

# Waterkering Gorinchem oost

---

Het verminderen van de overstromingsrisico's ten oosten van Gorinchem door het verbeteren van de multifunctionele dijk

**Rick van Tilborg 4008936**

**10/16/2012**



# Voorwoord

Dit rapport is vervaardigd in het kader van het bachelor eindwerk, ter waarde van 10 EC studiepunten, voor de bacheloropleiding civiele techniek aan de TU Delft. Het rapport is gericht aan de opdrachtgever en geïnteresseerden, waarbij dan ook wordt verondersteld dat de lezer enige kennis van het vakgebied van de civiele techniek bezit.

Het rapport behelst een (technische) uitwerking van een ontwerp van de waterkering ten oosten van Gorinchem. Deze zal gebaseerd zijn op het eerder gemaakte masterplan. Het Conceptontwerp is vervaardigd aan de hand van de elementaire ontwerpcyclus bestaande uit de analyse, synthese, simulatie, evaluatie, beslissing en aanbeveling.

Mijn dank gaat uit naar Steven Oomen en Tom Butter, die mijn werk kritisch hebben beoordeeld om tot een beter rapport te komen. Ik bedank in het bijzonder mijn begeleider Mark Voorendt, die mij waar nodig nieuwe inzichten bracht vanuit zijn interesse aangaande multifunctionele waterkeringen. Daarnaast verschaftte hij mij delen van de benodigde literatuur om tot een gegrond rapport te komen. Ik dank ook Wilfred Molenaar die bij afwezigheid van Mark goede adviezen heeft gegeven.

Delft, 16 oktober 2012

Rick van Tilborg





# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Samenvatting</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Inleiding</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Analyse</b> .....	<b>10</b>
3.1 <i>Omgeving</i> .....	11
3.2 <i>Ondergrond</i> .....	15
3.3 <i>Waterstanden</i> .....	18
3.4 <i>Ontwerpmethoden</i> .....	21
3.5 <i>Archeologie</i> .....	24
<b>4. Systeemgrens</b> .....	<b>26</b>
<b>5. Programma van eisen</b> .....	<b>28</b>
5.1 <i>Eisen</i> .....	29
5.2 <i>Randvoorwaarden</i> .....	29
5.3 <i>Wensen</i> .....	30
<b>6. Referentieprojecten</b> .....	<b>32</b>
6.1 <i>Nijmegen</i> .....	32
6.2 <i>Dijkversterking BAS</i> .....	33
6.3 <i>Dijkdeuvels</i> .....	33
6.4 <i>Opvijzelen van bebouwing</i> .....	34
6.5 <i>Klimaatdijk</i> .....	35
<b>7. Synthese</b> .....	<b>36</b>
7.1 <i>Wijkconcept</i> .....	36
7.2 <i>Varianten</i> .....	38
<b>8. Simulatie</b> .....	<b>40</b>
8.1 <i>Toetsing aan het programma van eisen</i> .....	40
<b>9. Evaluatie</b> .....	<b>44</b>
<b>10. Aanbeveling</b> .....	<b>46</b>
<b>11. Bibliografie</b> .....	<b>48</b>
<b>12. Illustraties</b> .....	<b>50</b>
12.1 <i>Technisch rapport</i> .....	50
12.2 <i>Bijlagen</i> .....	50
<b>13. Bijlagen</b> .....	<b>52</b>



# 1. Samenvatting

Het zuidwestelijke deel van dijkkring 43 bestaat voornamelijk uit een dijk. Op deze dijk bevinden zich enkele huizen. In de derde toetsronde primaire waterkeringen is aangegeven dat de waterkering niet voldoet. Omdat het hier een zeer groot en divers dijktraject is, is ervoor gekozen een onderdeel te onderzoeken. Dit betreft een dijkelement tussen twee woningen. Na contact met het waterschap is gebleken dat het voornaamste probleem de beperkte hoogte van de dijk betreft. Het rapport geeft een aanbeveling voor een mogelijke oplossing.

Om tot een integrale oplossing te komen is er in de eerste plaats een masterplan voor een groter gebied opgesteld. Dit gebied loopt over een lengte van ongeveer 50 kilometer langs de noordoever van de Merwede. Hier is gekozen om ten oosten van Gorinchem een dijkverbetering toe te passen en waar mogelijk de dijk een multifunctioneel karakter te geven. Dit is na te lezen in het bijbehorende rapport 'Masterplan Gorinchem Oost'.

Na het masterplan is een volgende ontwerpronde gestart. De nieuwe probleemstelling hier is vergelijkbaar met die van het masterplan. Zowel door de stijging van de zeespiegel alsook vanwege de verhoogde afvoerpieken van de grote rivieren moeten de dijken langs deze rivieren hoger en stabiel worden. Dit is besloten aan de hand van de derde toetsronde primaire waterkeringen. De doelstelling is de dijk bij de Woelse Waard, waar zich aan beide kanten woningen bevinden, te verhogen om de overstromingsrisico's dusdanig te verminderen dat de dijk voldoet aan de eisen.

Hiertoe is het omliggende gebied uitgebreid geanalyseerd. Niet alleen is er grondonderzoek verricht en zijn de waterstanden onderzocht. Het gehele gebied rondom het stuk dijk is globaal ontworpen om te bezien welke functies lokaal kunnen bijdragen aan het creëren van multifunctionele meerwaarde voor de waterkering. Hieruit is gebleken dat voornamelijk een supermarkt en een hangplaats voor jongeren in de buurt gewenst is. Uit onderzoek naar de omgeving is gebleken dat grote delen van het gebied bestaan uit beschermde (natuur)gebieden.

Teneinde mogelijke oplossingen op soortgelijke plaatsen te bestuderen is onder andere gebruik gemaakt van referentieprojecten. Zo worden in Nijmegen opzetschotten gebruikt die als tijdelijke hoogwaterkering kunnen dienen. Een ander voorbeeld vormen de opgevijselde woningen in de Krimpenerwaard, die het mogelijk maken de dijken op te hogen, zijn hierbij bestudeerd. Naast de referentieprojecten is een inventarisatie gemaakt van wat er mogelijk is op het gebied ophogen en versterken van dijken.

Het gemaakte programma van eisen vormt een eerste indicatie om te kiezen welke gebrainstormde ideeën een redelijke kans van slagen hebben. Hieruit zijn vier varianten naar voren gekomen. De dubbele dijk - hier wordt een tweede dijk achter de huidige dijk aangelegd -, de kistdam op de dijk, de damwand in de dijk, en tenslotte het opvijselen van de woningen en het ophogen van de huidige dijk.

Aan de hand van berekeningen en een zorgvuldige toetsing aan het programma van eisen met is de variant met een damwand tot in de kleilaag in de dijk als beste beoordeeld. Deze variant zorgt voor de minste overlast voor zowel de bewoners als het doorgaande verkeer. Een ander belangrijk punt is dat uit de globale schatting van de kosten deze variant als goedkoopste naar voren is gekomen. De kosten worden geraamd op ongeveer twee ton.



## 2. Inleiding

Het dijktraject rondom Gorinchem voldoet niet aan de normen zoals deze vastgelegd zijn in de Waterwet. Deze wet schrijft een periodieke toetsronde voor. De laatste toetsronde beslaat de periode 2006-2011 en wordt de derde toetsronde genoemd. In opdracht van Rijkswaterstaat wordt in deze totaalrapportage een ontwerp gepresenteerd. Het eerste deel, het Masterplan gaat uit van het principe 'Meerlaagsveiligheid' (Kolen, 2012). Hierbij wordt uitgegaan van een drietal lagen om de overstromingsrisico's te minimaliseren:

- Voorkomen: In de eerste plaats zullen waterkeringen ons beschermen tegen hoog water
- Inrichten: Hierbij wordt er bij Ruimtelijke Ordening rekening gehouden met risicovolle functies.
- Beheersen: Als het dan toch mis gaat zullen de overheden, de gemeenten, een goed plan moeten hebben voor een snelle evacuatie

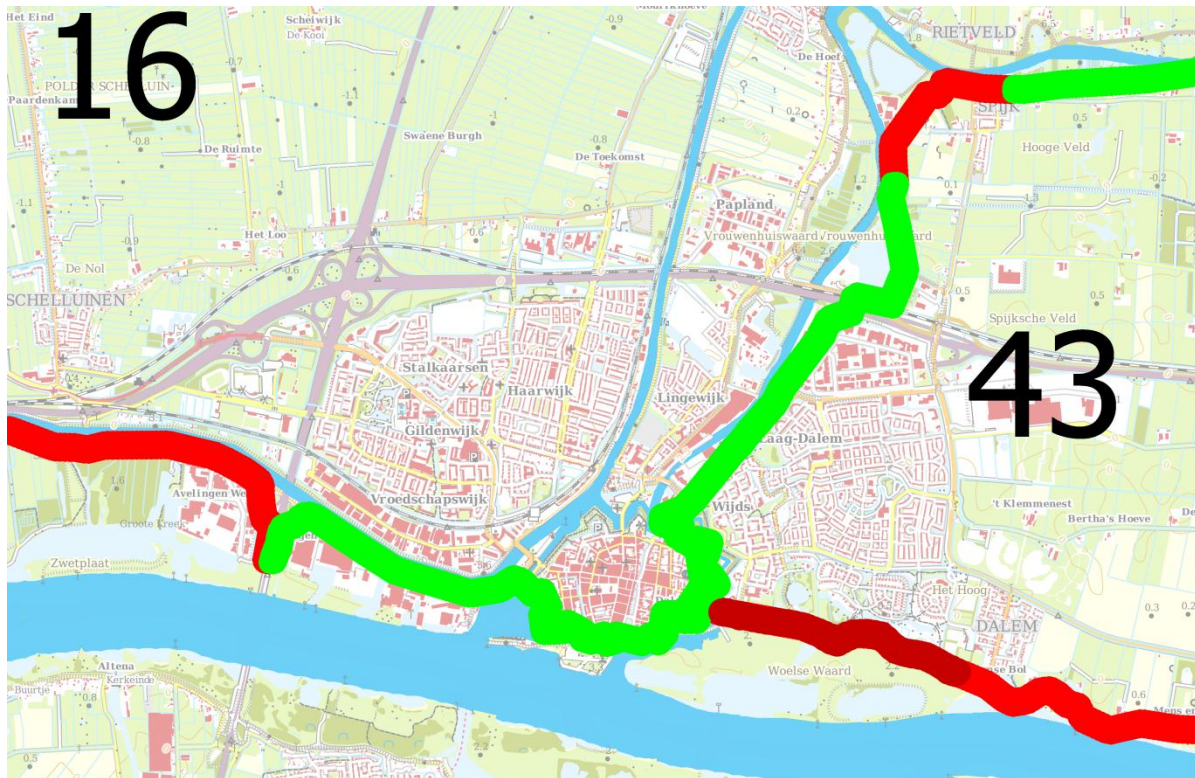
Dit technische rapport gaat uitsluitend in op de eerste laag, het voorkomen. Het gemaakte masterplan beschrijft de keuze tussen een drietal concepten die de waterkering rondom Gorinchem upgraden, zodat die voldoet aan de volgende toetsronde.

- Nevengeul: Een nevengeul laat overtollig water achter Boven-Hardinxveld stromen, hierbij is geen noodoverloopgebied nodig en kan volstaan worden met het versterken van.
- Efficiënt: Dit concept maakt gebruik van een noodoverloopgebied om de hoogwaterpieken af te vlakken. Hierdoor dienen de dijken niet zozeer versterkt te worden.
- Innovatief: Dit concept maakt geen gebruik van een noodoverloopgebied, hetgeen impliceert dat de dijken in grote mate verbeterd moeten worden. Multifunctionele dijken geven hieraan invulling.

Na een globale evaluatie, een multicriteria-analyse, en een toetsing aan het programma van eisen is aanbevolen te kiezen voor het Innovatieve concept. Deze keuze is niet alleen gebaseerd op de zwakheden van de andere concepten, maar ook op de sterke punten van het concept zelf. Voor een goede keuze is vervolgonderzoek noodzakelijk, voornamelijk naar de kosten van het project. In dit rapport wordt ingegaan op de technische aspecten van een deel van het ontwerp uit het masterplan. De uitdaging is voornamelijk gelegen in het positief tot uiting laten komen van zwakke punten van het concept, zonder de gestelde eisen te laten varen. Hierbij moet gelet worden op de beleidslijnen (bijlage C) van Nederland. De zwakke punten betreffen het lastige onderhoud van een multifunctionele waterkering en de overlast voor de flora, fauna en bewoners, vanwege de langdurige bouw.

## Dijktraject

Dit rapport zal uitsluitend ingaan op het zuidwestelijke gedeelte van dijkkring 43. Deze dijkkring beschermt onder andere het oostelijk deel van Gorinchem. Hier bevindt zich de nieuwe woonwijk Laag Dalem met een aantal uitbreidingen. Op de onderstaande afbeelding is in donkerrood aangegeven welk stuk waterkering verbeterd wordt. Het betreft hier een stuk van de waterkering dat niet voldoet, aangegeven in rood op de onderstaande afbeelding.



**Figuur 2-1** Af- en goedgekeurde delen van de dijkkringen rondom Gorinchem uit de derde toetsronde primaire waterkeringen.

## Probleemstelling

De huidige waterkering, op de beschreven locatie, voldoet niet aan de gestelde veiligheidseisen en zal dus verbeterd moeten worden. De uitdaging binnen het gebied ligt in het feit dat er rondom en tegen deze keringen enige bebouwing en natuurgebieden gelegen zijn. Dit rapport gaat na in hoeverre een multifunctionele dijk hier verbeterd kan worden en of er extra functies toegevoegd kunnen worden. Voor een goede basis wordt uitgewerkt wat een multifunctionele waterkering precies in kan houden; zie hiervoor bijlage B. Een analyse naar de vraag en de haalbaarheid speelt hierin een belangrijke rol. De doelstelling is dan ook:

*'Het verminderen van de overstromingsrisico's ten oosten van Gorinchem door het verbeteren van de multifunctionele dijk.'*

Het gebied is in technisch opzicht zeer divers. Hierdoor wordt het buiten proportioneel veel werk om alle dijktypes uit te werken. De technische uitwerking in dit rapport spits zich toe op één type dijk in dit gebied. Het type dijk dat hier wordt uitgewerkt ligt aan de Woelse Waard en heeft aan beide zijden van de dijk bebouwing.

### 3. Analyse

De grotere afvoerpieken van de Rijn hebben hogere maximale waterstanden tot gevolg voor de Merwede (zie bijlage A voor plaatsing in het rivierenlandschap). Deze waterstanden zorgen gedurende korte perioden in het jaar voor de dreiging van overstromingen.

Doordat de verwachte waterstanden hoger zijn dan waarop de dijken zijn berekend, zijn de ze afgekeurd tijdens de derde toetsronde voor primaire waterkeringen. De huidige kering is een zwak punt van dijkkring 43.

Het gebied heeft ook sterke punten. Zo is het een prachtig beschermd dorpsgezicht dat onder andere een oude sluis en molens bevat.

Deze dreiging, zwakheden en sterke punten bieden de mogelijkheid een oplossing te vinden waarin ook de aanwezige sterke punten van het gebied verwerkt zitten. Ook kunnen de genoemde stakeholders uit het masterplan vroeg in het ontwerpstadium gevraagd worden mee te denken.

In de analyse wordt ingegaan op de beschreven onderdelen in een aantal verschillende paragrafen, zoals bodemopbouw en archeologie. Hiermee wordt vervolgens een Programma van eisen opgesteld.



### 3.1 Omgeving

De omgeving waarin de waterkering wordt ontworpen is zeer divers. Naast oude dijkwoningen zijn er de laatste jaren ook luxe dijkvilla's gebouwd. Deze woningen hebben een prachtig uitzicht op de uiterwaarden en de Merwede. Deze woningen en de Aanliggende dorpen zoals Dalem moeten nu en in de toekomst bereikbaar blijven.



**Figuur 3-1** Een van de grote nieuwbouwwilla's aan de dijk.

#### Infrastructuur

Vanaf het centrum van Gorinchem ligt een provinciale weg naar Dalem. Hier maken echter uitsluitend bestemmingsverkeer, fietsers en wandelaars gebruik van. Op de bovenstaande afbeelding is te zien hoe de huidige weg erbij ligt, zeer smal en met een zachte berm. Het weinige autoverkeer dat er rijdt, raast daar met hoge snelheid over de dijk, waardoor gevaarlijke situaties ontstaan. Het doorgaande verkeer en het openbaar vervoer maken voornamelijk gebruik van de noordelijk gelegen van Andel-Spruytlaan. Deze weg is rechter en breder en daardoor meer geliefd bij de gebruikers. Op of rondom de dijk is een enkele baan met passeermogelijkheden en een apart fiets- en voetpad gewenst.

