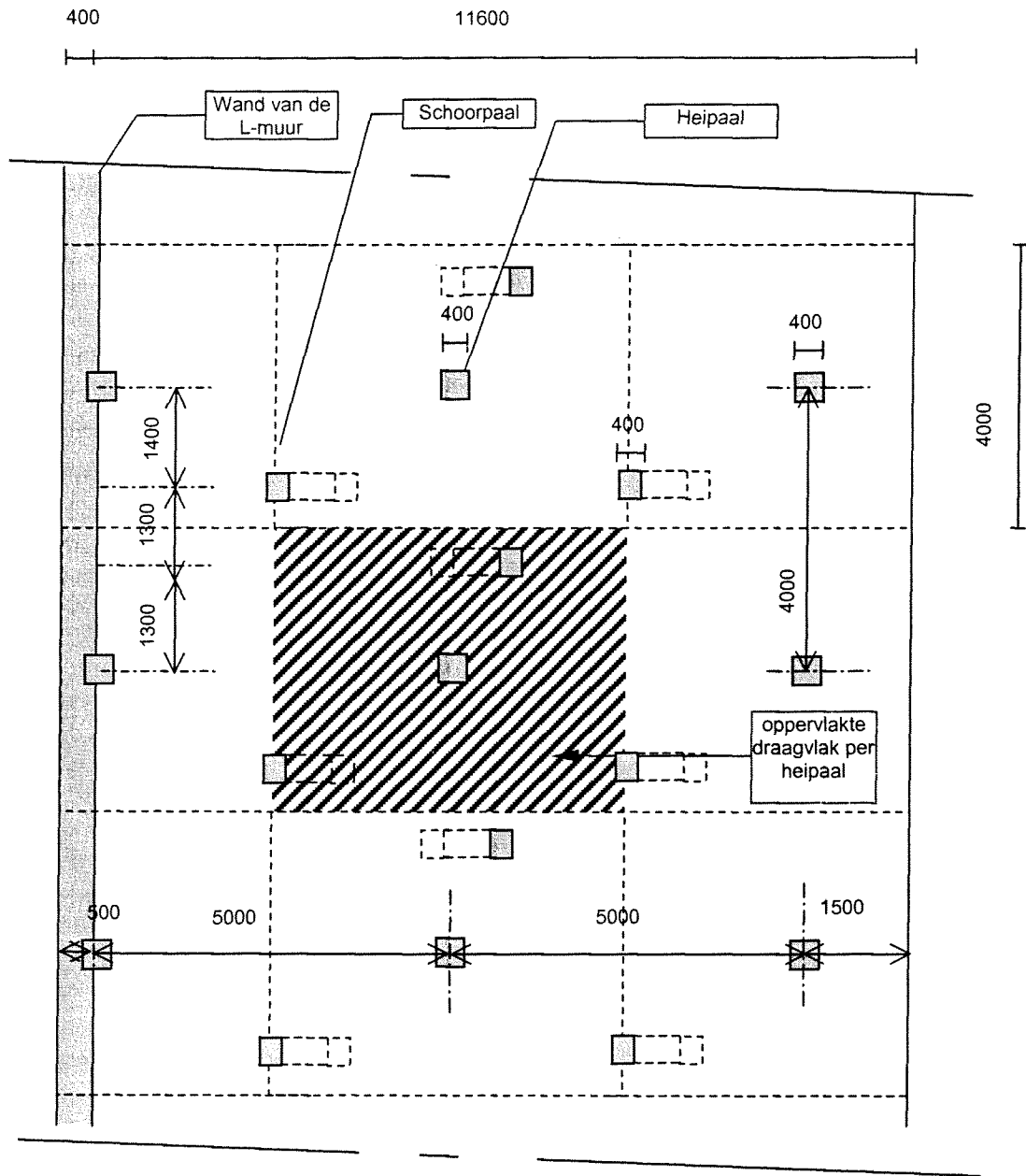
De totale horizontale belasting die opgenomen dient te worden in de verschillende belastinggevallen, is reeds berekend in de subparagrafen 8.3.1 en 8.3.2 en is schematisch terug te vinden in 8.6.1. Teneinde horizontaal evenwicht te bereiken zal in beide gevallen de horizontale belasting opgenomen moeten worden door de schoorgeheide palen.

Op te nemen belasting	symbool	rekenwaarde fundering
Belastinggeval 1 (MHW en zuidwestelijke wind): (zie 8.3.1)	R_{hR}	100 kN/m ¹
Belastinggeval 2 (laag water en noordelijke wind): (zie 8.3.2)	R_{hR}	-37 kN/m ¹

Zoals reeds bepaald in subparagraaf 8.6.2 is de draagkracht van een funderingspaal van type II (d=400mm) geheid tot in de draagkrachtige zandlaag op deze locatie 1,48 MN. Indien deze paal ingeheid zou worden onder een hoek van 10^0 , is de opneembare horizontale belasting per paal: $1,48 \text{ MN} * (\sin 10^0) = 0,26 \text{ MN}$.

Om belastinggeval 1 op te vangen kan bij gebruik van dit paalttype een hart-op-hart-afstand van $260 \text{ kN} / 100 \text{ kN/m}^1 = 2,6\text{m}$ worden gehandhaafd, indien er per doorsnede één paal wordt geheid. Het lijkt logischer op twee palen per doorsnede te plaatsen, met name omdat men anders in de problemen komt met of de schoorgeheide palen in de andere richting of de verticale palen, maar ook om de hart-op-hart-afstand op 4m te kunnen stellen.

Voor belastinggeval 2 kan met een hart-op-hart-afstand van $260 \text{ kN} / 37 \text{ kN/m}^1 = 7,0\text{m}$ worden volstaan. Om dit goed in te passen in het palenplan zal er één paal per raai worden geheid (= 4,0m). Dit is wel overgedimensioneerd, maar kan als zeer veilig worden beschouwd en ik praktisch in de uitvoering. Tevens kunnen deze palen de belasting opnemen die via de damwand op de constructie werken. Hier in verder geen rekening mee gehouden omdat deze niet bijzonder groot zijn, maar hiervoor kan de reserve in de palen gebruikt worden.



figuur 8.11: Bovenaanzicht palenplan (schaal 1:100)

9 Kostenraming

De haalbaarheid van een project wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kosten. Een kostenschatting is moeilijk, omdat het ontwerp slechts globaal uitgewerkt is. Voor het vergelijken van de innovatieve oplossing met de traditionele dijkverbetering, is het wenselijk een schatting van de orde van grootte van de kosten te hebben. Voor een kostenraming is contact opgenomen met de afdeling Waterbouw Bedrijfszaken van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Onderstaande raming is het resultaat.

Binnen Rijkswaterstaat worden de kosten op een bepaald niveau gepresenteerd, om eenvoudiger te kunnen communiceren over kosten. Dit staat beschreven in onderstaand schema, alle kosten in dit hoofdstuk zijn op het niveau van "Raming van de kosten". Voor dit bedrag kan de aannemer het werk uitvoeren en de opdrachtgever alle onderzoeken en berekeningen uitvoeren, tevens is er geld gereserveerd voor tegenvallers. De gepresenteerde kosten zijn een indicatie voor wat een ontwerp moet kosten en niet meer dan dat. De gepresenteerde kosten hebben een prijspeil: juni 2000.

9.1 Ramingsystematiek

Voor de opbouw van de raming wordt gebruik gemaakt van een uniforme ramingsopbouw, die is voortgekomen uit het Project Ramingen Infrastructuur (PRI). Deze uniforme ramingsopbouw wordt momenteel zoveel mogelijk gehanteerd (zie figuur 9.1).

Uniforme ramingsopbouw:	
Directe kosten	
Indirecte kosten	+
Primaire kosten	
Bijkomende kosten	
Diversen	+
Basisraming	
Onvoorzien	+
Subtotaal	
B.T.W.	+
Raming van de kosten	

figuur 9.1. Uniforme ramingsopbouw (PRI).

Per onderdeel zal er een bedrag worden gepresenteerd in guldens. Alle kosten worden gepresenteerd op het niveau "Raming van de kosten". Deze kosten zijn de kosten op het niveau van Raming van de kosten in figuur 9.1. De prijs heeft een trefzekerheid van 70% en een marge van 40%.