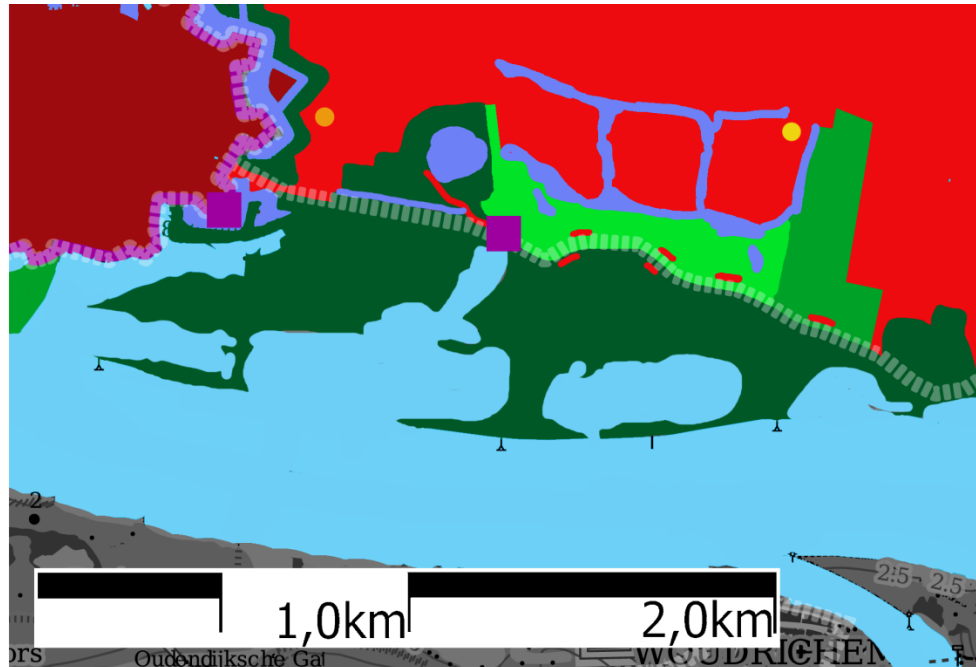


### Functiegebieden

In het masterplan is een globaal beeld gegeven van de functies in het gebied. Voor een beter beeld van de omgeving wordt een meer gedetailleerd kaart met functies gemaakt. Op de onderstaande afbeelding zijn de verschillende functies weergegeven. Hiermee wordt bepaald welke functies op en rondom de waterkering aanwezig zijn.

### Legenda

	Buitendijks water
	Binnendijks water
	Landbouw grond
	Recreatie
	Natuur
	Woningen
	Binnenstad
	(basis) School
	Horeca
	Cultureel erfgoed



**Figuur 3-2** Functiegebieden binnen het ontwerpgebied.

### Woningen

De woningen bestaan voornamelijk uit eengezinswoningen (rij- en twee-onder-éénkapwoningen). Binnen Gorinchem wordt er gebouwd volgens het doelgroepenbeleid. Naast een kwantitatief tekort, verschilt het aanbod ook van de vraag, kwalitatief. Laag Dalem is een rijke wijk met grote woningen. Om uitbreiding te laten slagen is een aansluitend woonmilieu gewenst.

### Voorzieningen

In het gebied zijn enkele (basis)scholen aanwezig, waarvan één dicht bij het ontwerpgebied, Merwedonk genaamd. Deze school is flexibel en multifunctioneel gebouwd. Dat wil zeggen dat de functie naar vraag kan worden ingevuld (peuterspeelzaal, naschoolse opvang, onderwijs en zelfs een cultuurcentrum). Hierdoor is het een vrij groot gebouw. Een groeiend probleem in deze wijk is dat de voorzieningen voornamelijk gericht zijn op (jonge) kinderen en niet op jongeren. Hierdoor worden de speeltuinen ingenomen door jongeren. In de gemeentelijke structuurvisie staat hierover:

*'Ouder dan 12 [jaar red.] gaan zelfstandig, afstand speelt niet meer zo'n grote rol (wijk of gemeentelijk niveau) afmeting 3.000 m<sup>2</sup>.' [23]*

In de praktijk lijkt dit echter niet zo te werken. De jongeren spreken niet ver uit de buurt af, vaak een centrale plaats binnen de groep. Een speeltuin in de buurt is aantrekkelijker dan een skatepark een paar kilometer verderop. Een voorziening gericht op jongeren is in deze wijk gewenst, zodat de keuze voor de speeltuin niet meer gemaakt wordt. Verder zijn er in de wijk Laag Dalem een huisarts, apotheek en tandarts aanwezig.

### *Detailhandel*

Opvallend is dat binnen het ontwerpgebied geen detailhandel te vinden is. De dichtstbijzijnde supermarkt ligt in het meest noordelijke puntje van de wijk. Voor overige behoeften moeten de bewoners naar het centrum van Gorinchem. In de hele wijk is slechts één horecazaak, een snackbar in het westen. Wanneer de wijk veel uitbreidt zijn winkels en horeca wenselijk.

### **Natuur en Recreatie**

Tot slot bestaan grote delen van het gebied uit natuur en recreatie. Het recreatiegebied bestaat uit een aanlegkade voor het veer van Gorinchem in het westen liggen de velden van voetbalvereniging de 'Gorkumse Jonge Spartanen'. Gorinchem streeft ernaar een groene gemeente te worden. In de structuurvisie wordt dan ook nadrukkelijk gemeld dat het stedelijk groen moet worden uitgebreid tot 32m<sup>2</sup> per inwoner. De flora en fauna worden in Nederland door verschillende beleidskaders beschermd. Ten eerste is er de flora- en faunawet. Het doel van deze wet is naast het beschermen van beschermde diersoorten het creëren van rust voor andere planten en dieren. Handelingen die de dieren en planten in gevaar brengen worden hierdoor verboden. Soorten kunnen daarnaast op de rode lijst staan, daarvoor gelden bijzondere regels.

Een tweede aspect vormen de vogel- en habitatsrichtlijnen. De hierin genoemde gebieden komen niet voor in het beoogde ontwerpgebied. Tot slot is er de Ecologische Hoofdstructuur. Dit is een netwerk van natuurgebieden, samengesteld door de provincie, om een goede biodiversiteit te laten bestaan.

In de bestemmingsplannen staan geen bedreigde dier- of plantensoorten vermeld. Ook is er geen sprake van de Ecologische Hoofdstructuur in het ontwerpgebied. Wel ligt deze structuur naast het ontwerpgebied. Samen met de nieuwe norm voor stedelijk groen geeft dit een goede reden om een groene waterkering te ontwerpen. Om het voorkomen van bedreigde soorten uit te sluiten wordt echter aangeraden, ter voorkoming van langdurige procedures, het gebied te onderzoeken.

De Nederlandse regelgeving verplicht daarvoor het PlanMER, dit is een milieueffectenrapportage. Dit plan is ontwikkeld om te zorgen dat het belang van het milieu volledig wordt meegenomen in het ontwerp. Wanneer er negatieve gevolgen zijn door de ingrepen op de Natura 2000 (EU beleid) richtlijnen is men verplicht een MER op te stellen.

### Zichtlijnen

Het gezicht vanaf de Merwede richting Gorinchem is beschermd en mag dus niet aangetast worden. Dit beschermde gebied loopt door tot aan het uiterste puntje van de vestingmuren, vlakbij de Dalemsluis. Op de onderstaande foto's is een impressie van dit aanzicht te zien.



**Figuur 3-3** De Dalemsluis rechts en het beschermd dorpsaanzicht met de molen links.

De bebouwing achter de dijk heeft totaal geen verbinding met het rivierlandschap aldaar. Het is een zeer op zichzelf staand gebied met veel water en natuur. De lintbebouwing op de dijk ligt er daardoor een beetje verlaten bij, maar heeft wel een prachtig uitzicht op de Merwede. Zie onderstaande afbeeldingen voor een impressie.



**Figuur 3-4** De natuur in de wijk Laag Dalem achter de dijk links en het uitzicht op de uiterwaarde van de Merwede vanaf de dijk recht.

Het is wenselijk dat de achterliggende woonwijk meer bij het rivierlandschap wordt betrokken en dat de lintbebouwing, die soms zelfs zeer verouderd is, er niet meer zo verlaten bij ligt.

### 3.2 Ondergrond

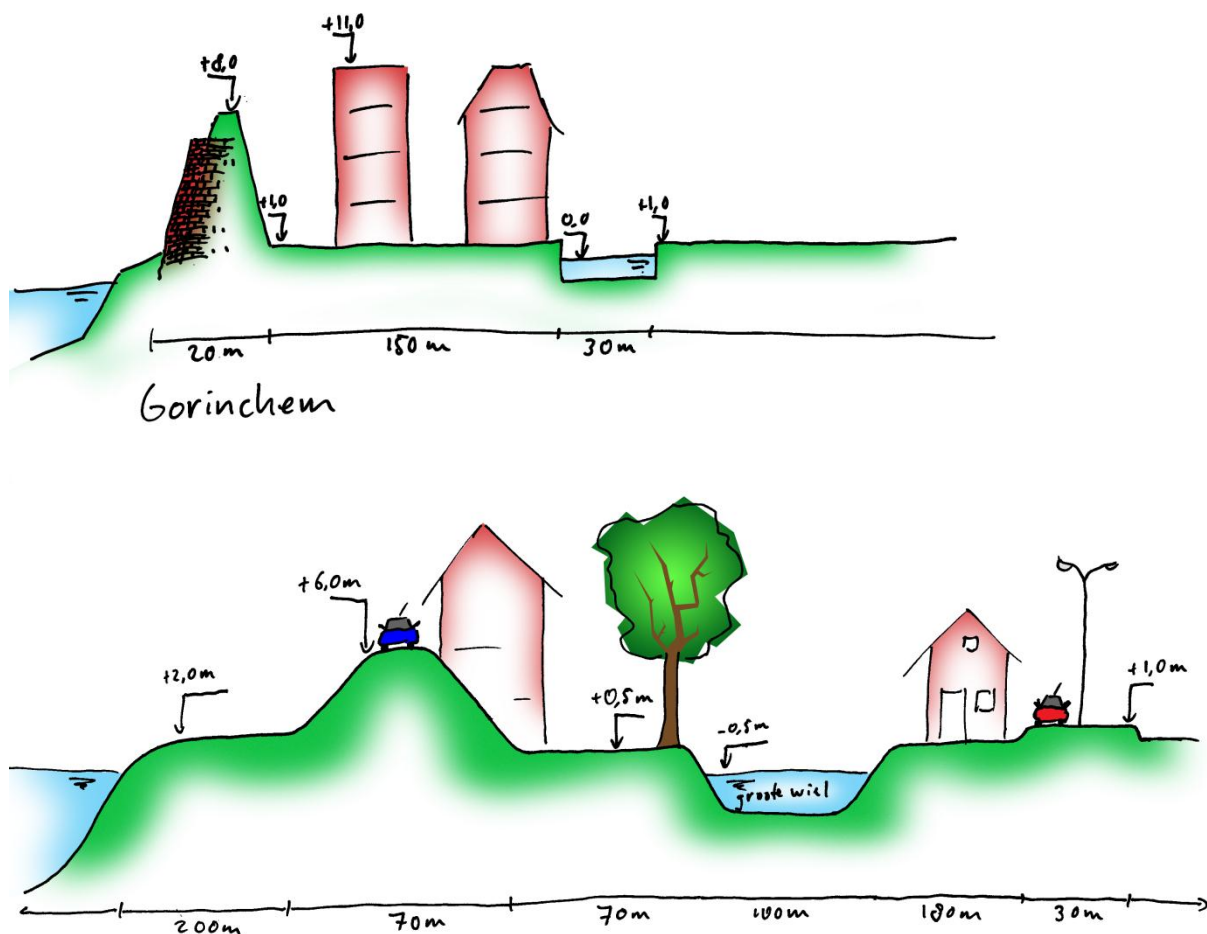
De ondergrond in het ontwerpgebied is zeer divers en is opgebouwd door eeuwen van rivierafzettingen en overstromingen. Hierover is meer te lezen in de paragraaf 'Archeologie'. Wanneer een globale indeling wordt gemaakt van de belangrijkste grondlagen overheerst binnen het ontwerpgebied zandig rivierklei op korte diepte, met fijn zand op zeer grote diepte.

Daarnaast is het voor ontwerpen van belang wat de globale hoogtes zijn van het gebied. Hoogteverschillen vormen vaak een barrière, maar kunnen ook een interessante draai geven aan een ontwerp.

#### Landhoogte

De waterkering in het ontwerpgebied bestaat voor het overgrote deel uit een rivierdijk van NAP +6,0m. In de dijk bevindt zich een oude, monumentale sluis, de Dalemsluis. De waterkeringen voldoen niet aan de criteria van de derde toetsronde. De uiterwaarden liggen tussen de +2,0m en +3,0m NAP. ([www.ahn.nl/viewer](http://www.ahn.nl/viewer), 18 sept 2012)

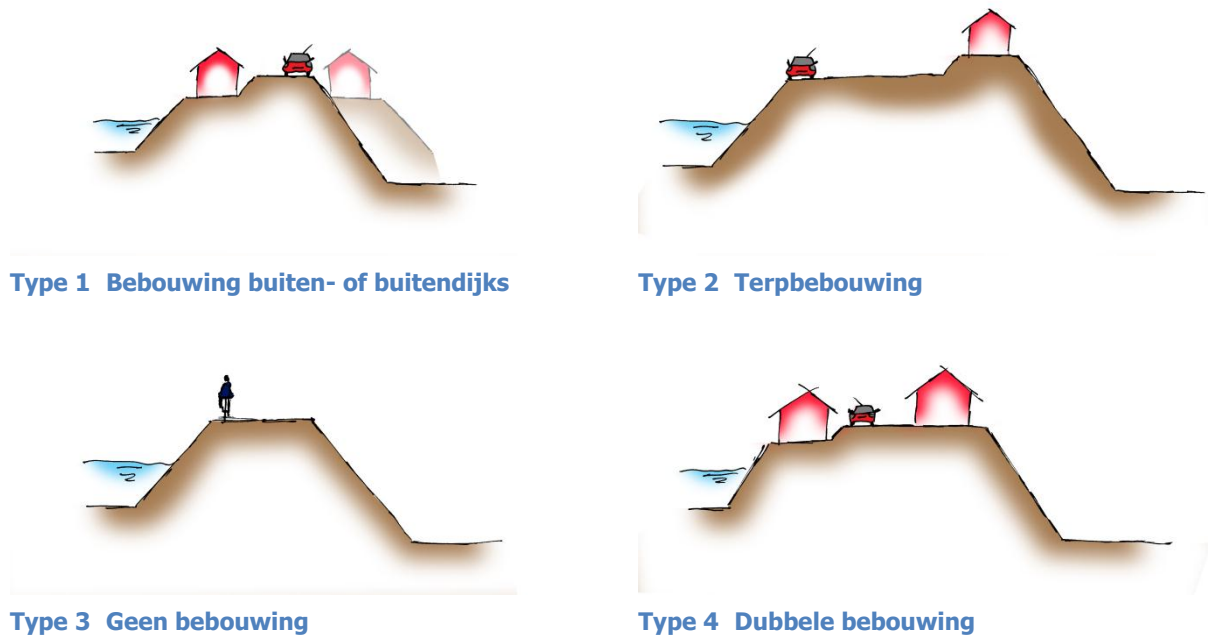
Op de onderstaande doorsneden staan de hoogten overzichtelijk weergegeven. Het is belangrijk te weten dat de horizontale en verticale schaal niet aan elkaar gelijk zijn. Het geeft slechts een indicatie van waar de verschillende hoogten te vinden zijn.



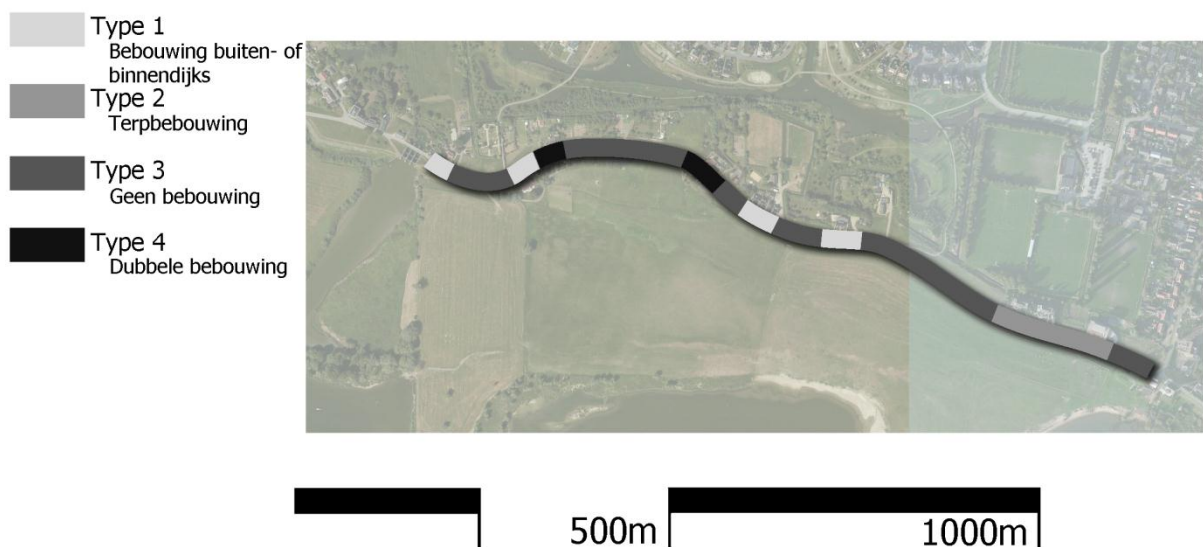
Figuur 3-5 Schetsdoorsnede van de kering bij Gorinchem(boven) en het Grootte Wiel(direct boven).

### Dijktypes

Binnen het gebied is uitgezocht welke dijktypes er te vinden zijn. Na een onderzoek naar de soorten dijken is gebleken dat dit vier verschillende types zijn. Op de onderstaande afbeelding is te zien waar deze dijktypes zich bevinden en hoe ze er schematisch uitzien. Ook in deze afbeelding van de dijkdoorsnedes geldt dat de horizontale schaal verschilt van de verticale schaal. In werkelijkheid zijn de taluds van de dijken minder flauw.



### Legenda



Figuur 3-6 De vier dijktypes binnen de systeemgrens.



**Bodemopbouw**

Voor de sonderingen is gebruik gemaakt van de gegevens van DINO-loket (18 september 2012). In het ontwerpgebied zijn slechts twee sonderingen beschikbaar, die zijn aangegeven op de onderstaande afbeelding. In de ontwerpfase wordt gebruik gemaakt van deze twee boringen. Meer, gerichte boringen zijn noodzakelijk in vervolgfases van het ontwerpproces.

**Legenda**

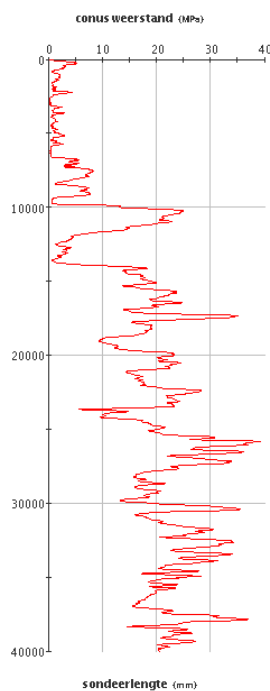
 Sondering



**Figuur 3-7** De twee sonderingen in het ontwerpgebied.

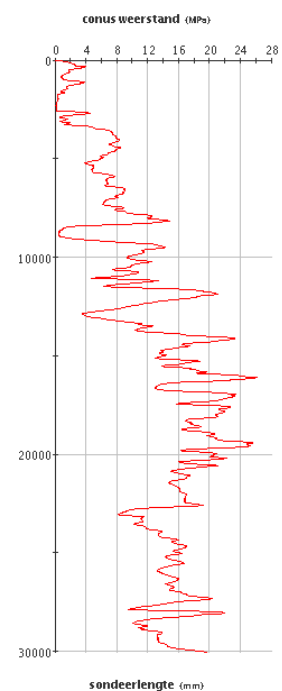
*Westelijke Sondering (Direct rechts)*

In deze sondering is duidelijk te zien dat er tot 10m onder het maaiveld rivierklei te vinden is. Daarna volgt een sterke zandlaag, gevolgd door een veenlaag van 2m. Daarna volgen verschillende zandlagen tot op een diepte van 40m, waar de boring stopt.



*Oostelijke Sondering (rechts)*

In deze sondering is de kleilaag minder dik, op 4m onder maaiveld begint, tot een diepte van ongeveer 8m een zandige kleigrond. Daarna volgt een venige laag van één meter. Vervolgens wisselen ook hier verschillende zandgronden tot een diepte van 30m.



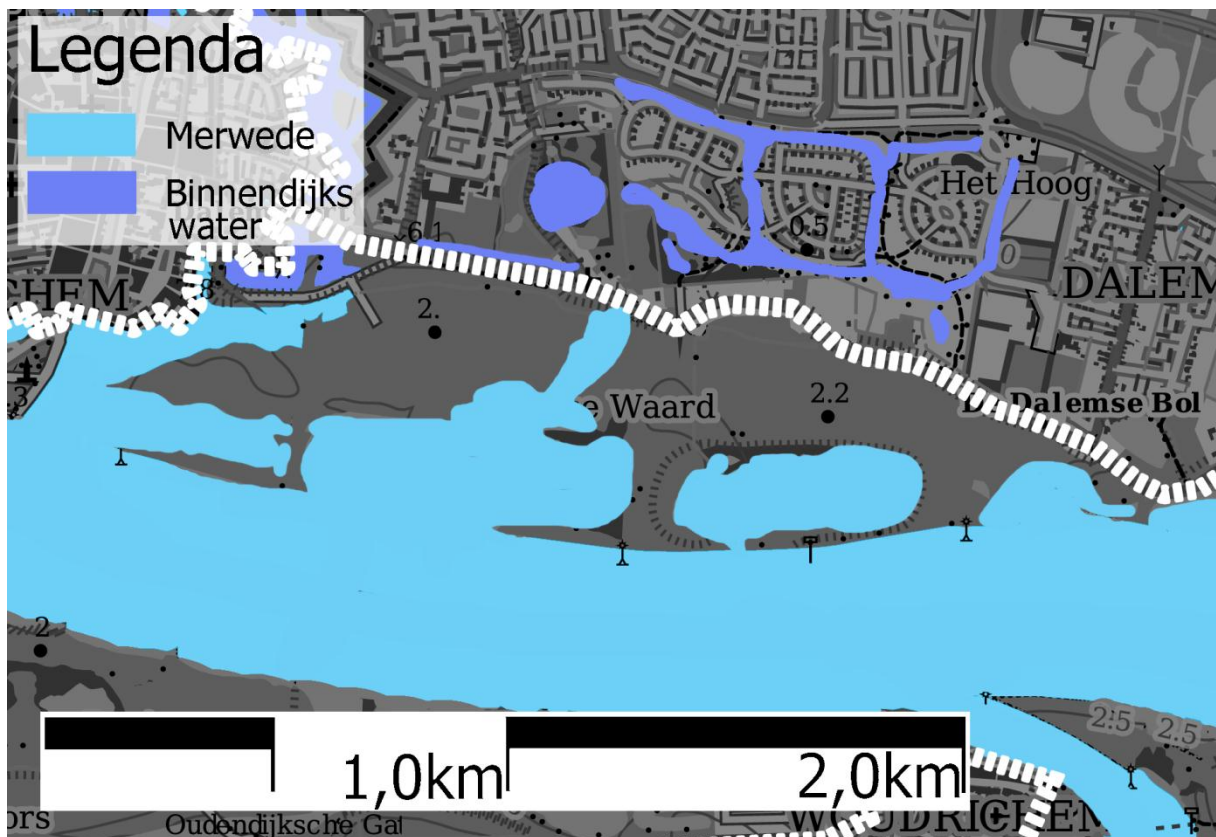
### 3.3 Waterstanden

Voor het ontwerpen van een volwaardige waterkering wordt onderzocht wat de waterstanden zijn. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen oppervlakte- en grondwater. Het oppervlaktewater bestaat uit de rivier de Merwede en binnendijkse meren.

In het Masterplan Gorinchem is beschreven dat de ingrepen minimaal 100 jaar moeten voldoen. Het betreft hierdoor een ontwerp dat ver in de toekomst zijn taak nog moet volbrengen. Er heerst grote onzekerheid over de afvoerpieken van de Rijn vanuit Duitsland en de stijging van de zeespiegel. Om hier in ontwerpen zo goed mogelijk rekening mee te houden zijn vele modellen ontwikkeld. In dit rapport worden de ontwerpgegevens van het Waterschap gebruikt (Gorter, 2009).

#### Oppervlaktewater

Zoals beschreven bestaat het oppervlaktewater uit de rivier de Merwede en binnendijkse meertjes en sloten. Op de onderstaande afbeelding zijn de wateren te zien. De gegevens die worden gebruikt zijn afkomstig van Actueel Hoogtebestand Nederland (Waterschapshuis, 2007) en Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2006).



**Figuur 3-8** De rivier de Merwede en het binnendijks water.

### *Binnendijks*

Binnendijks oppervlaktewater bestaat uit een sloot vanaf het historisch centrum tot aan de Dalemsluis loopt en langs de huidige waterkering ligt. Ten Noorden van deze sloot ligt een plas, Grootte Wiel, die tevens een natuurgebied is. Deze plas is ontstaan na een dijkdoorbraak in de 16e eeuw (Barends, 2010). In deze tijd werden voor het eerst zomer en winterdijken toegepast, dit zorgde voor meer veiligheid, maar had grotere gevolgen als het mis ging. Bij een dergelijke doorbraak ontstaan diepe kolkgraten achter de dijk die 'wielen' genoemd worden. In dit geval is ervoor gekozen het kolkgrat binnendijks te laten. Naast een natuurgebied vormt deze plas ook een stuk Nederlandse cultuur.

Tot slot bevindt zich oppervlaktewater in de nieuwbouwwijk Laag Dalem. Dit water heeft in de eerste plaats een waterbergende functie. Wanneer het lange tijd nat weer is heeft het riool moeite al het water af te voeren (Gorinchem, 2012). Percentueel veel oppervlaktewater in de wijk bergt dan tijdelijk het 'schone' rioolwater afkomstig van de wegen en daken. Via stroomgootjes op de eigen grond wordt het water verplaatst, zonder dat het al te zeer verontreinigd raakt. Het doel hiervan is de lager gelegen gebieden binnendijks bij langdurige regenval (wateroverlast) droog te houden. Zie onderstaande foto voor een stroomgoot in de wijk Laag Dalem. Het waterpeil is overal gelijk en varieert afhankelijk van het weer (langdurig droog of nat) van NAP -1,0m tot NAP -0,5m.



**Figuur 3-9** Stroomgoot in de wijk Laag Dalem.

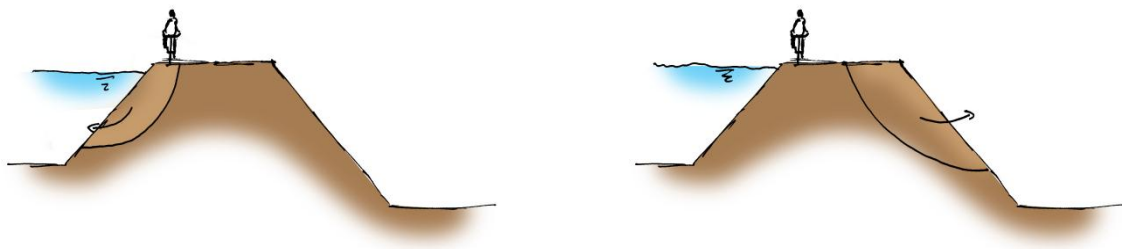
### *Merwede*

De Merwede vormt een deel van de directe afvoer van de Rijn vanaf Duitsland naar de Noordzee. Het rivierwater rondom Gorinchem staat in verbinding met de Noordzee. Hierdoor zijn (minimale) tijverschillen aanwezig, die kunnen oplopen tot een halve meter. Zoals vermeld in het Masterplan is het gemiddelde springtij NAP +1,3m. De gemiddelde Hoogwaterstand ligt op NAP +1,2m. Voor het ontwerpen is echter de Maatgevende Hoogwaterstand van belang (Gorter, 2009), deze bedraagt NAP +6,05m. (Rijkswaterstaat, 2006). Hierbij is uitgegaan van een overschrijdingsfrequentie van  $1/1.250$  per jaar, zoals staat beschreven in de Hydraulische eisen van het Masterplan.

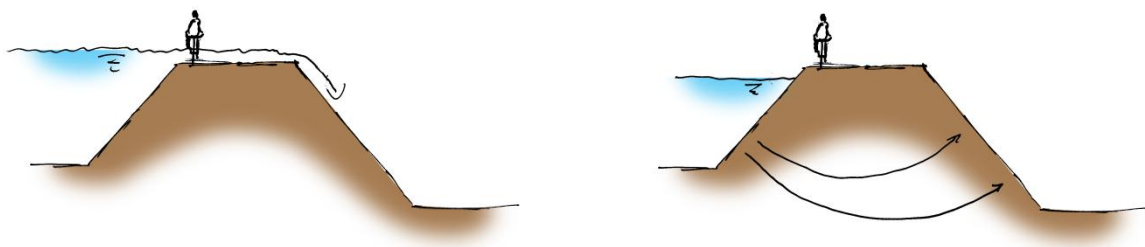


### Faalmechanismen

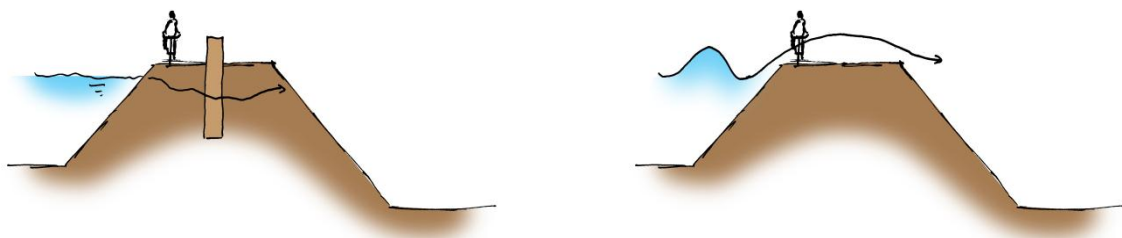
Iedere waterkering dient ervoor veiligheid van het achterland te waarborgen. Hiervoor moet weerstand worden geboden tegen alle krachten die op de kering werken. Te grote krachten, overbelasting, hebben bezwijken tot gevolg. De oorzaak van het falen van een dijk is meestal een te hoge waterstand, een waterstand waar de dijk in eerste instantie niet op is berekend. Andere mogelijkheden zijn calamiteiten (aanvaringen), slecht onderhoud, uitdroging (in het geheel afschuiven) of omvallen. Dit kan uiteindelijk tot overstromingen leiden. De onderstaande afbeeldingen laten een aantal veel voorkomende faalmechanismen zien.



**Figuur 3-10** Afschuiven van het binnen(rechts)- en buiten(links) talud.



**Figuur 3-11** Overlopen links en piping rechts.



**Figuur 3-12** Golfoverslag rechts en stroming langs of door coupure links.

De huidige waterkeringen zijn niet berekend op de hoge waterstanden die mogelijk zijn in de toekomst. Hierdoor zijn de dijklichamen niet alleen instabiel maar ook te laag. Als de dijk bezwijkt, heeft dit een mogelijke doorbraak van de dijk tot gevolg. Grote delen van het achterland stromen hierdoor onder. In het Waterbeheerplan (Gorter, 2009) wordt daarom beschreven dat de dijken hoog genoeg moeten zijn om al het water te keren, dit wordt beschreven in Robuust Ontwerpen. Een andere mogelijkheid is dat de waterkeringen zo stabiel zijn, dat ze zelfs bij een hoge waterstand, als een overlaat, blijven staan zonder dat de dijk breekt. Dit scheelt al snel een factor 10 tot 100 in het overslagdebiet (Maaskant, 2008). Daar komt nog bij dat een overstroming (bij doorbraak) grotere gevolgen heeft dan wateroverlast (bij overslag).

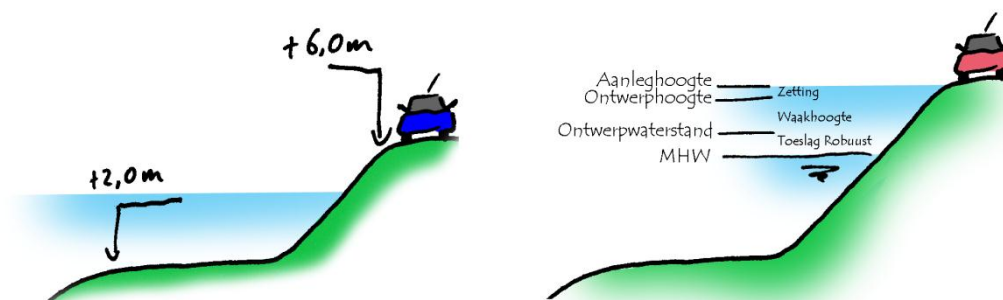
### 3.4 Ontwerpmethoden

Een tweetal ontwerpmethoden wordt hier behandeld. In de eerste plaats is er de mogelijkheid tot robuust ontwerpen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een extra robuustheidstoeslag voor de bepaling van de waterkerende hoogte. Daarnaast is het mogelijk adaptief te ontwerpen. Adaptief ontwerpen houdt in dat de waterkering relatief gemakkelijk verhoogd kan worden, als blijkt dat de daadwerkelijk voorspelde waterstand hoger uit valt dan in eerste instantie verwacht werd.

#### Robuust ontwerpen

De stijgende zeespiegel, de verhoogde afvoerpieken van de Rijn en de daling van de Nederlandse bodem hebben grote gevolgen voor de Nederlandse waterveiligheid. Deze veranderingen van het milieu zijn zeer onzeker en de daadwerkelijke waterstanden zijn in de verre toekomst moeilijk te voorspellen. De laatste jaren worden meer en meer rekenmodellen geïntroduceerd om de voorspelling accurater te maken. Deze modellen nemen de onzekerheid echter niet weg. In de Leidraad Rivieren is daarom een robuustheidstoeslag (Gorter, 2009) voor primaire waterkeringen opgenomen.

In de onderstaande afbeelding is aangegeven wat de aanleghoogte moet worden om nu en in de toekomst een waterveilig achterland te garanderen. De huidige dijkhoogte is NAP+6,0m.



**Figuur 3-13** Huidige waterkering links en de eisen voor de toekomstige kering rechts.

Volgens de huidige richtlijnen Robuust Ontwerpen moet de kering een hoogte ten opzichte van NAP hebben van ongeveer 7,0m. Afhankelijk van de zetting. In Formule 3.1 is te zien waar deze benodigde hoogte vandaan komt.

$$Aanleghoogte(NAP)[m] = 6,05 (MHW) + 0,3 (RB) + 0,5 (WH) + (Zetting)$$

(3.1)

MHW [m]	=	Maatgevende Hoogwaterstand
RB [m]	=	Toeslag voor Robuust Ontwerpen
WH [m]	=	Waakhoogte
Zetting [m]	=	Bijkomende hoogte afhankelijk van onder andere het gewicht van de kering

### Adaptief ontwerpen

De planperiode van de waterkering bedraagt 100 jaar. De onzekerheid over de maatgevende hoogwaterstand over 100 jaar is moeilijk te voorspellen. Uit ervaring van de laatste 30 jaar is gebleken dat door verbeterde modellen de waterkering erg vaak verbeterd moeten worden. Om nu en in de toekomst de waterveiligheid te kunnen garanderen moet er bij het ontwerp rekening gehouden worden met een 'goedkope en relatief simpele' mogelijkheid tot uitbreiden. Het Waterbeheerplan van Waterschap Rivierenland zegt hierover in het Waterbeheerplan 2010-2015 (Gorter, 2009) het volgende:

*'Een ontwerp moet in principe uitbreidbaar zijn. De maat voor de uitbreidbaarheid is, dat de toekomstige uitbreiding dezelfde orde van grootte heeft als de huidige dijkversterking. Hiervan wordt alleen afgeweken, als erg zwaarwegende argumenten een maatschappelijk niet verantwoord ontwerp geven, bijvoorbeeld als de kosten voor een uitbreidbaar ontwerp onevenredig hoog zijn in vergelijking met een niet uitbreidbaar ontwerp.'* [40]

De daadwerkelijk benodigde waterkerende hoogte die hiermee gepaard gaat is berekend middels de onderstaande formule. De formule is vergelijkbaar met formule 3.1. De Waterkerende hoogte komt in totaal op ongeveer 6,5m afhankelijk van de zetting. De adaptieve, toekomstige uitbreiding (TU), mogelijkheid moet dan een hoogte kunnen hebben van nog eens die orde grootte uitbreiding. De totale hoogte die na de mogelijke aanpassing in de toekomst gehaald moet worden is daarmee, afhankelijk van de zetting, dan ook rond de 7,0m boven NAP.