9.2 Raming L-muur (innovatieve waterkering)

9.2.1 Hoeveelheden referentie

Damwand

Een damwand van 10m lengte. De totale afstand waarover de damwand moet worden geheid is 500m. Er wordt een damwandprofiel gekozen, bekend als BZ 17, met een soortelijke massa van 131 kg/m^2 , een traagheid I_z van 18.390 cm^4 en een buigstijfheid EI van 28619 kNm^2 . Dit betekent: **5000m² damwand met damwandprofiel BZ 17**

L-muur

De L-muur heeft de volgende afmetingen:

deel	afmeting	maat in m
wand	dikte	0,70
	hoogte (vanaf maaiveld)	3,00
vloer	dikte	0,70
	lengte (vanaf voorkant)	12,00

Dit betekent dus: $15,00\text{m} * 0,70 \text{ m} = 10,50 \text{ m}^3/\text{m}^1$. In totaal is dat dus **5250 m³ beton**. Wapeningspercentage van 1,0%, dus: $0,010 * 0,70\text{m} * 1,00\text{m}/\text{m}^1 = 0,007 \text{ m}^2/\text{m}^1$ hetgeen bijvoorbeeld overeenkomt met 9 staven van 32mm doorsnede = $7236 \text{ mm}^2/\text{m}^1$. Totale wapening is derhalve met een doorsnede van 32mm: $9 * 500\text{m} * 15,0\text{m}$ is 67500m. Dit is ongeveer: $\frac{1}{4} * \pi * D^2 * 67500 * 7800 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{425.000 \text{ kg wapeningsstaal}}$.

Woningen

Op de voet van de L-muur zijn woningen gepland met een breedte van 10m, een diepte van 10m (hart-op-hart-afstand tussen gevels) en een hoogte van 10m (vanaf de vloer tot nok van het dak). Deze woningen worden ondersteund door draagmuren die hart-op-hart op 5m van elkaar zijn geplaatst. De woningen zijn direct achter de wand geplaatst. Het overblijvende stuk van de vloer wordt wel belast door een vloerbelasting, maar valt buiten de woning zelf. Indien ruimte wordt gemaakt voor parkeergarages naast de woningen is er ruimte voor 30 woningen.

Fundering

Drie palen per dwarsdoorsnede met raai-afstand van 4,00m, met een diameter van 400mm nodig. Over 500 m zijn dit dus 126 raaien. Er zijn dus 378 heipalen nodig van 350mm*350mm met een lengte van 14,0m. Om dit goed in te passen in het palenplan zullen er drie schoorpaal per raai worden geheid. Totaal over 500m dus ook 378 schoorpalen met een diameter van 350 en een lengte van 14,5m. Tezamen zijn dit **800 heipalen van 350mm*350mm met een lengte van 14m**

9.2.2 Kostenbepaling L-muur

De kosten voor de aanleg van de L-muur worden verdeeld in een aantal onderdeel. De gepresenteerde bedragen bevatten alle noodzakelijke elementen.

tabel 9-1: Kostenraming L-muur

Onderdeel	prijs per eenheid	eenheid	aantal	kosten per onderdeel	opmerking
slopen woning	f 100.000,-	stuk	20	f 2,0 mln.	i
Aanleg L-muur	f 33.000,-	m ¹	500	f 16,5 mln.	ii
nieuwbouw woning	f 350.000,-	stuk	30	f 10,5 mln.	iii
<i>totaal</i>				<i>f 29,0 mln.</i>	

- i Alleen de buitendijkse woningen behoeven te worden gesloopt. Het gaat hier zuiver om sloopkosten, er wordt geen rekening gehouden met compensatie voor de bewoners omdat hen een minimaal gelijkwaardige woning aangeboden wordt. Zouden de nieuwe woningen in de vrije verkoop gaan, dan moeten zowel de opbrengsten hiervan worden meegenomen, als de extra kosten voor de compensatie.
- ii Bij de aanleg L-muur zijn alle noodzakelijke elementen opgenomen zoals het heien van de heipalen, het trillen en aanschaffen van de damwand, het materieelgebruik en materiaalgebruik, de personeelskosten enzovoort.
- iii Er zullen 10 woningen meer gebouwd worden dan er worden gesloopt. Deze woningen zullen in de vrije verkoop een bedrag van f 500.000,- per woning moeten opbrengen (veilige raming). Dit heeft een positieve invloed op de kosten, die daarmee uit zouden komen op f 24 miljoen.

9.3 Raming Traditionele waterkering

Hoewel de traditionele waterkering hier niet uitgevoerd kan worden, zijn de theoretische kosten hiervoor toch weergegeven als vergelijkingsmateriaal.

9.3.1 Hoeveelheden referentie

De traditionele ophoging wordt uitgevoerd in zand. De toplaag bestaat uit een grasmat op een halve meter dikke kleilaag. De vereiste kruinhoogte is NAP +8,10m, de kruinbreedte 6,50m, de taluds 1:3 en de breedte onder aan de dijk is 62,0m (zie paragraaf 4.2).

In totaal is per doorsnede een profiel nodig van $((2 * 1/2 * 28m) + 6,50m) * 9,20m = 320m^3/m^1$. Er ligt momenteel een profiel van $((2 * 1/2 * 12,60) + 6,50m) * 6,30m + 16m * 3,80m = 181 m^3/m^1$. Aangevuld dient dus te worden: $140 m^3/m^1$

Dit bestaat uit een kern van **zand: 107 m³/m¹**.

En als afdeklaag **klei: 66,50m * 0,50m = 33m³/m¹**.

9.3.2 Kostenbepaling traditionele ophoging

tabel 9-2: Kostenraming traditionele ophoging

Onderdeel	prijs per eenheid	eenheid	aantal	kosten per onderdeel	opmerking
slopen woning	f 100.000,-	stuk	50	f 5,0 mln.	iv
Verhogen dijk	f 7.000,-	m ¹	500	f 3,5 mln.	v
nieuwbouw woning	f 350.000,-	stuk	50	f 17,5 mln.	vi
totaal				f 26,0 mln.	

- iv Zowel de binnendijkse als de buitendijkse woningen moeten worden gesloopt. Het gaat hier zuiver om sloopkosten, er wordt geen rekening gehouden met compensatie voor de bewoners. uitvallen, aangezien het om 12 historische panden gaat.
- v Het verhogen van de dijk zijn alle bijkomende kosten meegenomen zoals grondverzet, gebruik materieel, personeelkosten enzovoort.
- vi Aangezien het hier voor een deel historische panden betreft, zou een alternatief zijn het opnieuw opbouwen van de historische panden op de nieuwe waterkering. Verwacht wordt dat de kosten per woning dan f 200.000,- meer zouden zijn dan bij nieuwbouw. De totale kosten zouden daarmee f 2,5 miljoen hoger

9.4 Conclusie van de kostenraming

Zuiver gekeken naar de werkelijke kosten valt de innovatieve waterkering slechts f 3 miljoen hoger uit dan de traditionele ophoging. Dit is slecht 10% van de totale kosten en derhalve goed verdedigbaar. Daarnaast zijn verlies van stadsgezicht en verlies van natuurwaarden niet naar bedragen vertaald, omdat beide zeer subjectieve waarden zijn. Het is aan beleidsmakers om uit te maken of de meerkosten van een innovatieve waterkering opwegen tegen het verlies van deze waarden. Dit is een politieke beslissing en valt buiten deze studie.

10 Conclusies en aanbevelingen voor Ammerstol

Bij aanvang van de casestudy Ammerstol lag er een duidelijk probleem tussen een traditionele dijkversterking en de huidige functies van het dijkvak in Ammerstol, te weten bewoning, historische bebouwing en een verkeersfunctie. In de casestudy is, met behulp van de eerder in de studie ontwikkelde principeoplossingen, naar een oplossing gezocht om de waterkering toch te versterken.

De gebruikte principeoplossing is de L-muur. Deze is zodanig vormgegeven dat er op de voet woningen kunnen worden geplaatst. De locatie is op het verhoogde voorland, waardoor er geen afbreuk aan de huidige verkeersfunctie en historische functie wordt gedaan. De L-muur is gefundeerd op palen vanwege de slappe ondergrond, aangevuld met schoorpalen om de horizontale belasting op te kunnen nemen. Onder de wand van de L-muur is een damwand aangebracht die fungeert als kwelscherm en daarmee onderloopsheid voorkomt. Omdat de L-muur wordt gebouwd buiten de huidige waterkering hoeven er geen noodwaterkeringen of andere speciale voorzieningen te worden getroffen.

Voor de meeste onderdelen van de nieuwe waterkering is een globale berekening uitgevoerd, waaruit globale afmetingen en aantallen kunnen worden afgeleid. Hieruit bleek dat de eisen niet buitenproportioneel waren en dat de waterkering technisch goed uitvoerbaar is.

In vergelijking met een traditionele dijkversterking blijkt deze innovatieve oplossingen veel voordelen te bieden. Zo kunnen de huidige functies behouden blijven, hetgeen bij een traditionele dijkversterking niet mogelijk was geweest. Daarnaast is het ruimtebeslag een stuk kleiner, hetgeen leidt tot behoud van het karakteristieke landschap. Het kostenaspect blijkt positiever uit te vallen, dan tevoren verwacht mocht worden. Indien alleen wordt gekeken naar de werkelijke kosten is de innovatieve waterkering slechts iets duurder dan de traditionele ophoging. Daarnaast is het verlies van huidige waarden als stadsgezicht of natuurschoon nog niet meegenomen, omdat deze moeilijk naar kosten zijn te vertalen. Hiermee lijkt op de projectlocatie aanleg van de L-muur als waterkering een aantrekkelijke optie.

10.1 Conclusies

Uit deze casestudy zijn de volgende conclusies te trekken:

- De principeoplossingen die zijn voorgesteld in het hoofdrapport *Innovatieve waterkeringen* zijn uitvoerbaar in een karakteristieke conflictsituatie.
- De scoretabel voldoet goed en is bruikbaar voor specifieke situaties. Wel kan door afwijkende omstandigheden op enkele punten een iets afwijkende waardering worden toegepast.
- Het is technisch goed mogelijk om een innovatieve multifunctionele waterkering toe te passen.
- Bij globale controleberekeningen blijken de dimensies zoals voorgesteld in de ontwerpfase redelijk te voldoen.
- Er zijn geen grote nieuwe problemen ontstaan tijdens het ontwerp voor de casestudy.
- Het is goed mogelijk vanuit een algemene situatie een innovatieve oplossing te bedenken die in een specifieke situatie toepasbaar is.

10.2 Aanbevelingen

- De waterkering is ontworpen in combinatie met woonhuizen. Tijdens het ontwerp bleek het eenvoudig te zijn de woningen niet echt te integreren in de waterkering (of andersom), maar wel wederzijds gebruik van elkaar te maken. Dit heeft al voordeel dat duidelijk is waar de bevoegdheden van waterschat en bewoners ophouden. Het verdient aanbeveling deze bevoegdheden duidelijk aan te geven. Het waterschat is verantwoordelijk voor de waterkering met fundering, de bewoners zijn verantwoordelijk voor de woningen en zijn niet gerechtigd wijzigingen aan te brengen in de waterkering. Bij het voorgestelde ontwerp in deze scheiding goed te handhaven. Dit dient uiteraard wel vastgelegd te worden in de koopcontracten. Verdere bestudering hiervan is gewenst.
- De L-muur is iets meer naar de rivier geplaatst dan de huidige waterkering. Dit leidt tot een gecompliceerde aansluiting. De fraaiste oplossing is waarschijnlijk het doortrekken van de damwand vanuit de L-muur tot in de oude waterkering. Deze damwand kan verfraaid worden met natuur, of ingekapseld worden in beton. De overgang blijft altijd lastig, maar verwacht wordt dat bijvoorbeeld met grondtaluds deze overgang zo goed mogelijk gecamoufleerd kan worden. Wel dient hieraan nog enige aandacht te worden besteed.

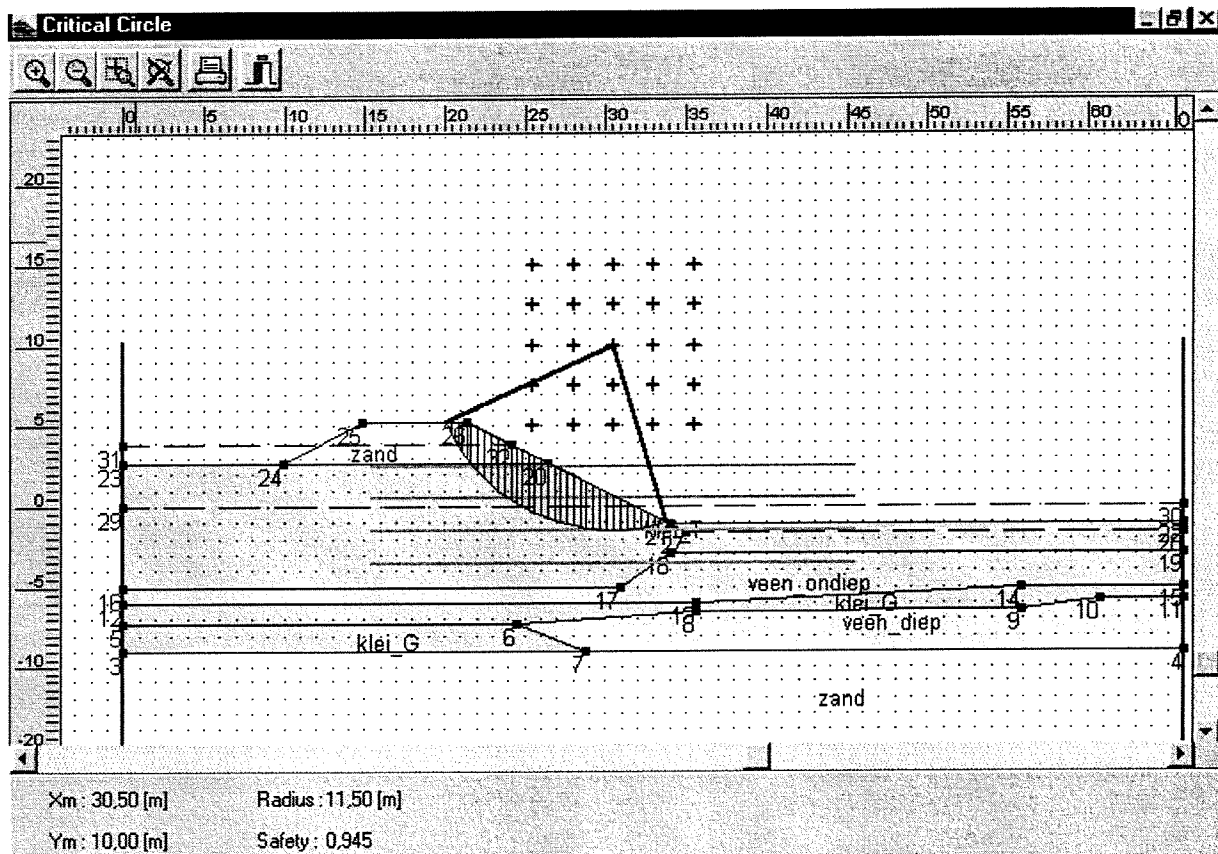
Bijlage I

Uitvoer MStab

Gebruik MStab

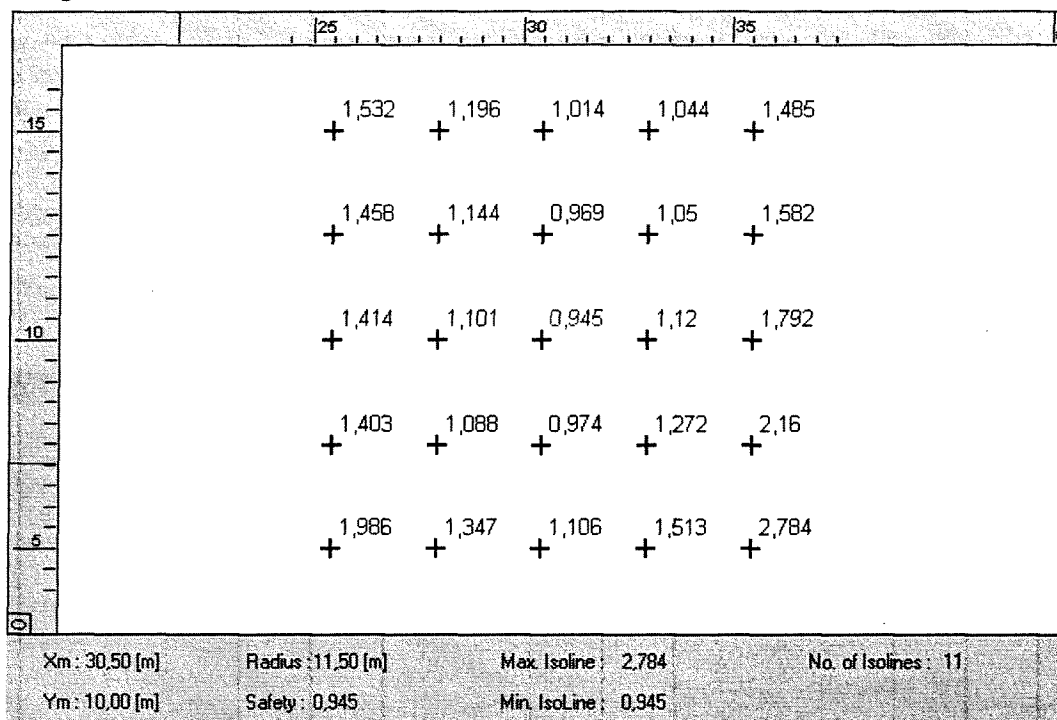
Er is in de huidige situatie een berekening gemaakt met het programma MStab, een simulatie programma waarmee de stabiliteit in een grondlichaam kan worden berekend. In dit programma is de huidige situatie gesimuleerd, waarin de dijk bestaat uit een kern van klei, met daarop een zandpakket.