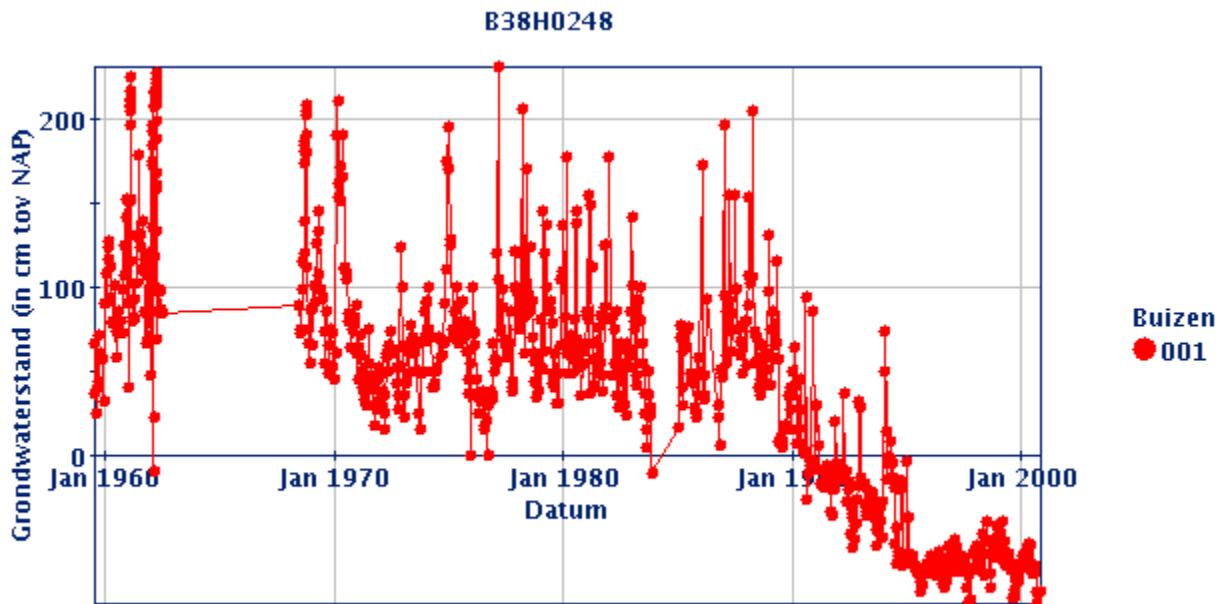
$$Aanleghoogte(NAP)[m] = 6,05 (MHW) + 0,5 (WH) + (6,05 + 0,5 - 6,0)(TU) + (Zetting)$$

(3.2)

MHW [m]	=	Maatgevende Hoogwaterstand
WH [m]	=	Waakhoogte
TU [m]	=	Toekomstige uitbreiding
Zetting [m]	=	Bijkomende hoogte afhankelijk van onder andere het gewicht van de kering

### Grondwater

Naast het oppervlaktewater is ook grondwater aanwezig binnen het projectgebied. Veelal wordt voor de grondwaterstand de waterstand van het oppervlaktewater aangehouden. Waar mogelijk worden gegevens van Dinoloket geraadpleegd, zie onderstaande afbeelding voor een voorbeeldmeting.



□ TNO-NITG 2004

**Figuur 3-14** Grondwaterstanden bij de kruising van de wegen 'Dalemse Zeiving' en de 'Waldijk'.

In de gegevens van Dinoloket (DINO, 2007) is duidelijk te zien dat de grondwaterstandbeheersing van 1995 voor een daling heeft gezorgd in de waterstand. Deze grondwaterstandsbeheersing is voornamelijk tot stand gekomen door de aanleg van extra open water in de nieuwe en bestaande woonwijken. De pieken en dalen liggen hier ook zeer dicht op elkaar. Het grondwaterpeil varieert van NAP -1,0m. tot NAP -0,5m. In het ontwerp van de waterkering zal plaats moeten zijn voor oppervlaktewater om het grondwaterpeil constant te houden.

### 3.5 Archeologie

Als één van de weinige gemeenten in de regio heeft de gemeente Gorinchem een archeologiebeleid geformuleerd (Gorinchem, 2012). Hierin wordt beschreven hoe er omgegaan moet worden met historische waarden. Daar horen ook gebieden bij waar de verwachting om iets te vinden zeer groot is. De Wet Ruimtelijke Ordening is hierin onmisbaar.

#### Voorgeschiedenis

Al meer dan 2000 jaar worden rivieringrepen gepleegd door de bewoners van de huidige Nederlandse gronden. Een van de vroegst beschreven ingrepen is geeist door de Romeinse veldheer Drusus, hij stuurde aan op het maken van een strekdam die de Rijn en de Waal splitste. De gemeente Gorinchem is een van de meest oostelijk gelegen historische havensteden van Zuid-Holland (Barends, 2010). Gorinchem wordt het eerst beschreven in 1224. In deze tijd werden veel nederzettingen gesticht langs rivieren. Deze gronden waren interessant om de volgende redenen:

- Vruchtbare grond: de perceelverdeling is hierdoor zeer onregelmatig en blokvormig.
- Hoge grond: Langs de rivieren ligt van nature hogere grond, hierdoor was het veilig en was kunstmatige waterhuishouding niet nodig.
- Rivier de Linge: Door een strategische ligging aan de rivieren werd de handelspositie versterkt.

Deze nederzettingen groeiden snel en al snel bleek dat er meer grond nodig was om uit te breiden. Hiervoor werden lagere gronden gebruikt. Omdat deze gronden eens in de zoveel jaar bleken te overstroomd werden er dijken aangelegd. Iedere nederzetting bouwde eigen dijken, in eerste instantie haaks en bovenstrooms. Doordat meerdere nederzettingen deze oplossing toepasten werden de rivieren vastgelegd. Bij hoog water bleek al snel dat een haakse kering onvoldoende was en werden ook parallel aan de rivier voor en achter de nederzetting dijken gebouwd.

In de loop van de jaren bleken ook deze dijkringen niet voldoende en was de inmenging van landheren nodig voor samenwerkingsprojecten (om de kleine dijkringen te verbinden). Voor het onderhoud van deze dijken ontstonden vervolgens de eerste waterschappen. De veiligheid werd hierdoor vergroot, maar de gevolgen bij een overstroming ook. In de 13<sup>e</sup> eeuw werden hoogheemraadschappen in het leven geroepen, die de aanleg van een zomer- en winterdijk brachten.

Soms brak er toch een dijk door, hier ontstonden dan wieden, zoals het Grootte Wiel in het ontwerpgebied. Een volgende oplossing werd het kunstmatig doorsteken van dijken op minder belangrijke plaatsen, dit was in de praktijk vaak een dijk zonder weg. Het water werd dan in de bestaande afwatering geleid (sloten).

In de Franse tijd werd vervolgens Rijkswaterstaat opgericht. In de 18<sup>e</sup> eeuw werd de waterverdeling bij Pannerden gebouwd. De procentuele verdeling van toen is nog steeds van kracht. In de jaren daarna werden de uiterwaarden steeds vaker stedelijk bebouwd en groeiden er soms bossen. In tijden van hoog water ontstonden er bij samenkomsten van rivieren, zoals bij Gorinchem, problemen, door onder andere ijsschotsen. In de 19<sup>e</sup> eeuw werden hierdoor vaak zijwaartse afstromen gegraven, zoals kanalen en de Nieuwe Merwede.

### Laag Dalem

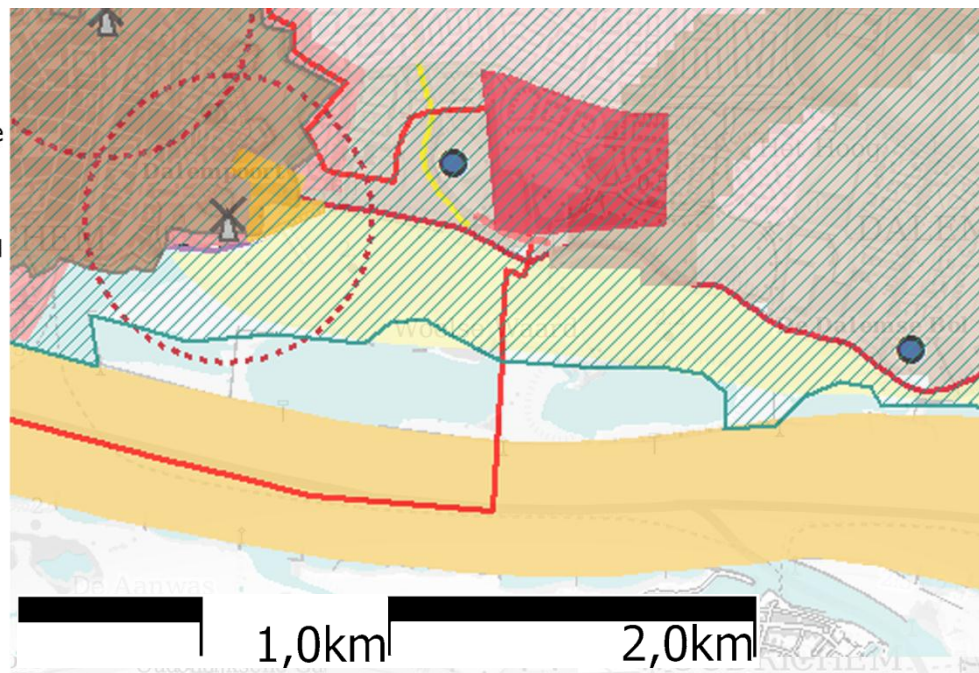
Het oosten van Gorinchem, Laag Dalem, ligt buiten de vestingmuren van de stad, hierdoor is dit gebied lange tijd onbebouwd gebleven. Tijdens de bouw van de nieuwbouwwijk is ontdekt dat hier oude hoge zandlagen, donken, zijn. Een donk is ontstaan in het Pleistocene tijdperk, waardoor er hierin oude attributen gevonden kunnen worden. In de onderstaande afbeelding zijn deze plaatsen met een rood vlak aangegeven.

### Nieuw Hollandse Waterlinie

Deze waterlinie is een verdedigingssysteem uit de 17<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> eeuw. In deze linie zijn verschillende forten, vestingmuren en civieltechnische bouwwerken te vinden. De linie is dan ook opgenomen in de Cultuurhistorische Hoofdstructuur en vormt bij Gorinchem een topgebied (Boshoven, 2009). Zie onderstaande afbeelding. Een deel van de linie is ook beschermd stadsgezicht. Hierin staan een sluis en een oude molen.

### Legenda

-  Zeer hoge archeologische waarde
-  Onverstoord dijkwiel
-  Beschermd dorpsgezicht
-  Cultureel erfgoed topgebied
-  Molengebied



**Figuur 3-15** Cultuurhistorische waarden in Gorinchem oost.

### Conclusie

De Nieuw Hollandse Waterlinie komt terug in de bestemmingsplannen van de gemeente Gorinchem. Door welstand wordt hierbij gelet op openheid van de nieuwe wijken waar uitsluitend een groen en rustig karakter heerst (Gorinchem, 2012). In het bestemmingsplan wordt ook omschreven dat de verstoorder van het gebied de bodem moet laten onderzoeken.

*'Om te voorkomen dat er verstoring van archeologische resten in de bodem voorkomt moet de gemeente erop toezien dat de verstoorder een onderzoek laat uitvoeren.'*

Om langdurige procedures voor vergunning te voorkomen zal dit onderzoek nodig zijn voordat de bouw start. Wenselijk is dat in een vroeg stadium de bodem wordt onderzocht zodat hiermee bij het ontwerpen van de waterkering rekening gehouden wordt.

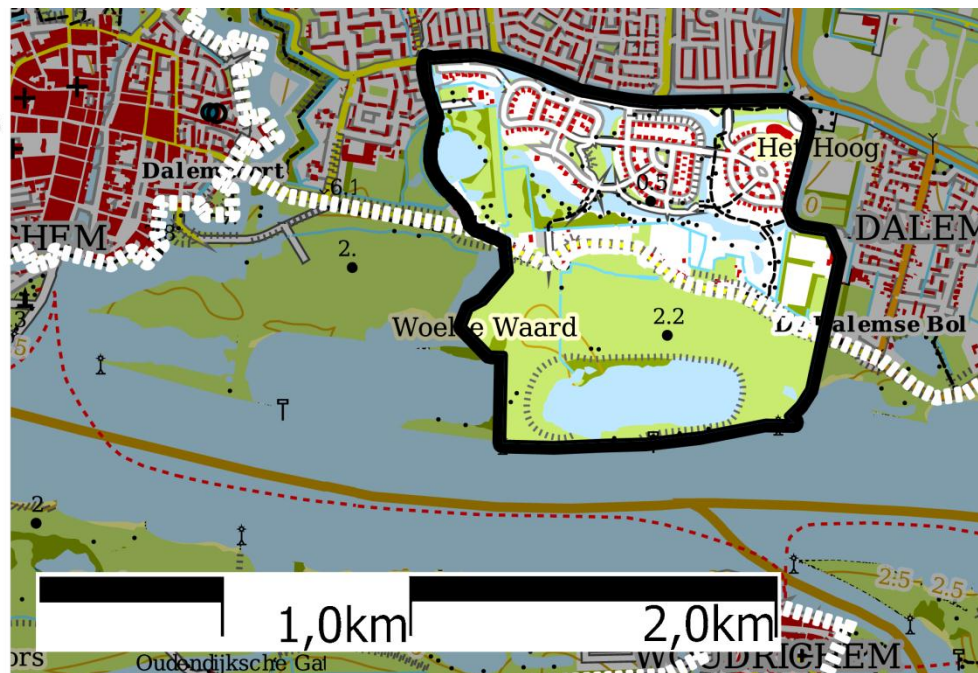


## 4. Systeemgrens

Op basis van de gemaakte analyse wordt vervolgens de systeemgrens bepaald. Net als in het Masterplan is er gekozen om de zuidelijke grens gevormd te laten worden door de rivier de Merwede. De noordelijke grens wordt gevormd door de Provinciale weg. Dit zorgt ervoor dat de nieuwe wijk 'Laag Dalem' binnen de grenzen ligt. Westelijk ligt de systeemgrens langs de Lingesedijk, om vervolgens langs de Dalemssluis over de dijk te lopen. De oostelijke grens wordt gevormd door de sportvelden. Op de onderstaande afbeelding is de systeemgrens aangegeven.

### Legenda

 Systeemgrens



**Figuur 4-1** De gekozen systeemgrens.





## 5. Programma van eisen

Nu de Analyse voltooid is wordt er een Programma van eisen opgesteld. Hierin wordt puntsgewijs beschreven wat de eisen, Randvoorwaarden en Wensen zijn waaraan het ontwerp moet voldoen. Na de Brainstorm en de Synthese worden de waardige concepten getoetst aan het Programma van Eisen. Naast de informatie uit de Analyse wordt ook, het eerder gemaakte en genoemde, Masterplan gebruikt.

## 5.1 Eisen

### Technische eisen

- De waterkeringen van dijkkring 43 moeten een overschrijdingsfrequentie van  $1/1250$  per jaar hebben.
- De waterkeringen moeten een minimale levensduurgarantie van 100 jaar hebben.
- De waterkering moet uitbreidbaar zijn met een hoogte gelijk aan de huidige verhoging.
- Het project mag geen beperking vormen voor het project "ruimte voor de rivier".
- Het project mag geen beperking zijn voor de projecten van de Deltacommissie.
- Het moet uitbreidbaar en inspecteerbaar zijn.

### Ruimtelijke eisen

- De huidige niet waterkerende functies van de waterkering mogen niet verdwijnen.
- De niet waterkerende functies moeten gericht zijn op de wensen van de omgeving.
- Er moet ruimte gecreëerd worden voor utiliteits- en woningbouw.

## 5.2 Randvoorwaarden

### Sociale randvoorwaarden

- De dijk kent verschillende gebruikers, onder andere bewoners van de dijkwoningen.
- Gorinchem heeft een beschermd stadsgezicht.
- Gorinchem heeft langs de dijk verschillende cultuurhistorische waarden zoals molens en Wielen.

### Economische randvoorwaarden

- De Merwede heeft belangrijke transport- en recreatieve functies.
- De gemeente voert een streng beleid op de verdeling van woonmilieus.

### Duurzame randvoorwaarden

- Het achterland kent een vast grondwaterpeil.
- De buitendijkse uiterwaarden zijn onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur.

### Geografische & Hydraulische randvoorwaarden

- Op de dijk is versnipperde lintbebouwing aanwezig.
- De afvoercapaciteit van de Merwede is maximaal  $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- De gemiddelde waterstand is ongeveer 130cm boven NAP.
- De huidige waterkering is 6,0m. boven NAP.

### Ondergrond

- De dijk bestaat volledig uit zand.
- Onder de dijk ligt een kleilaag van 10m dik.
- Onder de kleilaag ligt zand (3m), veen (2m) en weer zand.
- Het binnendijks grondwater staat op NAP -0,5m.