Hieronder wordt eerst de grafische uitvoer gepresenteerd en vervolgens de numerieke. Uit deze uitvoer blijkt duidelijk dat de huidige waterkering niet stabiel is. In de glijcirkel treedt een hoge waterdruk op die niet volledig kan worden gecompenseerd door de verhoogde schuifspanning. Dit wordt duidelijk in de volgende figuren.



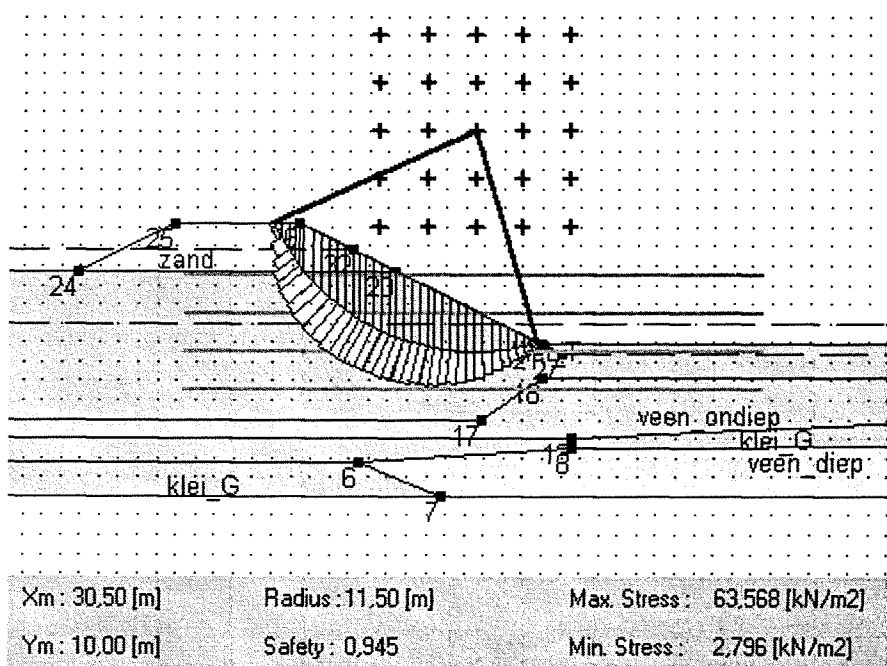
figuur 1 Kritieke glijcirkel

Dit is ook weer te geven door per rasterpunt de minimale waarde (Fmin) te presenteren, zoals in figuur II.



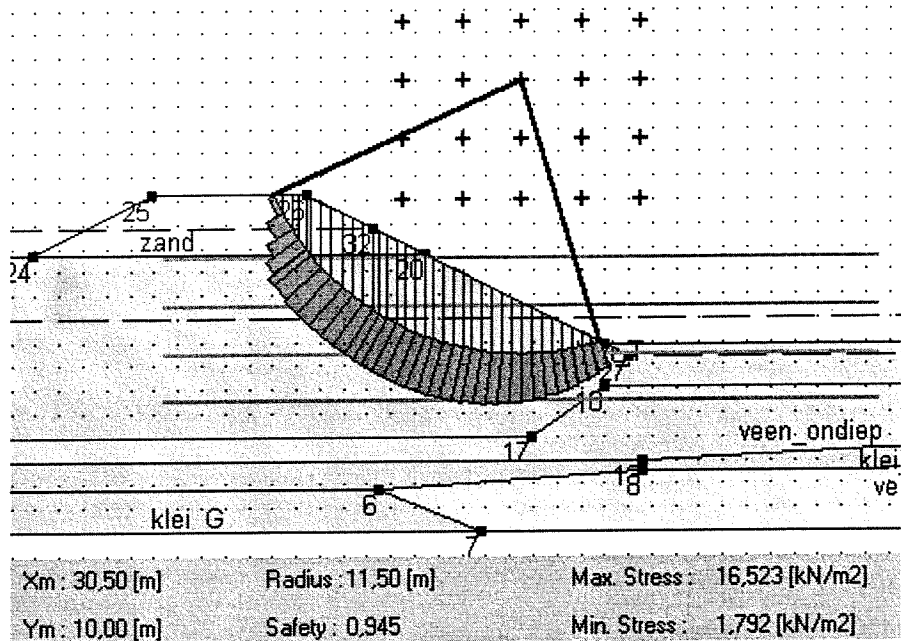
figuur II: Weergave veiligheidsfactor per rasterpunt

Dit heeft in de glijcirkel spanning tot geval. Hieronder wordt de totale spanning gepresenteerd. Zie figuur III



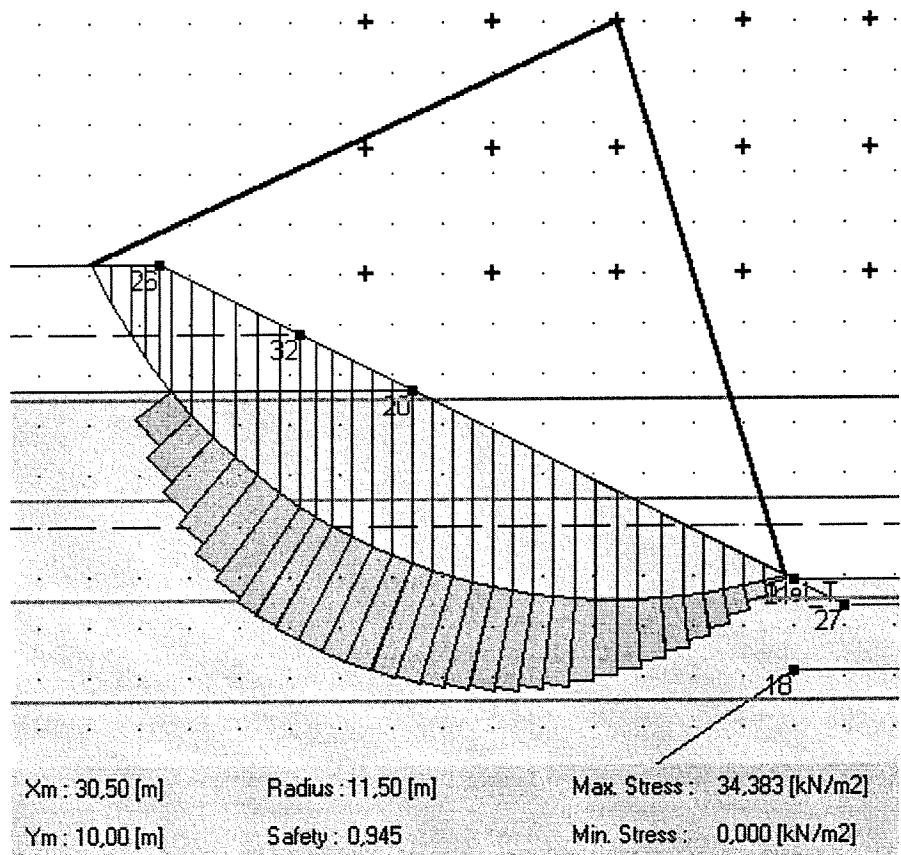
figuur III: Totale spanning in de glijcirkel.

Deze spanningen resulteren in schuifspanningen in de glijcirkel.



figuur IV: Schuifspanning in de glijcirkel

Deze drukken zorgen ook voor een verhoogde waterdruk in de poriën. Deze druk wordt weergegeven in figuur V.



figuur V: Verhoogde waterdruk in de poriën

Program : MStab for Windows
 Version : 7.1
 Company : DWW Delft

Problem identification : Huidige situatie in Ammerstol
 : Situatie in 2000

Date : 7-6-00
 Time : 17:12:56

Output file : D:\Mserie\Data\Lekdijk_lagen.sto
 Input file : D:\Mserie\Data\Lekdijk_lagen.sti

===== BEGINNING OF DATA =====

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA

Calculation method : Bishop

PL-LINES
 =====

PL-line no.		Coordinates [m]					
1	- X -	0.00	24.20	26.40	34.00	35.00	100.00
1	- Y -	3.80	3.80	2.70	-1.10	-1.60	-1.60
2	- X -	0.00	100.00				
2	- Y -	0.00	0.00				

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.

Index	Soil name
7	zand
6	klei_T
5	veen_ondiep
4	klei_G
3	veen_diep
2	klei_G
1	zand

GENERAL SOIL PROPERTIES
=====

Soil num	Gam dry [kN/m3]	Gam wet [kN/m3]	Cohesion [kN/m2]	Phi [degrees]	PL-line top	PL-line bottom
7	17.00	20.00	0.00	30.00	0	0
6	17.70	17.70	6.40	23.50	1	1
5	10.40	10.40	9.60	25.90	1	1
4	13.90	13.90	11.50	23.10	1	1
3	10.40	10.40	9.60	25.90	1	1
2	13.90	13.90	11.50	23.10	1	1
1	17.00	20.00	0.00	30.00	1	-

No degree of consolidation <> 100% input.

CENTER POINT GRID AND TANGENT LINES
=====

X - coordinate grid left : 25.50 [m]
 X - coordinate grid right : 35.50 [m]
 Number of grid points in X - direction : 5

 Y - coordinate grid bottom : 5.00 [m]
 Y - coordinate grid top : 15.00 [m]
 Number of grid points in Y - direction : 5

 Y - coordinate tangent smallest circle : 2.50 [m]
 Y - coordinate tangent biggest circle : -3.50 [m]
 Number of circles per grid point : 4

No fixed points input.

Total number of center points in the grid: 25
 Total number of slip circles in the grid : 100

LINE LOADS
=====

No line loads input.

UNIFORM LOAD
=====

No uniform 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	
25.50	5.00	8.50	--	Circle center point too low.
25.50	5.00	6.50	--	Circle center point too low.
25.50	5.00	4.50	--	Circle center point too low.
25.50	5.00	2.50	1.986	
25.50	7.50	11.00	1.457	
25.50	7.50	9.00	1.415	
25.50	7.50	7.00	1.403	
25.50	7.50	5.00	1.657	
25.50	10.00	13.50	1.447	
25.50	10.00	11.50	1.414	
25.50	10.00	9.50	1.457	
25.50	10.00	7.50	1.757	
25.50	12.50	16.00	1.490	
25.50	12.50	14.00	1.458	
25.50	12.50	12.00	1.541	
25.50	12.50	10.00	1.943	
25.50	15.00	18.50	1.560	
25.50	15.00	16.50	1.532	
25.50	15.00	14.50	1.632	
25.50	15.00	12.50	2.133	
28.00	5.00	8.50	--	Circle center point too low.
28.00	5.00	6.50	--	Circle center point too low.
28.00	5.00	4.50	1.347	
28.00	5.00	2.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
28.00	7.50	11.00	1.151	
28.00	7.50	9.00	1.088	
28.00	7.50	7.00	1.169	
28.00	7.50	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
28.00	10.00	13.50	1.168	
28.00	10.00	11.50	1.101	
28.00	10.00	9.50	1.167	
28.00	10.00	7.50	1.475	
28.00	12.50	16.00	1.213	
28.00	12.50	14.00	1.144	
28.00	12.50	12.00	1.231	
28.00	12.50	10.00	1.477	
28.00	15.00	18.50	1.278	
28.00	15.00	16.50	1.196	
28.00	15.00	14.50	1.311	
28.00	15.00	12.50	1.601	
30.50	5.00	8.50	1.157	
30.50	5.00	6.50	1.106	
30.50	5.00	4.50	2.549	
30.50	5.00	2.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
30.50	7.50	11.00	1.093	
30.50	7.50	9.00	0.974	
30.50	7.50	7.00	1.681	
30.50	7.50	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
30.50	10.00	13.50	1.108	
30.50	10.00	11.50	0.945	
30.50	10.00	9.50	1.338	
30.50	10.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
30.50	12.50	16.00	1.146	

30.50	12.50	14.00	0.969	
30.50	12.50	12.00	1.209	
30.50	12.50	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
30.50	15.00	18.50	1.194	
30.50	15.00	16.50	1.014	
30.50	15.00	14.50	1.211	
30.50	15.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.

33.00	5.00	8.50	1.527	
33.00	5.00	6.50	1.513	
33.00	5.00	4.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	5.00	2.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	7.50	11.00	1.333	
33.00	7.50	9.00	1.272	
33.00	7.50	7.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	7.50	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	10.00	13.50	1.245	
33.00	10.00	11.50	1.120	
33.00	10.00	9.50	64.031	
33.00	10.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	12.50	16.00	1.228	
33.00	12.50	14.00	1.050	
33.00	12.50	12.00	4.009	
33.00	12.50	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
33.00	15.00	18.50	1.245	
33.00	15.00	16.50	1.044	
33.00	15.00	14.50	2.018	
33.00	15.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.

35.50	5.00	8.50	2.784	
35.50	5.00	6.50	7.876	
35.50	5.00	4.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	5.00	2.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	7.50	11.00	2.160	
35.50	7.50	9.00	4.028	
35.50	7.50	7.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	7.50	5.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	10.00	13.50	1.792	
35.50	10.00	11.50	2.719	
35.50	10.00	9.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	10.00	7.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	12.50	16.00	1.582	
35.50	12.50	14.00	1.990	
35.50	12.50	12.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	12.50	10.00	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	15.00	18.50	1.485	
35.50	15.00	16.50	1.602	
35.50	15.00	14.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.
35.50	15.00	12.50	--	Circle cuts geometry < 2 times.

Information on the critical circle : Fmin = 0.945
 Calculation method used : (Bishop method)

=====

X - coordinate center point : 30.50 [m]
 Y - coordinate center point : 10.00 [m]
 Radius of critical circle : 11.50 [m]

The center point of the critical circle is enclosed !

Driving moment soil : 2548.09 [kNm/m]
 Driving moment free water : 0.00 [kNm/m]
 Driving moment external loads : 0.00 [kNm/m]
 Iterated resisting moment : 2548.09 [kNm/m]
 Non-iterated resisting moment : 2429.38 [kNm/m]