### 5.3 Wensen

- De kosten dienen evenredig te zijn aan de kwaliteit.
- De waterkering zal goed te onderhouden zijn.
- De waterkering zal passen in de Nederlandse cultuur.
- De bewoners langs de Merwede zullen zo min mogelijk hinder ondervinden.
- Er zal ruimte gereserveerd worden voor voorzieningen voor jongeren uit de gehele wijk.
- Er zal ruimte gereserveerd worden voor horeca en detailhandel voor de gehele aanliggende wijk.
- De uitbreiding van de wijk zal een groen en open karakter hebben met veel water.
- De lintbebouwing op de dijk wordt geïntegreerd in de nieuwe woonwijk.
- Gebruikers van de dijk ondervinden zo min mogelijk hinder.
- De natuurgebieden zullen niet aangetast worden.



## 6. Referentieprojecten

Eerder uitgevoerde soortgelijke projecten worden gebruikt om van te leren en om inspiratie uit op te doen. Eventuele fouten en/of slimmigheden van collega's vormen een goede bron van kennis.

### 6.1 Nijmegen

De stad Nijmegen(Wikipedia, Nijmegen, 2012) is gelegen aan de Waal. Door de ligging aan de Waal is het centrum erg noordelijk gelegen omdat uitbreiding slechts in zuidelijke richting mogelijk was. Nijmegen is een historische stad, waarin veel gebeurd is zoals de bombardementen in de tweede wereld oorlog.

In het project van "ruimte voor de rivier" wordt er momenteel geopperd om de dijken te verplaatsen. Dit is omdat het winterbed te smal is en verbreed moet worden. De enige mogelijkheid is in noordelijke richting van de Waal. (Ruimtevoorderivier, 2009)



**Figuur 6-1** De mobiele waterkering in Nijmegen.

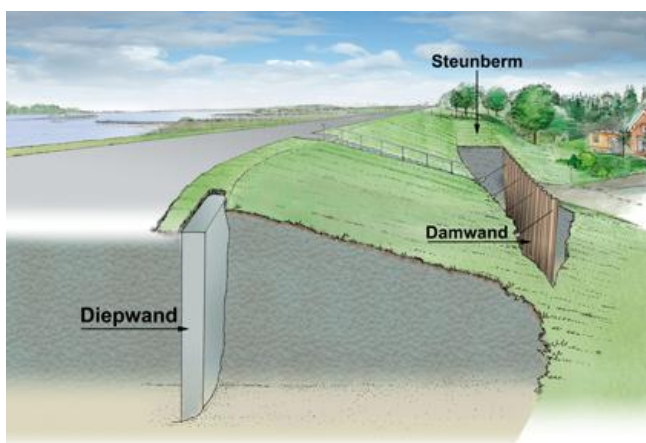
Aan de zuidzijde van de Waal ligt het centrum van Nijmegen. Hier is de primaire functie wederom die van waterkeren, maar de extra functie is de bebouwing op de dijk en kade en de esthetische waarde van de dijk. In tijden van extreem hoge waterstanden worden er schotten op de dijk geplaatst. Dit heet de mobiele waterkering.

#### **Relevantie van deze situatie**

De ligging aan een rivier en de multifunctionele dijk/kade is vergelijkbaar aan de huidige situatie. Bouwen in weinig ruimte vraagt om multifunctionele dijken en om meerdere mogelijkheden voor uitbreiden van rivierbed aan de noordzijde.

## 6.2 Dijkversterking BAS

De Lekdijk (Berg Ambacht en Schoonhoven) is niet voldoende stabiel en niet overal hoog genoeg. Daarom wordt hij momenteel versterkt en waar nodig opgehoogd. De dijk wordt versterkt om ervoor te zorgen dat de primaire omgevingsfunctie wordt gegarandeerd voor de omgeving. Dit wordt bereikt door middel van extra stabiliteit te verkrijgen door het toepassen van grondverbeteringen. De dijkversterkingen worden dan uitgevoerd met klei. Het extra gewicht van de berm voorkomt dat de veenlaag achter de dijk omhoog komt. Wanneer dit niet genoeg is, is het mogelijk om diepwanden en damwanden toe te passen zoals te zien in de figuur rechts. Een andere mogelijkheid is het toepassen van dijkbekleding op het binnen- en buitentalud van de dijk.



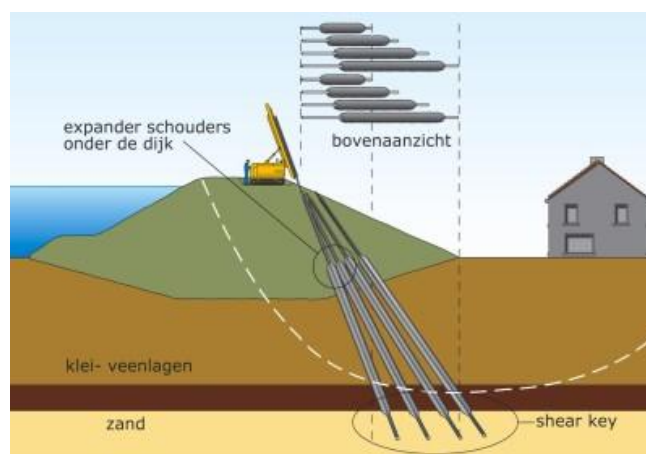
Figuur 6-2 Dijkverbetering door damwanden en diepwanden.

### Relevantie van dit project

In beide situaties zijn de dijken afgekeurd met de verwachte stijging van het waterniveau. In het project BAS worden er meerdere varianten gebruikt waarmee de dijken verbeterd kunnen worden, die ook gebruikt kunnen worden in de situatie Gorinchem. Er zijn dezelfde knelpunten zoals lintbewoning en wegen die tijdelijk of permanent afgezet worden.

## 6.3 Dijkdeuvels

Een andere manier van dijk verbeteren is het toepassen van dijkdeuvels (Δ-Dike, 2008). Een dijkdeuvel is een stalen buis die door het kritieke afschuifvlak van het dijklichaam getoken wordt naar onderliggende grondlagen. Hierdoor wordt het glijvlak en dus de weerstand vergroot. De deuvels steken hierbij niet boven de grond uit en zitten zelfs diep onder het maaiveld. Het principe is gebaseerd op de lamellen methode voor stabiliteit van taluds door Bishop. Naast het versterken van dijken kunnen de deuvels ook gebruikt worden om een steiler talud aan te leggen.



Figuur 6-3 Dijkdeuvels gaan door de glijcirkel.

### Relevantie van dit project

In het systeemgebied is veel waardevolle bebouwing aanwezig. Met dijkdeuvels kunnen de dijken verhoogd worden zonder extra ruimte nodig te hebben. Daarbij is de overlast (door de afwezigheid van trillingen en geluidsoverlast) minimaal. Al met al is het een interessant concept dat de moeite is om verder te onderzoeken. Voor daadwerkelijk toepassingen verkeert het concept echter in een te vroeg stadium.

## 6.4 Opvijzelen van bebouwing

Een zeer interessant concept is het opvijzelen (Dekker, 2004) van de woningen op de dijk. Dit maakt het mogelijk de dijk op de gebruikelijke manier te verhogen (meer grond op de dijk, waardoor die ook breder wordt). In de eerste plaats is voor deze methode van belang hoeveel ruimte er beschikbaar is onder de vloer. Onder andere in de Krimpenerwaard werd dit in de jaren 60 al veelvuldig toegepast. Is er bijvoorbeeld een kelder aanwezig? Er zijn twee (Pol, 2012) mogelijke aanpakken.

- Tafelmethode: Een nieuw gestorte vloer wordt verbonden met de fundering. Een aantal geboorde palen wordt in gaten in de vloer geplaatst. Langs deze palen wordt het huis vanaf de fundering opgevijzeld. Een voordeel van deze methode is dat er een nieuwe fundering is. Een nadeel is de ruimte (meer dan 2m) die nodig is.
- Muurmethode: In de huidige fundering wordt een muur gemaakt. Op de muur komen de vijzels die net zo lang drukken totdat de fundering scheurt en het huis omhoog komt. Vervolgens wordt de fundering hersteld. Het voordeel is dat er minder werkruimte nodig is. Het nadeel is dat de huidige fundering sterk genoeg moet zijn.

Deze methoden zijn vooral interessant als de bebouwing die in de weg staat uit monumentale panden bestaat. Hierdoor kan de vloer wel worden verwijderd om voldoende werkruimte te realiseren. Dit geeft echter overlast voor de gebruiker, die hierdoor geen toegang heeft tot het pand. In drukke gebieden kan in sommige gevallen de werkruimte van naastgelegen panden gebruikt worden. Om het geheel ook aantrekkelijk te maken voor de eigenaar kan in sommige gevallen een kelder aangelegd worden bij voldoende ophoging. Eventueel kan hiervoor extra grond afgegraven worden. Een bijkomend voordeel is dat de scheefgezakte huizen recht gezet worden. Uit onderzoek blijkt dat het opvijzelen van een huis rond de ton kost. Dit zijn puur de kosten voor de uitvoering, niet voor de eventueel geleden schade van de gebruikers of het ophogen van de dijk.

### Relevantie voor dit project

Het onderzoek naar deze methode in Dordrecht kent veel overeenkomsten maar ook verschillen. Zo is de problematiek rondom het grote hoogteverschil aan beide kanten van de straat door het opvijzelen van de waterkerende woningen niet van belang voor de dun bebouwde dijken van Gorinchem. Als er wordt gekozen om woningen op de dijk te bouwen, kunnen die zo gebouwd worden dat ze gemakkelijk opgevijzeld kunnen (Berg, 2012) worden, adaptief bouwen.

## 6.5 Klimaatdijk

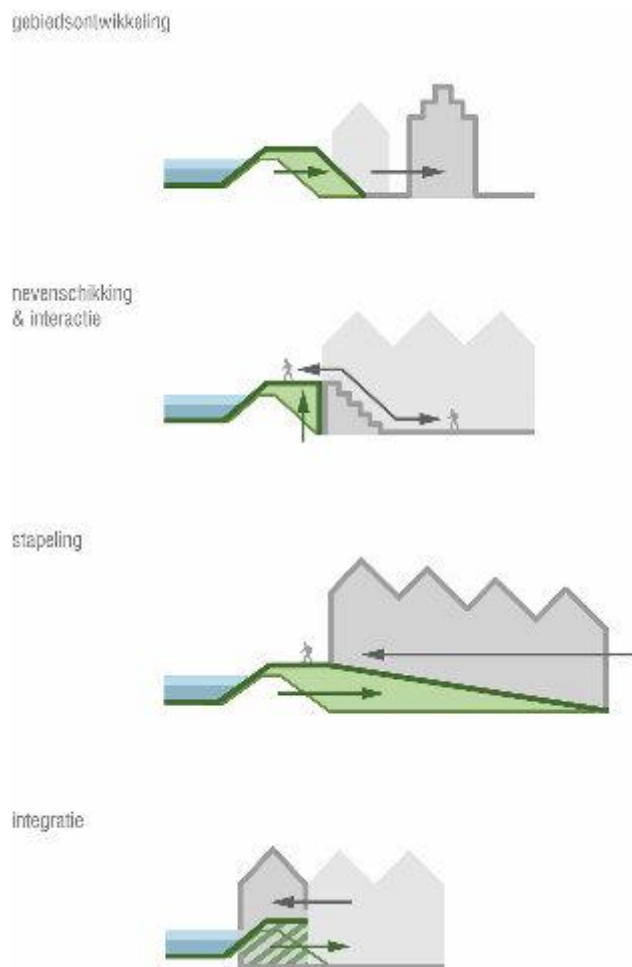
Toepassingen zoals bij Gorinchem zijn niet uitgevoerd. Het concept van de klimaatdijk is echter zeer interessant en wordt hier kort beschreven.

Een dergelijke dijk is er op gericht het risico op een dijkdoorbraak te reduceren tot nul. De dijken zijn al snel meer dan 50m in doorsnede. Het idee achter de dijk is dat de huidige dijk blijft bestaan, maar dat er een uitbreiding aan wordt gemaakt. Dit vergroot de stabiliteit en de hoogte. Wanneer er toch water over de dijk slaat of stroomt, leidt dit niet tot een doorbraak.

Een smalle dijk, zoals die nu aanwezig zijn in het gebied, neemt niet veel ruimte in. Het nadeel is alleen dat de ruimte niet tot nauwelijks gebruikt wordt en dat de kans op een doorbraak altijd aanwezig is. De veel bredere klimaatdijk kan nauwelijks doorbreken en de ruimte op de dijk kan ook nog eens gebruikt worden voor andere zaken. Dit kan zowel in de dijk als op de dijk gerealiseerd worden.

### Relevantie voor dit project

Ook in dit gebied is de ruimte beperkt en zijn er vele functies die voor de omgeving wenselijk zijn. Een slimme combinatie van een versterkte dijk met gewenste voorzieningen vormt de perfecte mogelijkheid voor een nieuwe waterkering.



**Figuur 6-4** Mogelijke vormen van een klimaatdijk.

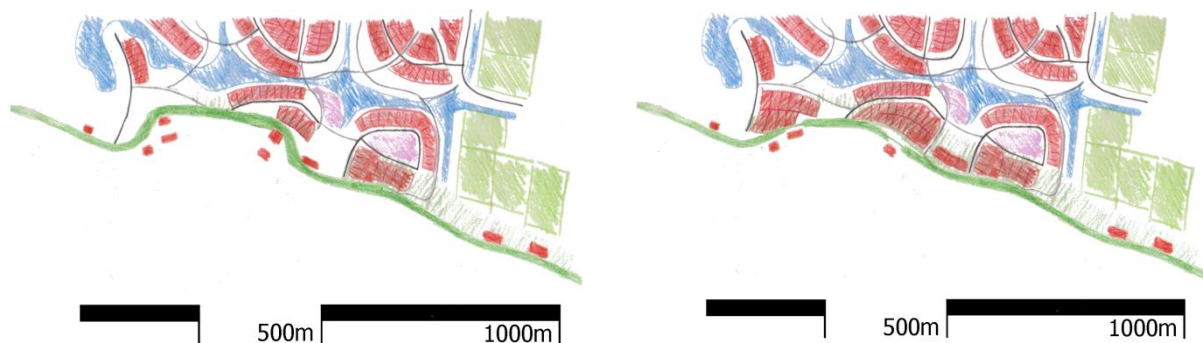


## 7. Synthese

In het hoofdstuk 'analyse' is bepaald dat de waterkering binnen de systeemgrens bestaat uit onderling sterk verschillende dijktypes. Het gebied is groot en divers. Gezien de complexiteit van het dijktraject is er, in overleg met de opdrachtgever, voor gekozen slechts één dijkonderdeel van het globale concept uit te werken met een aantal varianten. In de synthese is een globaal concept gemaakt. Dit concept vormt een indicatie van het invullen van het systeemgebied. Vervolgens is voor één dijkonderdeel een aantal varianten uit de inventarisatie in bijlage G gekozen. Deze varianten worden verder uitgewerkt.

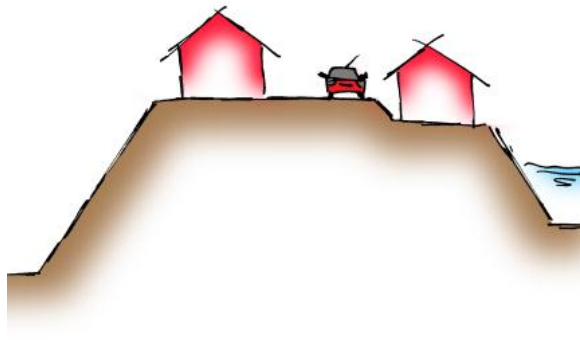
### 7.1 Wijkconcept

De huidige bebouwing langs de dijk blijft gehandhaafd. Voor de waterkering heeft dit grote gevolgen. In bijlage G is een inventarisatie gemaakt met de mogelijkheden om een dijkverhoging uit te voeren. Doordat de waterkering om verschillende redenen niet buitendijks uitgebreid kan worden blijven er twee opties over. Op de plaatsen met aan weerszijden van de dijk bebouwing wordt de waterkering achter de huizen langs gelegd, of de waterkering gaat tussen de huizen door. Deze keuze heeft ook grote gevolgen voor de hoeveelheid woningen die kan worden bijgebouwd. Op de onderstaande afbeelding is het wijkconcept weergegeven. De plaats van het te ontwerpen dijktraject bevindt zich in het westen van het wijkconcept.



**Figuur 7-1** Waterkering achter de huizen langs (links) en tussen de huizen door (rechts).

Het ontworpen wijkconcept heet Laag Dalem Zuidelijk. Het ontworpen gebied vormt de verbinding van de woonwijk Laag Dalem Zuid met het rivierlandschap van de Merwede. De woonwijk zal in uniforme stijl gebouwd worden, gericht op dezelfde, vrijstaande, huizen, zodat eenzelfde woonmilieu ontstaat en de wijken één geheel vormen. Net als in de huidige wijk staan water, natuur en openheid centraal. De waterlopen, gebaseerd op de oude donken, worden uitgebreid, zodat deze ook voor de nieuwe wijk al het regenwater kan opvangen. Binnen de nieuwe wijk is ruimte gereserveerd voor een skatebaan voor jongeren (paars). Midden in de wijk is ruimte voor een supermarkt met een aantal horecagelegenheden. Dit bouwwerk wordt mogelijk gecombineerd met de plaatselijke waterkering. Dit is echter voor de ruimte niet noodzakelijk en brengt veel extra kosten en mogelijke wrijving met het waterschap met zich mee.