END OF MSTAB OUTPUT
 =====

Bijlage II

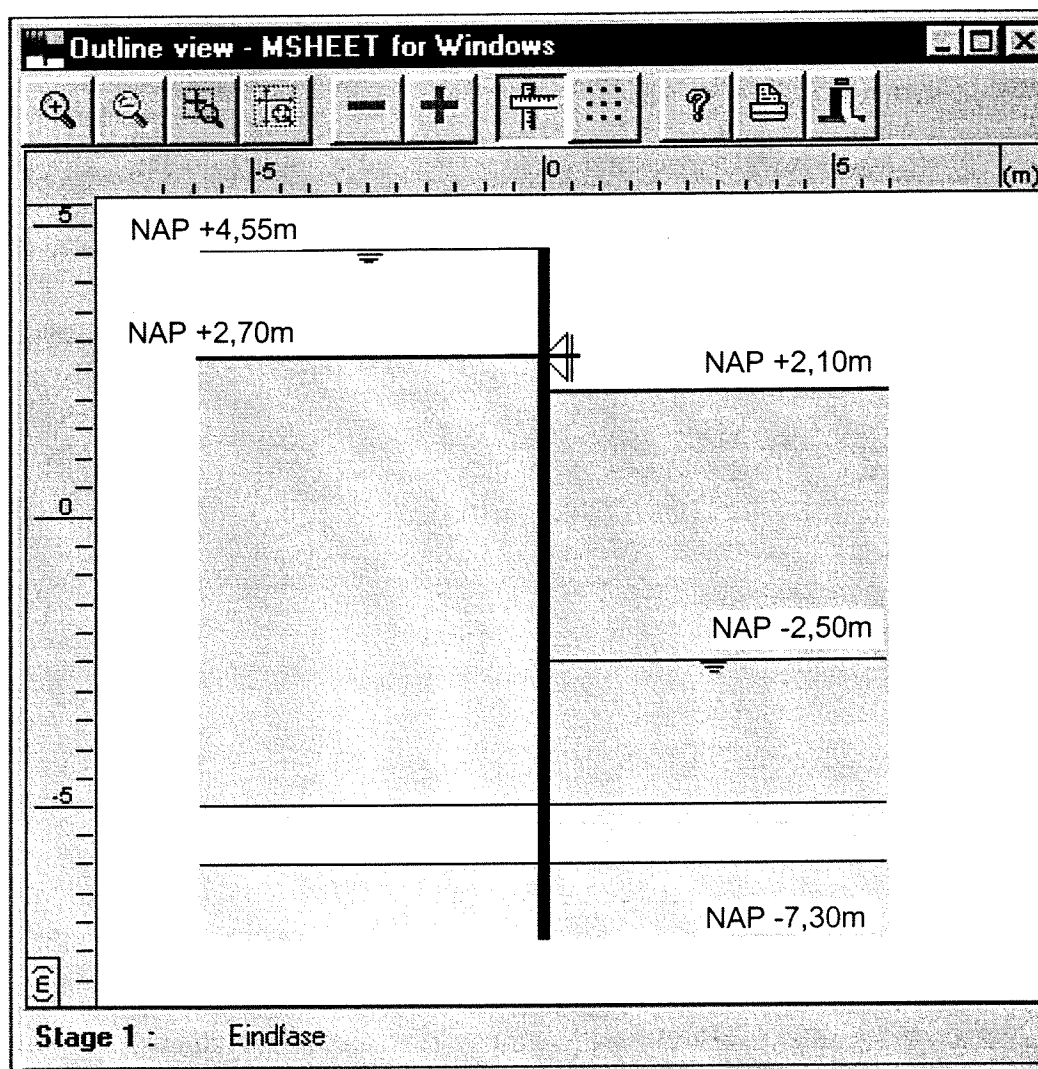
Uitvoer MSheet

Gebruik MSheet

Er is in deze situatie een berekening gemaakt met het programma MSheet, een simulatie programma waarmee de vervormingen en krachten van en in een damwand kunnen worden berekend. In dit programma is de eindsituatie gesimuleerd, waarin de damwand ingeklemd is in de L-muur er MHW optreedt (NAP +4,55m) en de grond en het grondwaterpeil ter plaatse van de L-muur maximaal gezakt zijn.

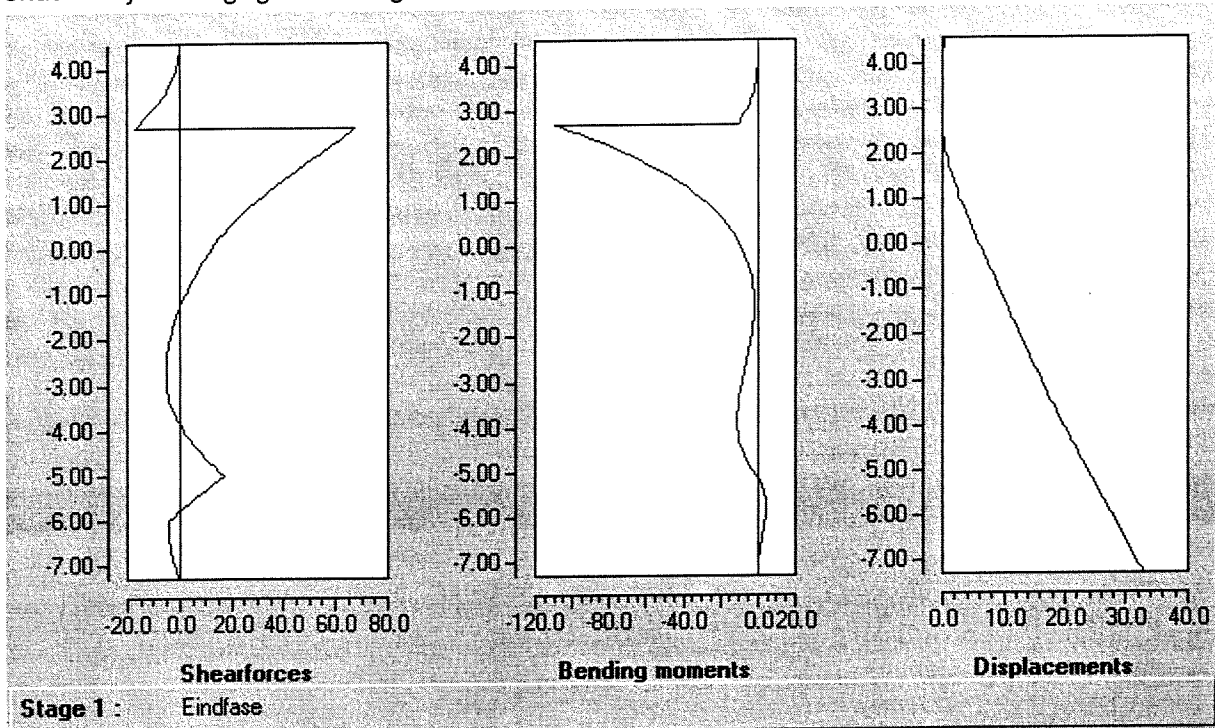
Er is gerekend met een damwand van 10m lengte. Omdat er geen grote spanningen op de damwand zullen werken in de bouwfase en door de inklemming in de L-muur in de gebruiksfase kan worden volstaan met een licht profiel. Er wordt een damwandprofiel gekozen, bekend als BZ 17, met een soortelijke massa van 131 kg/m, een traagheid I_z van 18.390 cm^4 en een buigstijfheid EI van 28619 kNm^2 .

Hieronder wordt eerst de grafische uitvoer gepresenteerd en vervolgens de numerieke.



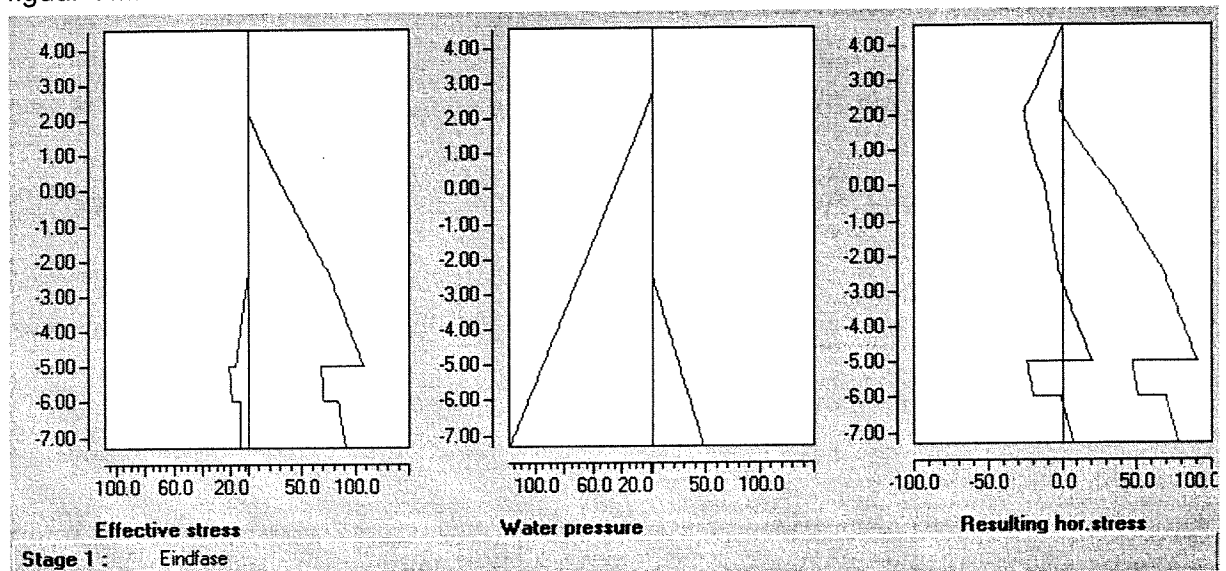
figuur VI: Damwand in maatgevende situatie

De schuifkrachten, momenten en verplaatsingen die er in de damwand optreden in deze situatie zijn weergegeven in figuur VII.



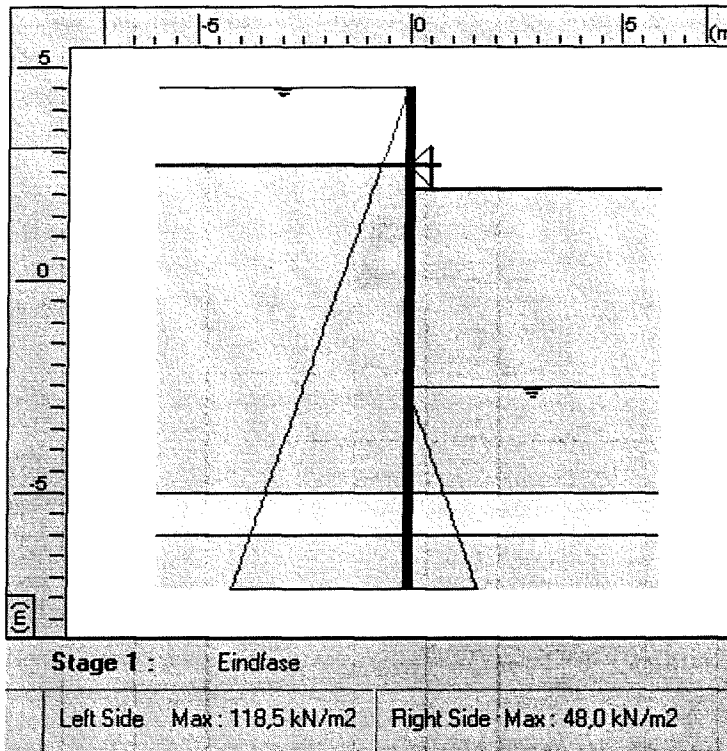
figuur VII: Schuifkrachten, buigmomenten en verplaatsingen in de damwand.

Verder werken op de damwand een effectieve horizontale spanning. In combinatie met de waterdrukken leidt dit tot een resulterende horizontale spanning. De effectieve spanning, waterdruk en resulterende horizontale spanningen die er dan optreden zijn weergegeven in figuur VIII.



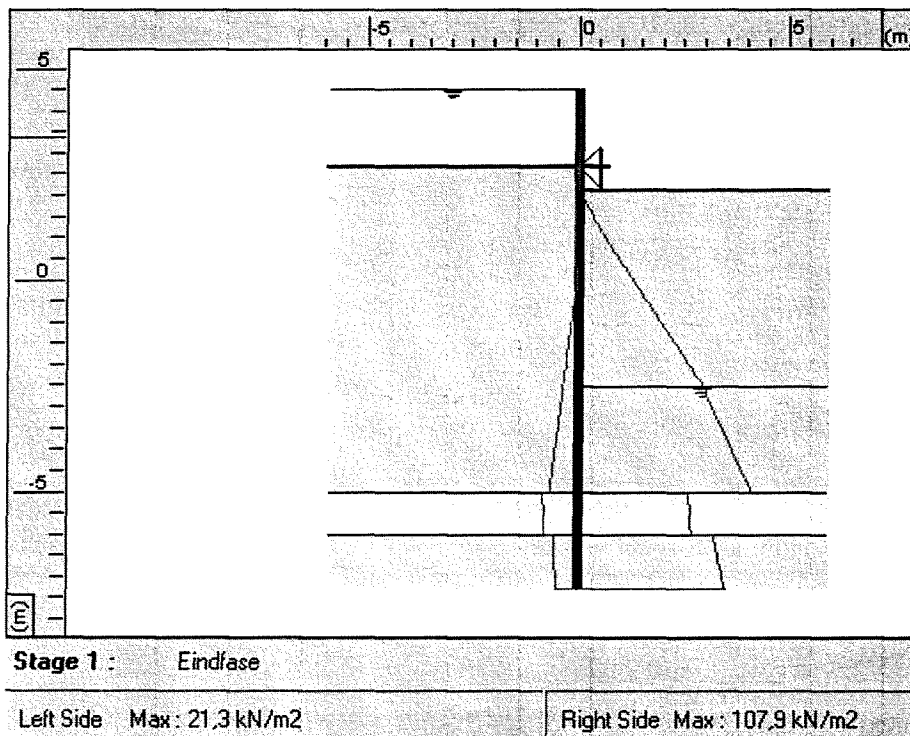
figuur VIII: Effectieve spanning, waterdruk en resulterende horizontale spanning in de damwand.

Er wordt rekening gehouden met een hydrostatisch drukverloop. Dit is niet helemaal juist, maar in dit model wordt die schematisatie verantwoord geacht. Zie figuur IX



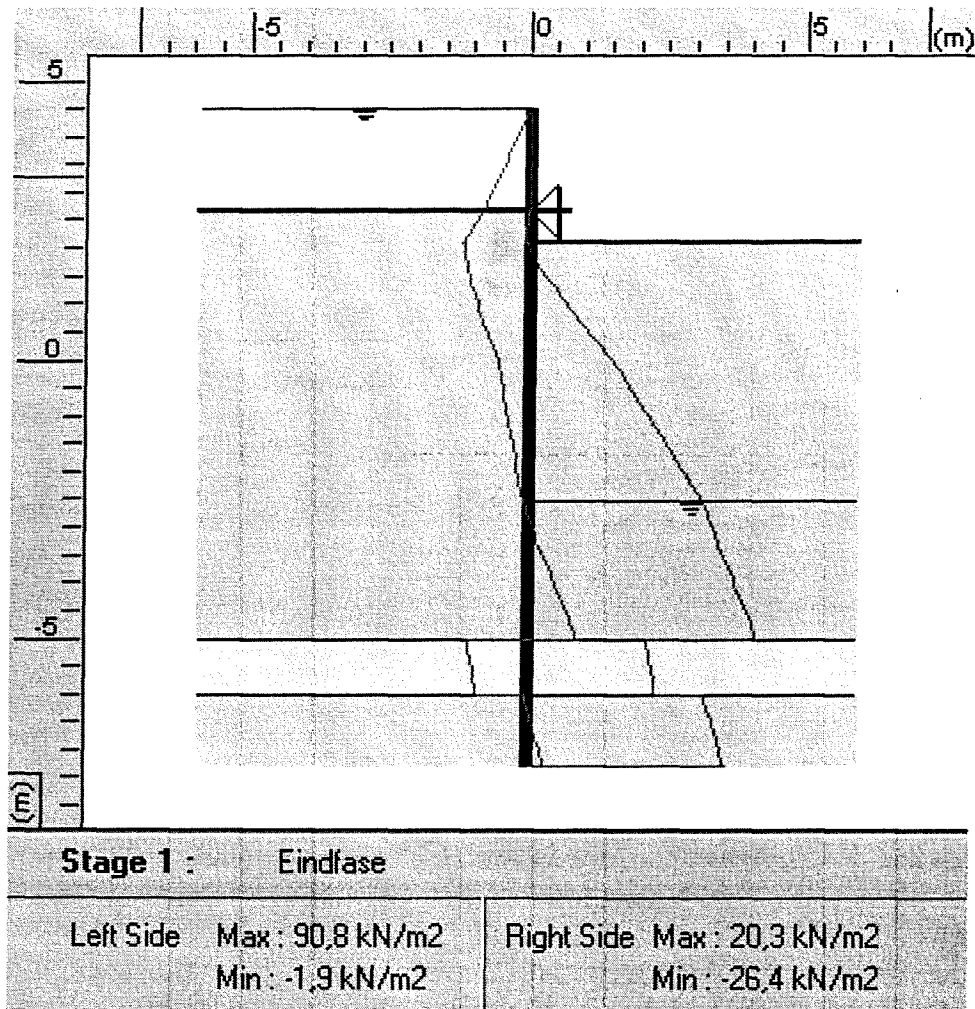
figuur IX: Waterdruk aan weerszijden van de damwand

Deze spanningen hebben een horizontale spanning tot gevolg. deze wordt weergegeven in Onderstaande figuur, figuur X



figuur X: Effectieve horizontale spanning

Al deze krachten, spanningen en drukken leiden tot resulterende spanningen op de linkerzijde en de rechterzijde van de damwand. Deze zijn weergegeven in figuur XI.



figuur XI: Resultierende spanningen op de damwand.