**Figuur 7-2** Gekozen dijktraject schematisch (links) en een foto (rechts).

De huidige bebouwing langs de dijk blijft gehandhaafd (zie bovenstaande afbeelding). Voor de waterkering heeft dit grote gevolgen. In bijlage G is een inventarisatie gemaakt met de mogelijkheden om een dijkverhoging uit te voeren. Doordat de waterkering om verschillende redenen niet buitendijks uitgebreid kan worden blijven er twee opties over. Op de plaatsen met aan weerszijden van de dijk bebouwing wordt de waterkering achter de huizen langs gelegd, of gaat de waterkering tussen de huizen door. Op de onderstaande afbeelding staan de bijbehorende schematische weergaven uit de bijlage G.



**Figuur 7-3** De twee globale keuze opties.

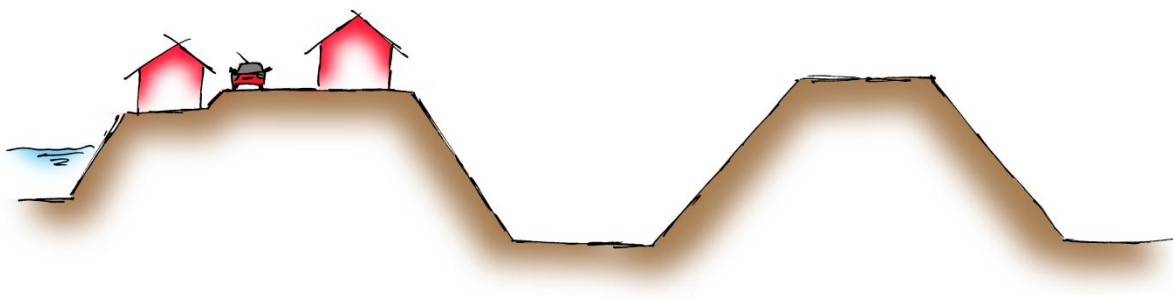
Uit het programma van eisen blijkt dat het ontwerp adaptief moet zijn. De mate van uitbreidbaarheid moet eenzelfde ordegrootte hebben als de huidige uitbreiding. De keuze voor een mobiele kering valt hierdoor in eerste instantie af, maar dient als zeer goede mogelijkheid voor een toekomstige uitbreiding.

## 7.2 Varianten

Zoals vermeld wordt in dit rapport slechts één onderdeel van het systeemgebied uitgewerkt. Voor dit onderdeel is een viertal varianten ontworpen met gebruik van de inventarisatie uit bijlage G.

### Dubbele dijk

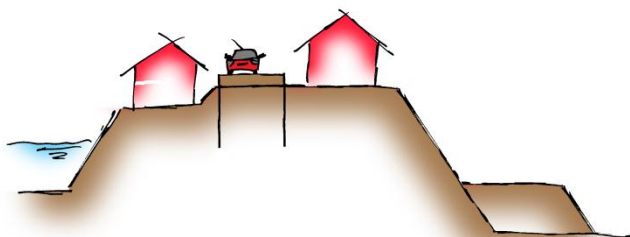
Deze variant heeft achter de huidige dijk een nieuwe dijk. Deze dijk zal 7,0m boven NAP worden. Over de kruin van de dijk komt de doorgaande weg. Deze weg wordt 6,0m breed. Naast de weg komt een vrij fietspad van 2,0m breed. De weg op de huidige dijk zal verdwijnen, een toegangsweg naar de huizen wordt in de plaats hiervan aangelegd. Verder blijft de nieuwe dijk helemaal leeg. De uitbreidbaarheid (adaptief ontwerpen) is mogelijk door de dijk op te hogen of er een constructie op te plaatsen. De huizen die nu op de dijk staan liggen in het vervolg buitendijks. De onderstaande afbeelding geeft een schematische weergave van de variant.



Figuur 7-4 Variant 'Dubbele dijk'

### Kistdam

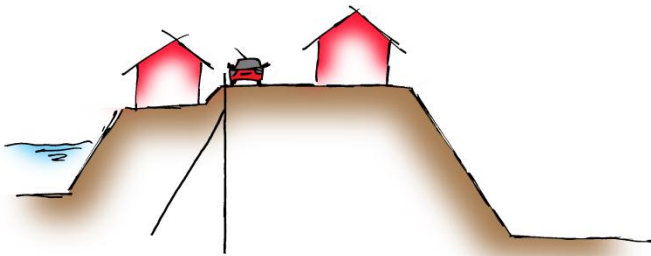
De huidige dijk wordt opgehoogd door in het dijklichaam een kistdam te bouwen. Op deze dam wordt dan de weg (4,0m) met een vrij fietspad (2,0m) gebouwd. De toegang naar de huizen wordt gerealiseerd door middel van een trap of een talud in de voortuin. De kistdam bestaat uit twee damwanden, waartussen grond gestort wordt. De variant neemt weinig ruimte in beslag maar zorgt door de te heien damwanden voor meer overlast. Een bijkomend nadeel is dat er binnen de dijk een stabiliteitsophoging tegen kwelwater gemaakt moet worden. De uitbreidbaarheid is in deze variant te realiseren door een mobiele kering op de kistdam, boven een van de damwanden, te bouwen. Hierbij kan worden gedacht aan een vaste, betonnen muur met eventueel een afsluitbare opening of een waterkering door middel van schotten tussen verwijderbare palen.



Figuur 7-5 Variant 'Kistdam'

### Damwand

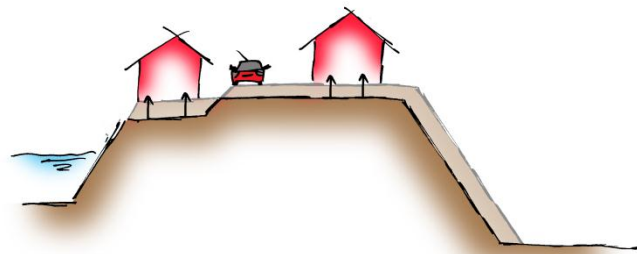
De derde variant die wordt behandeld bestaat uit een damwand waar bovenin een betonnen muur wordt gebouwd. De damwand wordt in de kruin van de dijk aan de kant van de woonwijk aangelegd, zodat die door de maatgevende glijcirkel heen gaat. De weg bevindt zich hierdoor buitendijks. De weg met vrij liggend fietspad wordt ook hier respectievelijk 4,0m en 2,0m. Doordat er één damwand wordt geslagen zorgt dit voor overlast voor de bewoners door trillingen en geluid van machines. De mogelijkheid tot uitbreiden wordt gerealiseerd doordat er op de muur een mobiele kering aangelegd kan worden. Bij de stabiliteitsberekeningen moet hier rekening mee gehouden worden. Van de derde variant is hieronder een schematische weergave te zien.



**Figuur 7-6** Variant 'Damwand'

### Opvijzelen en ophogen

De vierde en laatste variant heet opvijzelen en ophogen. Zoals de naam al zegt worden de woningen, die nu op de dijk staan, vanaf de fundering opgevijzeld. Doordat de huizen hoger komen te staan is het mogelijk de dijk op te hogen. Net als in de andere varianten wordt de weg 4,0m en het fietspad 2,0m. Afhankelijk van de sterkte van de fundering en de grootte van de kruipruimte onder het huis wordt bepaald welke methode het meest geschikt is. Het voordeel is dat de bewoners in eerste instantie niet het huis uit hoeven, behalve natuurlijk als het mis gaat. Ook deze variant is adaptief, omdat de woning gemakkelijk tot ongeveer één extra meter opgevijzeld kan worden. Om te voorkomen dat er water door de dijk kan stromen wordt buitendijkse bekleding aangebracht.



**Figuur 7-7** Variant 'Opvijzelen'

## 8. Simulatie

In de simulatie worden de varianten verder onderzocht en gecontroleerd. In de eerste plaats wordt iedere variant getoetst aan het programma van eisen. Deze keuze wordt beschreven in het volgende hoofdstuk, evaluatie.

### 8.1 Toetsing aan het programma van eisen

In het eerste deel van de simulatie wordt iedere variant getoetst aan het programma van eisen. Hieraan wordt vervolgens een conclusie verbonden.

#### Programma van eisen

In de eerste plaats is er een inventarisatie gemaakt van de mogelijke dijk verbetermogelijkheden. Voor het verder te ontwerpen stuk dijk is vervolgens een keuze gemaakt welke vier varianten verder worden onderzocht. Deze vier varianten worden in de onderstaande tabel getoetst. Een + betekent hier dat de variant voldoet, een – voldoet niet en 0 is neutraal. De randvoorwaarden zijn optredende omstandigheden, daaraan wordt niet beoordeeld of de variant voldoet of niet, maar of de variant er goed (+) of slecht (-) mee omgaat. In de bijlagen zijn de berekeningen, planning en kostenindicatie na te lezen. Deze bepalingen hebben bijgedragen aan de score in deze toetsing.

Tabel 8-1 Beoordeling van de varianten naar het programma van eisen.

	Variant 1: Dubbele dijk	Variant 2: kistdam	Variant 3: damwand	Variant 4: Opvijzelen
<b>Eisen:</b>				
<b>Hydraulisch</b>				
De waterkeringen van dijkring 43 moeten een overschrijdingsfrequentie van $1/_{1250}$ per jaar hebben.	+	+	+	+
De waterkeringen moeten een minimale levensduurgarantie van 100 jaar hebben.	+	+	+	+
De waterkering moet uitbreidbaar zijn met een hoogte gelijk aan de huidige verhoging.	+	+	+	+
Het project mag geen beperking vormen voor het project "ruimte voor de rivier".	+	+	+	+
Het project mag geen beperking zijn voor de projecten van de Deltacommissie.	+	+	+	+
Het moet uitbreidbaar en inspecteerbaar zijn	+	+	+	+
<b>Ruimtelijk</b>				
De huidige niet waterkerende functies van de waterkering mogen niet verdwijnen.	+	+	+	+
De niet waterkerende functies moeten gericht zijn op de wensen van de omgeving.	+	+	+	+
Er moet ruimte gecreëerd worden voor utiliteits- en woningbouw.	+	+	+	+

<b>Randvoorwaarden:</b>				
<b>Sociaal</b>				
De dijk kent verschillende gebruikers, onder andere bewoners van de dijkwoningen.	+	0	0	-
Gorinchem heeft een beschermd stadgezicht.	+	0	0	+
Gorinchem heeft langs de dijk verschillende cultuurhistorische waarden zoals molens en Wielen.	+	+	+	+
<b>Economisch</b>				
De Merwede heeft belangrijke transport- en recreatieve functies.	+	+	+	+
De gemeente voert een streng beleid op de verdeling van woonmilieus.	+	+	+	+
<b>Duurzaam</b>				
Het achterland kent een vast grondwaterpeil.	+	+	+	+
De buitendijkse uiterwaard is onderdeel van de Ecologische Hoofstructuur.	+	+	+	+
<b>Geografisch &amp; Hydraulisch</b>				
Op de dijk is versnipperde lintbebouwing aanwezig.	0	-	0	0
De afvoercapaciteit van de Merwede is maximaal 12000 m <sup>3</sup> /s	+	+	+	+
De gemiddelde waterstand is ongeveer 130 cm boven NAP.	+	+	+	+
De huidige waterkering is 6,0m. boven NAP.	+	+	+	+
<b>Ondergrond</b>				
De dijk bestaat volledig uit zand.	+	+	+	+
Onder de dijk ligt een kleilaag van 10m dik.	+	+	+	+
Onder de kleilaag ligt zand (3m), veen (2m) en weer zand.	+	+	+	+
Het binnendijks grondwater staat op NAP -0,5m.	+	+	+	+

<b>Wensen:</b>				
De kosten dienen evenredig te zijn aan de kwaliteit.	-	0	+	0
De waterkering zal goed te onderhouden zijn.	+	0	0	+
De waterkering zal passen in de Nederlandse cultuur.	0	+	+	+
De bewoners langs de Merwede zullen zo min mogelijk hinder ondervinden.	-	-	0	0
Er zal ruimte gereserveerd worden voor voorzieningen voor jongeren uit de gehele wijk.	+	+	+	+
Er zal ruimte gereserveerd worden voor horeca en detailhandel voor de gehele aanliggende wijk.	+	+	+	+
De uitbreiding van de wijk zal een groen en open karakter hebben met veel water.	-	+	+	0
De lintbebouwing op de dijk wordt geïntegreerd met de nieuwe woonwijk.	-	0	0	0
Gebruikers van de dijk ondervinden zo min mogelijk hinder.	+	-	0	-
De natuurgebieden zullen niet aangetast worden.	+	+	+	+
<b>Aantal -</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
<b>Aantal 0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>5</b>

### Conclusie

In de synthese is al de afweging gemaakt welke varianten (tabel in bijlage G) voldoen aan de gestelde eisen. Hieruit is een viertal mogelijkheden naar voren gekomen. Deze vier varianten zijn vervolgens verder uitgewerkt. In de berekeningen (bijlage D berekeningen) is bepaald welke hoeveelheden materiaal die nodig zijn voor de constructie. Hiervoor zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- Belasting door woningen (algemeen)  
*Hier wordt omschreven wat de invloed van de woningen op de dijk zijn op bijvoorbeeld een damwand naast de fundering (Flamant).*
- Druk (algemeen)  
*Een inleidend verhaal over gronddrukken.*
- Afschuiven (variant damwand)  
*Stabiliteit tegen in het geheel horizontaal afschuiven.*
- Rotatie (variant damwand)  
*Stabiliteit tegen in het geheel roteren van het dijklichaam.*
- Zetting (variant opvijzelen en ophogen)  
*Optredende zetting bij ophoging om de hoeveelheid zand te bepalen die nodig is voor de ophoging (Koppejan).*
- Draagkracht van de ondergrond (variant opvijzelen en ophogen)  
*Hier wordt bepaald of de onderliggende kleilaag voldoende sterk is voor een ophoging van de dijk (Brinch Hansen).*
- Damwandlengte (variant damwand)  
*De lengte van de damwand wordt bepaald met de schematisatie van Blum.*
- Piping (alle varianten)  
*Stabiliteit tegen piping wordt bepaald op verschillende manieren, Bligh, Lane en de Voorschriften van Rijkswaterstaat.*
- Stabiliteit van het talud (variant opvijzelen en ophogen)  
*Taludstabiliteit wordt getoetst op een aantal criteria (onder andere Bishop).*

De gekozen varianten bij iedere berekening zijn gebaseerd op het feit dat de variant het minst gunstig is voor die berekening. Zo wordt er bij de variant 'opvijzelen en ophogen' de meeste hoeveelheid zand gebruikt om tot de kerende hoogte te komen. Hierdoor treedt hier de maximale zetting op. Deze rekenmethode is daarmee slechts een indicatie en geeft een ruime bovengrens aan van de benodigde materialen.

De bouw- en uitvoersplanningen (bijlage E) vormen de basis voor het invullen van de wensen en randvoorwaarden die te maken hebben met de overlast en de bouwtijd. Hier is uitgbereid onderzocht welke handelingen zo efficiënt mogelijk de bouw tot een goed einde brengen.

Ook is er gekeken naar de kostenindicatie (bijlage F). De kostenindicatie is een zeer grove schatting waarbij onder andere gebruik is gemaakt van kentallen. De kentallen zijn niet heel betrouwbaar, maar geven een goede indruk op welk punt de meeste kosten zullen zijn.

Het aantal – in de tabel op de vorige pagina's dat gegeven is aan een variant geeft aan waar de variant slecht op scoort, een 0 geeft aan waar de variant neutraal scoort.



## 9. Evaluatie

In overleg met de opdrachtgever is de variant 'dubbele dijk' afgefallen door de hoge kosten waar relatief weinig mee wins mee behaald wordt. De bouw van een hele nieuwe dijk om drie of vier huizen te ontzien wordt als onevenredig beschouwd. Daar komt nog bij dat de overlast door zandaanvoer niet te onderschatten is. Uit de toetsing aan het programma van eisen blijkt ook dat deze variant de meeste (-) scoort.

Bij gebruik van de kistdam is het mogelijk dat de bewoners van het huis binnendijks hun garage voor de auto blijven gebruiken. De bewoners aan de andere kant van de dijk hebben hun ramen nu op straatniveau, met kistdam zullen zij echter tegen een wand van in totaal bijna twee meter aan kijken. Het lijkt op het eerste gezicht een goede methode, maar uit de berekeningen blijkt al snel dat stabiliteit tegen stromend water door de dijk moeilijk te waarborgen is. De onderzochte mogelijkheid is een steunberm. De hoeveelheid zand die hiervoor nodig is zorgt voor de nodige problemen. Andere mogelijkheden zijn een deklaag of een damwand tot aan de kleilaag, hiervoor moeten echter nieuwe berekeningen worden uitgevoerd. Ook brengt dit extra kosten met zich mee.

De variant 'damwand' is een gemakkelijke oplossing voor de problemen, de damwand tot in de kleilaag slaan voorkomt piping. Een nadeel is dat de damwanden redelijk lang zijn en dus lastig aan te voeren. De ruimte op de dijk is zeer beperkt. Een damwand is niet heel esthetisch. Daar daar zijn wel mogelijkheden voor, zoals bekleding. Een groot nadeel voor de bewoners aan de binnendijkse zijde is dat ze de garage niet meer kunnen gebruiken voor de auto. Een mogelijke oplossing hiervoor is een speciale toegang naar de garage of een opening in de damwand met daarop een mobiel schottensysteem. Het systeem dat ook voor het adaptief ontwerpen wordt gebruikt. In overleg met de betreffende bewoners zal hier een geschikte oplossing/compensatie voor gevonden moeten worden.