Program : MSHEET
 Version : 4.99.1
 Company : RWS DWW
 Problem identification : Damwandberekening Ammerstol

ECHO OF THE GENERAL INPUT DATA :

Number of curves on springcharacteristic: 1
 Unloading curve on springcharacteristic : No
 Number of construction stages : 1

Sheetpile properties :

 Length : 11.85 [m]
 Level topside : 4.55 [m]
 Number section : 1

Section no	[m] From-To	Stiffness EI [kNm ² /m ²]	Act.width [m]
1	4.55 - -7.30	3.862E+0004	1.00

Soillayer properties : Zand

Volumetric weight dry :	17.00 [kN/m ³]	Ka	:	0.33
wet :	20.00 [kN/m ³]	Ko	:	0.50
Cohesion :	0.00 [kN/m ²]	Kp	:	3.00
Shaftfriction delta :	20.00 [degrees]			
Phi :	30.00 [degrees]			
Mod.subgrade reaction : Nr		Top		Bottom
[kN/m ³]	K[1]	10000.00		10000.00

Soillayer properties : Klei Gorkum

Volumetric weight dry :	17.70 [kN/m ³]	Ka	:	0.43
wet :	17.70 [kN/m ³]	Ko	:	0.60
Cohesion :	6.40 [kN/m ²]	Kp	:	2.33
Shaftfriction delta :	16.00 [degrees]			
Phi :	23.50 [degrees]			
Mod.subgrade reaction : Nr		Top		Bottom
[kN/m ³]	K[1]	2000.00		2000.00

Soillayer properties : Veen

Volumetric weight dry :	10.40 [kN/m ³]	Ka	:	0.39
wet :	10.40 [kN/m ³]	Ko	:	0.56
Cohesion :	9.60 [kN/m ²]	Kp	:	2.55
Shaftfriction delta :	18.00 [degrees]			
Phi :	25.90 [degrees]			
Mod.subgrade reaction : Nr		Top		Bottom
[kN/m ³]	K[1]	500.00		500.00

Soillayer properties : Klei Tiel

Volumetric weight dry :	13.90 [kN/m ³]	Ka	:	0.44
wet :	13.90 [kN/m ³]	Ko	:	0.61
Cohesion :	11.50 [kN/m ²]	Kp	:	2.29
Shaftfriction delta :	16.00 [degrees]			
Phi :	23.10 [degrees]			
Mod.subgrade reaction : Nr		Top		Bottom
[kN/m ³]	K[1]	800.00		800.00

=====
 The input data has been checked and is valid.
 =====

*** C O N S T R U C T I O N P H A S E 1 : Output for all nodes !

Echo of the input data for stage 1

Surface LEFT : (Surface no. 2) Surface RIGHT : (Surface no. 1)

Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level	Point no.	X-coordinate [m] from PILE	Y-coordinate [m] from level
1	0.00	2.70	1	0.00	2.10

Water Level Left / Right : 4.55 / -2.50 [m]

Soil properties LEFT : (Soil profile Links)

Layer no	Soillayer Name	Level topside soillayer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	Klei Gorkum	2.70	0.00	0.00
2	Veen	-5.00	0.00	0.00
3	Klei Tiel	-6.00	0.00	0.00
4	Zand	-9.00	0.00	0.00

Soil properties RIGHT: (Soil profile Rechts)

Layer no	Soillayer Name	Level topside soillayer [m]	Wosp-T [kN/m2]	Wosp-B [kN/m2]
1	Klei Gorkum	2.10	0.00	0.00
2	Veen	-5.00	0.00	0.00
3	Klei Tiel	-6.00	0.00	0.00
4	Zand	-9.00	0.00	0.00

Used method on the LEFT-side of the sheetpile : lambda
 Used method on the RIGHT-side of the sheetpile : lambda

Rigid support 1 on 2.70 [m] to Level
 Prevention of Rotation & Translation

Results of the calculation of stage 1

Number of iteration : 3

Nd no	Level m	Displ mm	Moment kNm/m"	ShearF kN/m"	Ef.Str kN/m2	Stat %	Ef.Str kN/m2	Stat %	WatStL kN/m2	WatStr kN/m2
1	4.55	0.2	0.0	-0.0	0.00		0.00		0.00	0.00
2	4.09	0.1	-0.2	-1.1	0.00		0.00		4.62	0.00
2	4.09	0.1	-0.2	-1.1	0.00		0.00		4.62	0.00
3	3.63	0.1	-1.3	-4.3	0.00		0.00		9.25	0.00
3	3.63	0.1	-1.3	-4.3	0.00		0.00		9.25	0.00
4	3.16	0.0	-4.5	-9.6	0.00		0.00		13.87	0.00
4	3.16	0.0	-4.5	-9.6	0.00		0.00		13.87	0.00
5	2.70	-0.0	-10.6	-17.1	0.00		0.00		18.50	0.00
5	2.70	-0.0	-109.7	67.4	0.00		0.00		18.50	0.00
6	2.40	0.1	-90.3	61.3	1.15		0.00		21.50	0.00
6	2.40	0.1	-90.3	61.3	1.15		0.00		21.50	0.00
7	2.10	0.5	-73.0	53.9	1.87		0.00		24.50	0.00
7	2.10	0.5	-73.0	53.9	1.87		0.90	5	24.50	0.00
8	1.53	1.5	-46.2	39.7	2.36		9.17	21	30.25	0.00
8	1.53	1.5	-46.2	39.7	2.36		9.17	21	30.25	0.00
9	0.95	3.0	-27.0	27.2	2.06		18.24	27	36.00	0.00
9	0.95	3.0	-27.0	27.2	2.06		18.24	27	36.00	0.00
10	0.38	4.7	-14.4	17.1	1.27		27.79	31	41.75	0.00
10	0.38	4.7	-14.4	17.1	1.27		27.79	31	41.75	0.00
11	-0.20	6.6	-6.8	9.7	1.21	A	37.58	33	47.50	0.00

11	-0.20	6.6	-6.8	9.7	1.21 A	37.58	33	47.50	0.00
12	-0.77	8.5	-2.9	4.0	3.11 A	47.50	34	53.25	0.00
12	-0.77	8.5	-2.9	4.0	3.11 A	47.50	34	53.25	0.00
13	-1.35	10.4	-2.0	-0.4	5.02 A	57.47	36	59.00	0.00
13	-1.35	10.4	-2.0	-0.4	5.02 A	57.47	36	59.00	0.00
14	-1.92	12.4	-3.2	-3.5	6.92 A	67.48	36	64.75	0.00
14	-1.92	12.4	-3.2	-3.5	6.92 A	67.48	36	64.75	0.00
15	-2.50	14.3	-5.8	-5.3	8.82 A	77.55	37	70.50	0.00
15	-2.50	14.3	-5.8	-5.3	8.82 A	77.55	37	70.50	0.00
16	-3.00	16.1	-8.4	-5.1	10.48 A	83.38	38	75.50	5.00
16	-3.00	16.1	-8.4	-5.1	10.48 A	83.38	38	75.50	5.00
17	-3.50	17.9	-10.5	-2.8	12.13 A	89.32	39	80.50	10.00
17	-3.50	17.9	-10.5	-2.8	12.13 A	89.32	39	80.50	10.00
18	-4.00	19.8	-10.9	1.6	13.79 A	95.39	40	85.50	15.00
18	-4.00	19.8	-10.9	1.6	13.79 A	95.39	40	85.50	15.00
19	-4.50	21.8	-8.5	8.3	15.45 A	101.60	41	90.50	20.00
19	-4.50	21.8	-8.5	8.3	15.45 A	101.60	41	90.50	20.00
20	-5.00	23.8	-2.2	17.3	17.10 A	107.92	42	95.50	25.00
20	-5.00	23.8	-2.2	17.3	21.32	68.26	24	95.50	25.00
21	-5.50	25.8	3.5	6.0	20.42	69.38	24	100.50	30.00
21	-5.50	25.8	3.5	6.0	20.42	69.38	24	100.50	30.00
22	-6.00	27.8	3.9	-4.3	19.54	70.49	24	105.50	35.00
22	-6.00	27.8	3.9	-4.3	14.19	83.87	32	105.50	35.00
23	-6.43	29.5	2.1	-4.0	13.85	86.28	32	109.83	39.33
23	-6.43	29.5	2.1	-4.0	13.85	86.28	32	109.83	39.33
24	-6.87	31.2	0.6	-2.6	13.52	88.67	32	114.17	43.67
24	-6.87	31.2	0.6	-2.6	13.52	88.67	32	114.17	43.67
25	-7.30	32.9	-0.0	-0.0	13.24 A	91.06	33	118.50	48.00

Maxima : 32.9 -109.7 67.4

Support reaction

Node	Level [m]	Force [kN/m"]	Moment [kNm/m"]
5	2.70	-84.55	-99.13

Horizontal soilpressure on the sheetpile [kN/m"] :
 Left Right

Effective :	86.88	589.24
Water :	702.11	115.20
Total :	789.00	704.44

Considered as passive side : Right
 Maximale passive effective resistance : 1746.95 [kNm/m"]
 Mobilized passive effective resistance : 589.24 [kNm/m"]
 Percentage mobilized resistance : 33.7 [%]

Position single support on : 2.70 [m]
 Maximale passive moment : -11288.58 [kNm/m"]
 Mobilized passive moment : -3784.43 [kNm/m"]
 Percentage mobilized moment : 33.5 [%]

Maxima of all construction fases:

Displacement :	32.9 [mm]
Moment :	-109.7 [kNm/m"]
Shear force :	67.4 [kN/m"]

END MSHEET FOR WINDOWS OUTPUTFILE