Opvijzelen kan voor de nodige problemen zorgen door de variatie in fundering van de woningen, hier zijn ook de nodige risico's aan verbonden. Voordeel is wel dat de bewoners het overgrote deel van de tijd bij hun huis kunnen. Een nadeel is dat er een grote hoeveelheid zand nodig is voor de ophoging. Tijdens deze ophoging kan de dijk niet worden gebruikt. Dit zorgt voor overlast voor zowel de bewoners als voor doorgaand verkeer.



## 10. Aanbeveling

De verbetering van de multifunctionele waterkering ten oosten van Gorinchem ter hoogte van de Woelse Waard kan het beste worden gerealiseerd met een damwand. De overige varianten brengen in de indicatieberekeningen hoge kosten of veel meer overlast met zich mee. De omgeving wordt ook als rustig en niet stedelijk beschouwd. Dit vraagt om en biedt een mogelijkheid tot een ander soort oplossing dan noodzakelijk is in gebieden waar de ruimte schaars is en de grond relatief duur. De totale kosten komen rond de twee ton te liggen; een technisch tekening is te vinden in bijlage F. De toegang naar de garage van de bewoners wordt in overleg met de bewoners ontworpen. Mogelijkheden zijn onder andere een aparte toegangsweg over en langs de damwand of een mobiel schottensysteem.

De damwand steekt een halve meter boven de huidige kruin uit en gaat vanaf daar 7m de dijk in tot in de kleilaag. Hiermee wordt piping voorkomen en is de dijk ook bij extreem hoog water stabiel en hoog genoeg. Eventueel kan de kering worden verhoogd met schotbalken op de damwand. Na grondig onderzoek naar de vraag van belanghebbenden in de omgeving, de achterliggende wijk, is besloten geen extra functies toe te voegen aan de dijk. Niet alleen is hier onvoldoende vraag naar, ook kan het toevoegen van functies het beschermd stadsgezicht aantasten. Het dorps- en landelijke gevoel dat voornamelijk op de dijk en in de kleine bewoonde kernen heerst, zorgt dat een oplossing met zo min mogelijk veranderingen gewenst is. Meerwaarde creëren door extra functies toe te voegen wordt beoordeeld als onnodig en onhaalbaar.

De ruimte naast de dijk die niet gebruikt wordt, zoals bij de variant 'dubbele dijk' of 'kistdam', kan gebruikt worden voor uitbreiding van de wijk met eventuele voorzieningen. De voorzieningen liggen zo dicht bij de plaats waar er vraag naar is.

Tot slot is het van belang te weten dat er gedurende het onderzoek vele aannames zijn gedaan. De aannames zijn gegrond en veelal gebaseerd op kennis van vakmensen of betrouwbaar veronderstelde bronnen. Het feit blijft dat er voor betrouwbare berekeningen onderzoek gedaan moet worden op de plaats waar gebouwd gaat worden. Een gedetailleerde sondering en ander grondonderzoek zijn hierbij onmisbaar. In de berekeningen is uitgegaan van een dijk bestaand volledig uit zand, dat is alleen al door de aanwezigheid van gras en de woningen onjuist. Voor een inschatting en afweging van de varianten is dit echter voldoende.



# 11. Bibliografie

- Barends, S. e. (2010). *Het Nederlands Landschap: Een historisch-geografische benadering*. Utrecht: Uitgeverij Matrijs.
- BAS-, S. e. (2012). *Dijkversterking*. Opgeroepen op 9 4, 2012, van <http://www.dijkversterkingbas.nl>
- BAS-, S. e. (sd). *kaart wanneer gaat wat gebeuren*. Opgeroepen op 9 4, 2012, van <http://www.dijkversterkingbas.nl/contents/pages/219037/kaart-wanneer-gaat-het-gebe.jpg>,
- Berg, F. v. (2012, 5 28). *Flexibel bouwen*. Opgeroepen op 9 23, 2012, van [http://www.waterschaprivierenland.nl/werk\\_in\\_de\\_buurt/dijkverbetering/dijkverbetering\\_0/weblog\\_frans\\_van\\_den?mode=response&BlgIdt=59](http://www.waterschaprivierenland.nl/werk_in_de_buurt/dijkverbetering/dijkverbetering_0/weblog_frans_van_den?mode=response&BlgIdt=59)
- Boshoven, E. e. (2009). *Regio Alblasserwaard eb Vijfheerenlanden: Een Archeologische inventarisatie, verwachtings- en beleidsadvieskaart*. 's-Hertogenbosch: BAAC.
- CBS. (2006). *Gemeente op Maat 07*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS. (2008). *Gemeente op Maat 09*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS. (2010). *Gemeente op Maat 11*. Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- de Boer, E. (2002). *Nood-overloopgebieden een noodgreep?* Delft: TU Delft: Sectie Infrastructuurplanning.
- Dekker, J. G. (2004). *Mensen in een waard vol wind en water*. Hilversum: Uitgeverij Verloren BV.
- DINO. (2007). *DINO loket*. Opgeroepen op 9 17, 2012, van <http://www.dinoloket.nl/dinoLks/map>
- Dordrecht, G. (2012). Opgeroepen op 9 4, 2012, van Dordrecht: <http://cms.dordrecht.nl/dordt?waxtrapp=qnmboDsHaKnPvBeBhB>
- Elling, R. A. (2004). *Rapportagetechniek*. Delft: Noordhoff Uitgevers.
- Gorinchem, G. (2012). *Bestemmingsplan Laag Dalem*. Gorinchem.
- Gorter, D. e. (2009). *waterbeheerplan 2010-2015*. Arnhem: Roos en Roos.
- Kolen, B. (2012, 9 12). Projectdossier Meerlaagse Veiligheid.
- Maaskant, B. e. (2008). *Gevoeligheidsanalyse voor 5 dijkringen*. Lelystad.
- Meyer, H. B. (2010). *Delta Urbanism: The Netherlands*. Chicago: the American Planning Association.
- Pol, J. (2012). *Opvijzelen Voorstraat Dordrecht*. Delft: 6.
- Postma, R. (sd). *Rapport Projectsecretariaat Commissie Noodoverloopgebieden*. Den Haag: Van Sluis Consultants.

Rick van Tilborg 4008936

Projectsecretariaat. (sd). *Gecontroleerd overstromen: advies van de commissie noodoverloopgebieden*. Den Haag: Van Sluis Consultants.

Rijcken, T. (2010). *Visie: Rijn-Maasmond Afsluitbaar open*. Delft.

Rijkswaterstaat. (2006). *Waterstanden bij Vuren*. Vuren: Rijkswaterstaat.

Ruimte voor de Rivier, a. c. (2010). *Ruimte voor de Rivier*. Opgeroepen op september 4, 2012, van <http://www.ruimtevoorderivier.nl/>

Ruimtevoorderivier. (2009). *dijkteruglegging*. Opgeroepen op 9 4, 2012, van <http://www.ruimtevoorderivier.nl/waar-doen-we-dit/projecten/gelderland/dijkteruglegging-lent/>

State, R. v. (2009). *Waterwet*. Minister van Justitie.

TAW. (1998). *Grondslagen voor Waterkeren*. Rotterdam: A.A. Balkema Uitgevers B.V.

Waterbeheer, I. (2011). *Derde Toets Primaire Waterkeringen*. Inspectie Verkeer en Waterstaat.

waterkering, W. o. (1995). *Artikel 3*.

Waterschapshuis, H. (2007). *viewer*. Opgeroepen op 9 17, 2012, van ahn: Actueel Hoogtebestand Nederland: <http://www.ahn.nl/viewer>

Waterstaat, I. V. Kaart dijken en duinen. *Landelijke Rapportage Derde Toetsronde*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Wikipedia. (2012). Opgeroepen op 7 6, 2012, van Sliedrecht: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Sliedrecht>

Wikipedia. (2012). *Kampen (Overijssel)*. Opgeroepen op 9 2, 2012, van [http://nl.wikipedia.org/wiki/Kampen\\_\(Overijssel\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Kampen_(Overijssel))

Zuid-Holland, P. (2009). *Vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet-waterkerende objecten*. Den Haag: Afdeling Water.

Δ-Dike. (2008). *Dijkdeuvels*. Opgeroepen op 9 14, 2012, van <http://www.dijkdeuvels.nl/>

# 12. Illustraties

## 12.1 Technisch rapport

Figuur 2-1	Eigen Afbeelding
Figuur 3-1	Eigen Foto
Figuur 3-2	Eigen Afbeelding
Figuur 3-3	Eigen Foto
Figuur 3-4	Eigen Foto
Figuur 3-5	Eigen Afbeelding
Figuur 3-6	Eigen Afbeelding
Figuur 3-7	Eigen Afbeelding
Figuur 3-8	Eigen Afbeelding
Figuur 3-9	Eigen Foto
Figuur 3-10	Eigen Afbeelding
Figuur 3-11	Eigen Afbeelding
Figuur 3-12	Eigen Afbeelding
Figuur 3-13	Eigen Afbeelding
Figuur 3-14	Afbeelding van DINO-loket (2007)
Figuur 3-15	Cultuur historische atlas ( <a href="http://geo.zuid-holland.nl/geo-loket">http://geo.zuid-holland.nl/geo-loket</a> )
Figuur 4-1	Eigen Afbeelding
Figuur 6-1	<a href="http://nijmegen.nieuws.nl/24217">http://nijmegen.nieuws.nl/24217</a>
Figuur 6-2	(-BAS-, Dijkversterking, 2012)
Figuur 6-4	( $\Delta$ -Dike, 2008)
Figuur 6-4	<a href="http://deltares.nl/nieuws">http://deltares.nl/nieuws</a>
Figuur 7-1	Eigen Afbeelding
Figuur 7-2	Eigen Afbeelding
Figuur 7-3	Eigen Afbeelding
Figuur 7-4	Eigen Afbeelding
Figuur 7-5	Eigen Afbeelding
Figuur 7-6	Eigen Afbeelding
Figuur 7-7	Eigen Afbeelding

## 12.2 Bijlagen

Figuur A-1	Eigen Afbeelding
Figuur E-2	Eigen Afbeelding
Figuur E-3	Google Maps
Figuur E-4	Google Maps
Figuur E-5	Eigen Afbeelding
Figuur E-6	Eigen Afbeelding





# 13. Bijlagen

<b>A. Geografie .....</b>	<b>54</b>
<b>B. Multifunctioneel Ruimtegebruik .....</b>	<b>56</b>
<b>C. Beleidslijnen .....</b>	<b>58</b>
<i>Wet en regelgeving.....</i>	<i>58</i>
<b>D. Berekeningen .....</b>	<b>60</b>
<i>Belasting door woningen .....</i>	<i>60</i>
<i>Druk .....</i>	<i>65</i>
<i>Afschuiven .....</i>	<i>68</i>
<i>Rotatie .....</i>	<i>73</i>
<i>Zetting .....</i>	<i>77</i>
<i>Draagkracht van de onderliggende kleilaag.....</i>	<i>80</i>
<i>Damwandlengte .....</i>	<i>85</i>
<i>Piping.....</i>	<i>93</i>
<i>Stabiliteit van het talud .....</i>	<i>99</i>
<b>E. Bouw- en Uitvoersplanning .....</b>	<b>110</b>
<i>Variant 2: Kistdam .....</i>	<i>111</i>
<i>Variant 3: Damwand .....</i>	<i>114</i>
<i>Variant 4: Opvijzelen en ophogen.....</i>	<i>115</i>
<i>Bouwplanning.....</i>	<i>118</i>
<b>F. Kostenindicatie .....</b>	<b>120</b>
<b>G. Inventarisatie dijkverbeteringen .....</b>	<b>122</b>
<b>H. Technisch tekening .....</b>	<b>124</b>



## A. Geografie

De Nederlandse Delta bestaat uit een netwerk van grote en minder grote rivieren in combinatie met kanalen, havens en andere waterlopen. Om een goede indruk te krijgen van het waterwegennet in de Zuidwestelijke delta is hieronder een afbeelding weergegeven met daarop alle waterwegen die gezamenlijk de Rijnmond vormen. Gedurende deze rapportage zullen de namen in de afbeelding mogelijk langskomen.



Figuur A-1 Waterwegen in de Zuidwestelijke delta



## B. Multifunctioneel Ruimtegebruik

Voor het ontwerpen van een multifunctionele waterkering is het van groot belang te definiëren wat multifunctionaliteit precies inhoud. In dit rapport is onderscheid gemaakt tussen een drietal mogelijkheden. Niet alleen de manier waarop multifunctionaliteit verkregen wordt speelt hierin een rol, de intensiteit heeft hierin ook een aandeel. In de tabel op de volgende pagina is dit overzichtelijk weergegeven.

Kwantitatief	Gematigd	Zwaar
<p><b>Kwalitatief</b></p> <p>Naast elkaar</p>	<p><i>Een aantal functies op weinig grond</i></p>  <p>Kort naast de dijk bij Gorinchem bevindt zich een voetbalveld. Aan de andere kant van dijk ligt een natuurgebied.</p>	<p><i>Veel functies op weinig grond (hoogbouw)</i></p>  <p>Het historisch centrum heeft veel functies dicht op elkaar. (Vaar)wegen, woningen, winkels en waterkerende functies. Doordat dit op weinig grond gebouwd moet worden, gaat de bouw meer de hoogte in.</p>
<p>In elkaar</p>	<p><i>Weinig functies</i></p>  <p>De huidige dijken bij Gorinchem worden multifunctioneel gebruikt. Over de waterkering ligt een autoweg en er staan enkele huizen op.</p>	<p><i>Veel functies</i></p>  <p>Het winkelcentrum 'Dukenburg' is een van de vele winkelcentra in Nederland met meerdere functies in één gebouw. Zo zijn er naast winkels ook een ondergrondse parkeergarage en appartementen.</p>
<p>Na elkaar</p>	<p><i>Generatie gebonden</i></p>  <p>De eerder genoemde school 'Merwedonk' is hier een goed voorbeeld van. De school kan een peuterspeelzaal zijn. Wanneer naschoolse opvang de vraag in de wijk is, vervult de school die functie.</p>	<p><i>Zomer/ Winter gebonden</i></p>  <p>Onder andere in Vlissingen worden iedere zomer strandhuisje aangelegd voor verhuur in de hoogseizoenmaanden. Gedurende het stormseizoen (oktober tot april) mogen ze niet aanwezig zijn.</p>

## C. Beleidslijnen

In Nederland wordt, zoals beschreven in de Inleiding, veel nagedacht over de waterproblematiek. Hierbij wordt gebruik gemaakt van onder andere Wetten en verschillende beleidsnota's. Om een inzicht te krijgen in hoe de regelgeving in Nederland te werk gaat volgt hier een korte omschrijving. Aansluitend volgen een uitleg over de klimaatscenario's van het Deltaprogramma van 2008 en het idee 'Ruimte voor de Rivier'. Tot slot wordt er ingegaan op het omstreden plan om noodoverloopgebieden toe te passen.

### Wet en regelgeving

De verantwoordelijkheid voor de bescherming tegen water ligt in Nederland niet bij één instantie. Naast de waterschappen spelen ook het Rijk en de Provincie een belangrijke rol. Gemeenten gaan over de zaken die niet met water keren te maken hebben, maar wel op de keringen plaats vinden, zoals verkeer. Doordat de besluitvorming (TAW, 1998) over veel bestuursorganen moet gaan kost dit in de praktijk veel tijd. Alleen al de grondonteigening kan in geval van het falen van de poging tot minnelijke aankoop bijna een jaar kosten. Het plannen van een dijkversterking vanaf de startnotitie tot aan de uitvoering duurt ongeveer drie jaar.

### Waterschappen

De aanleg, het beheer en het onderhoud van waterkeringen wordt gedaan door de waterschappen. Hun werk wordt gefinancierd door belastingen. De lopende grootschalige dijkverbeteringen, die soms nog doorgevoerd moeten worden, zijn vaak te duur. Subsidies vormen een uitweg, maar zijn moeilijk te verantwoorden in deze crisistijd.

### Provincies

Waar de Waterschappen een zeer primaire taak vervullen, zijn de provincies verantwoordelijk voor de controle hierover. Zij maken hierbij gebruik van de wetgeving in Nederland (Wet op de waterkering en Wet op de Ruimtelijke ordening). Er wordt verslag gedaan over toestand van de waterkeringen (derde toetsronde) bij de Gedeputeerde Staten. Een aantal van de door de provincie verstrekte vergunningen:

- Grondwatervergunning,
- Ontheffing van de Molenverordening,
- Ontgrondingsvergunning.

### Rijk

Het Rijk heeft naast de wetgeving ook de verantwoordelijkheid over primaire waterkeringen tussen de verschillende dijkkringen. Het rivierbed is hier een voorbeeld van, of de afsluiting van zeearmen. Het Rijk zal ook moeten zorgen voor een goede afvoermogelijkheid van het rivierwater (Ruimte voor de Rivier). De Gedeputeerde Staten brengen verslag uit bij de minister van Verkeer en Waterstaat over de gesteldheid van de dijkkringen. Het Rijk verstrekt onder andere de volgende vergunningen:

- Ontheffing Rijksrivierdijkenreglement,
- Milieuvergunning,
- Vergunning in de Rivierenwet.

### Gemeenten

Zoals eerder vermeld is, zijn de gemeenten verantwoordelijk voor alle zaken die niet met waterkeren te maken hebben wat betreft de waterkeringen. Wat ruimtelijke ordening betreft stelt de gemeente het Bestemmingsplan op, waarin de keringen aangegeven moeten zijn. De gemeente moet ook een rampenplan (en een plan i.v.m. handhaving van de openbare orde) hebben in geval van een overstroming. De gemeente is vanzelfsprekend verantwoordelijk voor het verstrekken van de vergunning met betrekking tot de overige zaken zoals:

- Sloopvergunning,
- Monumentenwet vergunning,
- Kapvergunning,
- Bouwvergunning.

### Wetgeving

In de grondwet, *Grondwet voor het Koninkrijk de Nederlanden(1815)*, Hoofdstuk 1. Grondrechten, Artikel 21 staat:

*'De zorg van de overheid is gericht op de bewoonbaarheid van het land en de bescherming en verbetering van het leefmilieu.'*

Om hier, wat betreft waterbeheer, aan te kunnen voldoen zijn er verschillende wetten opgesteld, zoals waterstaat-, planologische- en milieuwetgeving.



## D. Berekeningen

Voor de berekeningen is het noodzakelijk belastingen vast te stellen. Daarnaast worden voor de berekeningen de weerstanden tegen de belastingen bepaald. Hieruit volgt een bepaalde veiligheidsfactor  $F$ . Voor de verschillende varianten zijn berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op de variant die het minst gunstig is voor de optredende belasting bij een bepaald faalmechanisme. Dit is gedaan om in korte tijd toch zo veel mogelijk gevarieerde berekeningen te kunnen maken. Uitgangspunt hiervoor is het verkrijgen van inzicht in de gevoeligheid van een bepaalde veiligheidsfactor. Voor het gemak wordt voor de berekeningen waarbij gewicht en wrijving een rol spelen aangenomen dat de dijk alleen uit zand bestaat. De Kleilaag van ongeveer een halve meter wordt verwaarloosd. De ondergrond bestaat uit een kleilaag van 10,0m, een zandlaag van 3,0m en een veenlaag van 2,0m. Vanaf daar begint een zandpakket. Voor de berekeningen worden de volgende gegevens gebruikt:

**Tabel D-1** Grondgegevens.

	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$	$\delta$	$q_c$ MPa
<b>Klei</b>	12	15	20	13.3	3
<b>Veen</b>	5	11	30	20	1
<b>zand</b>	16	20	30	20	20

De berekeningen zijn ingedeeld in de onderstaande volgorde:

- Belasting door woningen (algemeen)  
*Hier wordt omschreven wat de invloed van de woningen op de dijk zijn op bijvoorbeeld een damwand naast de fundering (Flamant).*
- Druk (algemeen)  
*Een inleidend verhaal over gronddrukken.*
- Afschuiven (variant damwand)  
*Stabiliteit tegen in het geheel horizontaal afschuiven.*
- Rotatie (variant damwand)  
*Stabiliteit tegen in het geheel roteren van het dijklichaam.*
- Zetting (variant opvijzelen en ophogen)  
*Optredende zetting bij ophoging om de hoeveelheid zand te bepalen die nodig is voor de ophoging (Koppejan).*
- Draagkracht van de ondergrond (variant opvijzelen en ophogen)  
*Hier wordt bepaald of de onderliggende kleilaag voldoende sterk is voor een ophoging van de dijk (Brinch Hansen).*
- Damwandlengte (variant damwand)  
*De lengte van de damwand wordt bepaald met de schematisatie van Blum.*
- Piping (alle varianten)  
*Stabiliteit tegen piping wordt bepaald op verschillende manieren, Bligh, Lane en de Voorschriften van Rijkswaterstaat.*
- Stabiliteit van het talud (variant opvijzelen en ophogen)  
*Taludstabiliteit wordt getoetst op een aantal criteria (onder andere Bishop).*

## Belasting door woningen

Het te ontwerpen gebied bestaat uit een dijk met aan beide zijden een dijkwoning. De belasting door de woningen op de ondergrond en de eventuele horizontale component van de optredende kracht wordt hier berekend.

### Aannames

- Het soortelijk gewicht van de woningen is geschat op  $3000\text{kg/m}^3$ .
- De inhoud wordt bepaald door het oppervlak van de buitenmuren, dak en vloerplaten te vermenigvuldigen met een dikte van 0,3m.
- De bovenbelasting door het gewicht van het huis is uniform over de lengte en de breedte verdeeld, waardoor de kracht op de fundering het gewogen gemiddelde van het totale gewicht van het huis is.
- De kracht van de fundering op de ondergrond is een lijnlast met een lengte 1,0m.
- De horizontale verplaatsing van de damwand is nihil, waardoor de symmetrietoepassing van Flamant te gebruiken is.
- De horizontale component grijpt van een afstand  $a$  vanaf de lijnlast aan op een diepte  $h=a*\tan(\phi)$ .

### Conclusie

Voor de variant 'damwand' spelen de horizontale krachten van de twee dichtstbijzijnde funderingen aan de binnenzijde een rol. De overige krachten vallen buiten de damwand. Aangenomen wordt wel dat de damwand tot in de kleilaag komt. Dit zal door latere berekeningen ook bevestigd worden.

$g = 10 \text{ m/s}^2$   
 $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

	$\gamma_d$	$\gamma_n$	$\varphi$
zand	16	20	$30^\circ$
klei	10	16	$20^\circ$
veen	1	11	5

In de eerste plaats wordt de belasting door de huizen bepaald. Hiervoor wordt een schuifwicht gebruikt van  $3000 \text{ kg/m}^3$ . De totale inhoud van huis 1 wordt dan:

gevel: dikte muren.  

$$\left( (5+5)5 \cdot \frac{1}{2} + (5+5)3 + 5 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} \right) 0,3 \cdot 3000$$

$$= 5,6 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

rest: dak schuif vloer.  

$$\left( 2 \cdot 5 \sqrt{2} + 3 + 6 + 5,8 \right) 0,3 \cdot 3000 + 2 \cdot 10 \cdot 0,3 \cdot 3000$$

$$= 4,4 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^3.$$

huis 1

② fundering onder de gevel.

$$\text{midden: } \frac{2}{4} \cdot (5,6 \cdot w^4 + 2,5 \cdot 4,4 \cdot w^4) \\ = 8,3 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

$$\text{hoek: } = 4,2 \cdot 10^4 \text{ kg.}$$

① fundering in het midden.

$$\text{midden: } \frac{2}{4} \cdot 4,4 \cdot w^4 \cdot 5 \\ = 11 \cdot w^4 \text{ kg.}$$

$$\text{hoek: } = 5,5 \cdot w^4 \text{ kg.}$$

De geschatte maatgevende fundering zijn dan:

$$F_1 = 5,5 \cdot w^4 \cdot w = 550 \text{ kN} \quad F_1' = 420 \text{ kN}$$

$$F_2 = 11 \cdot w^4 \cdot w = 1100 \text{ kN} \quad F_2' = 830 \text{ kN}$$

Voor huis 2 (gevel opp  $\approx 55 \text{ m}^2$ ) geeft dat:  
rest  $\approx 45 \text{ m}$

Onder de gevel:

$$\text{midden: } \frac{2}{6} (4,9 \cdot w^4 + 2,5 \cdot 4,1 \cdot w^4) \\ = 5,0 \cdot w^4 \text{ kg.}$$

$$\text{hoek: } = 2,5 \cdot w^4 \text{ kg.}$$

In het midden

$$\text{midden: } \frac{2}{6} \cdot 4,1 \cdot w^4 \cdot 5 \\ = 6,8 \cdot w^4 \text{ kg}$$

$$\text{hoek: } = 3,4 \cdot w^4 \text{ kg.}$$

$$F_4 = 6,8 \cdot w^4 \cdot w = 680 \text{ kN} \quad F_4' = 500 \text{ kN}$$

$$F_3 = 3,4 \cdot w^4 \cdot w = 340 \text{ kN} \quad F_3' = 250 \text{ kN}$$



Horizontale belasting door funderingen:

De verplaatsing van de damwand wordt zeer nihil verondersteld, daardoor is symetrie van Flamant gebruikbaar:

$$\sigma_{xx} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{F a^2 \cdot z}{(a^2 + z^2)^2}, \text{ uitgaande van een gladde wand.}$$

Dit is de formule voor twee puntlasten, maar de randvoorwaarden ( $u=0$  en  $\tau=0$ ) zijn gelijk.

$a$  is de afstand damwand - fundering  
 $z$  is de diepte van de damwand.

Over de gehele damwand wordt dat nu geïntegreerd: ingevuld tot een diepte  $h$ .

$$Q = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{1 + a^2/h^2}$$

$$Q_1 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_1}{1 + 11^2/2,5^2} = 170 \text{ kN} \times$$

$$Q_2 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_2}{1 + 6^2/5^2} = 287 \text{ kN}$$

$$Q_3 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_3}{1 + 1^2/6^2} = 341 \text{ kN}$$

$$Q_4 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_4}{1 + 9^2/5^2} = 51 \text{ kN} \times$$

$$Q_5 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_5}{1 + 12^2/3^2} = 22 \text{ kN} \times$$

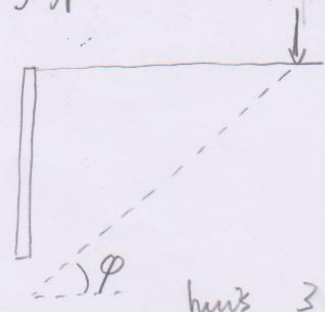
$$Q_6 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_6}{1 + 17^2/2^2} = 6 \text{ kN} \times$$

$$Q_7 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F_7}{1 + 21^2/2^2} = 2 \text{ kN} \times$$

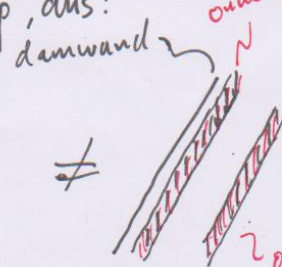
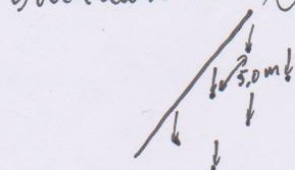


dus  $Q$  is ongelijk als  $a > \frac{h}{\tan \phi}$

dan grijpt  $Q$  onder de wand aan



De funderingen zijn echter puntlasten en geen strip, dus:  
boven aanzicht damwand



De puntlast wordt als  $q$ -last gezien gedeeld door de afstand tussen de funderingen.  
overschatting.

## Druk

Hier is in het kort achtergrondinformatie te lezen over waterdruk en actieve & passieve gronddruk. Doordat de varianten bestaan uit dijklichamen ontstaat geen volledige passieve wig, waardoor de berekeningen gecompliceerder worden. Hier wordt beschreven hoe de passieve en actieve wig werken.

## Conclusie

Als de damwand tot een diepte van meer dan 5,0m tot in de kleilaag moet komen, kan de actieve wig worden gereduceerd. De passieve wig moet al vanaf een diepte van net iets meer dan twee meter worden gereduceerd. De passieve wigreductie zorgt voor nadelige gevolgen voor de stabiliteit.

Daarnaast moet de horizontale grond- en waterdruk worden bepaald.

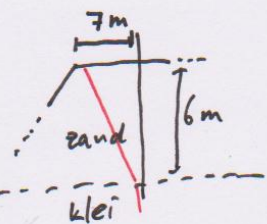
- Waterdruk.

De waterdruk is zonder slijtspanning, dus is horizontaal en verticaal gelijk. Het adaptief ontwerp maakt het wddoj te rekenen met een waterstand van NAP + 7,5m.

$$p = \gamma_w \cdot h$$

- Actieve gronddruk.

De afstand van de damwand tot aan de zijkant van de krui is 7,0 m. De kleilaag zit op 6,0 m onder mv. Als de damwand een meter in de kleilaag komt zal de actieve wig



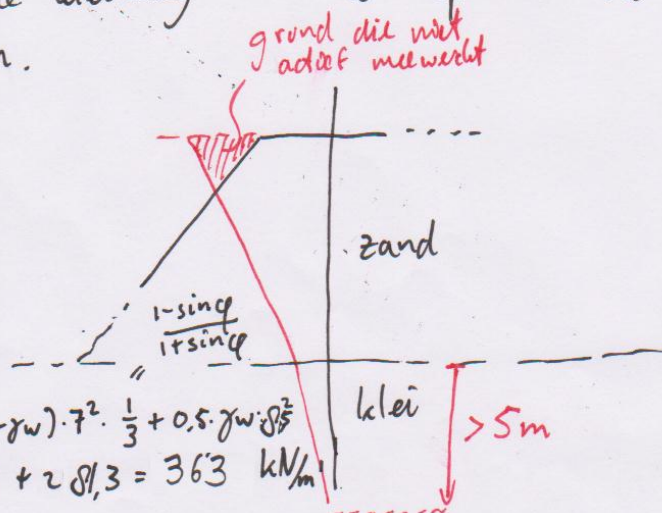
$$L = 1 \cdot \tan\left(45 - \frac{20}{2}\right) + 6,0 \cdot \tan\left(45 - \frac{30}{2}\right)$$

$$= 0,7 + 3,5 \text{ m} = 4,2 \text{ m}$$

Ruim binnen de krui, dus geen reductie, pas bij:

$$\frac{7,0 - 3,5}{0,7} = 5,0 \text{ m}$$

in de kleilaag valt de top van de wig buiten de krui.



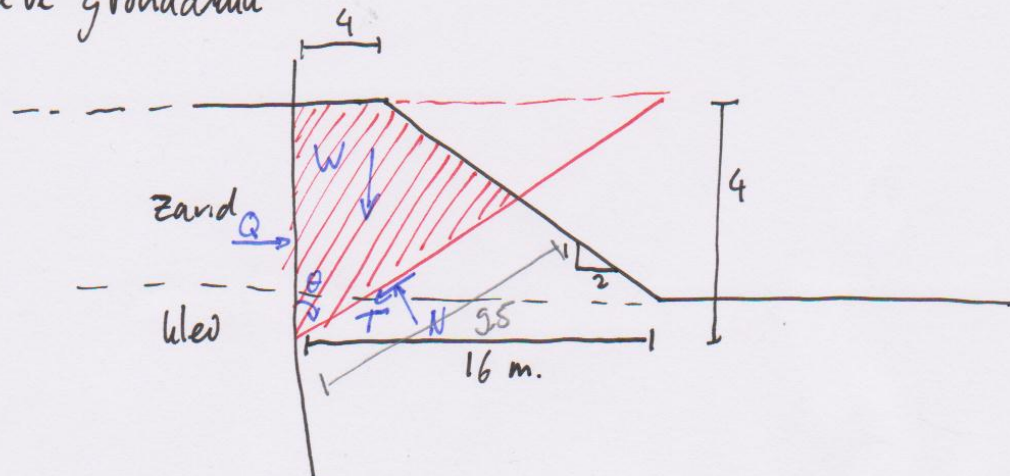
$$Q \approx \frac{1}{2}(\gamma_s - \gamma_w) \cdot 7^2 \cdot \frac{1}{3} + 0,5 \cdot \gamma_w \cdot 8^2$$

$$\approx 8,7 + 28,3 = 363 \text{ kN/m}$$

druk H



- Passieve gronddruk



Bij eenzelfde diepte van 1,0m in de kleilaag zal de passieve wij buiten de grond gaan (zie tekening). Dat is niet mogelijk, en de passieve gronddruk zal naar beneden moeten worden bijgesteld.

Horizontaal:

$$Q - T \sin \theta - N \cos \theta = 0$$

$$W - N \sin \theta + T \cos \theta = 0$$

$$\text{met } T = c \cdot 9,5 + N \tan \alpha = N \cdot \frac{1}{3} \sqrt{3}$$

↳ lengte afschuifvlakte (in zand, dus  $c=0$ )

$$W \approx 40 \text{ yd} = \text{kN/m'}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} = 45 + 15 = 60^\circ$$

$$\cos \theta = 0,5 ; \sin \theta = \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$\begin{cases} Q - \frac{1}{2} \sqrt{3} \cdot N \cdot \frac{1}{3} \sqrt{3} - N \cdot 0,5 = 0 \Rightarrow Q = N \\ W - N \cdot \frac{1}{2} \sqrt{3} + N \cdot \frac{1}{3} \sqrt{3} \cdot 0,5 = 0 \Rightarrow W = 1,155 N \end{cases}$$

$$\rightarrow Q = \frac{W}{1,155} = 34,6 \text{ yd} = 554,1 \text{ kN/m'}$$

druk 2

## Afschuiven

In het geheel afschuiven lijkt voor een dijklichaam van zand niet voor de hand liggend te zijn. Toch wordt dit voor de zekerheid gecontroleerd.

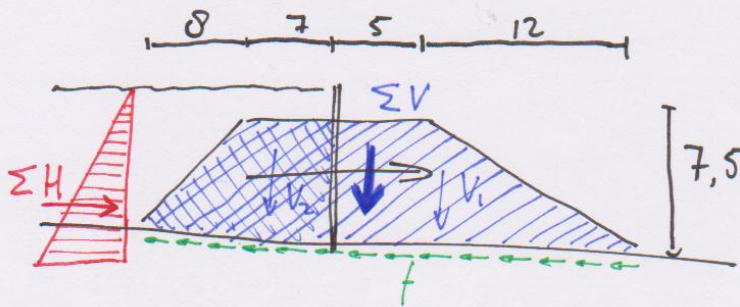
### Aannames

- De wrijvingshoek bedraagt  $2/3$  van de hoek van inwendige wrijving.
- De grond aan de binnenkant van de damwand wordt als droog beschouwd.
- De golfslag met een golfhoogte van 1,0m (zware overschatting) wordt opgevangen door het huis. Aangenomen wordt dat de golven niet breken.  $H/d \geq 0.78$  en  $H/L \geq 1/7$  moeten (theoretisch) waar zijn als de golf breekt. Dit geeft aan dat de golflengte minstens zeven meter moet zijn. De precieze golflengte is onbekend en moet hiervoor onderzocht worden.
- De golven reflecteren niet tegen het huis.
- De aanvaarbeasting wordt bepaald met het grootst mogelijke toegelaten schip op de Merwede CMT VIc.
- De afstand waarover het schip tot stilstand komt bedraagt  $d=10,0\text{m}$ . Dit is niet rechtstreeks de dijk in, maar het schip zal schuin tegen de dijk omhoog gaan. Deze waarde is echter zeer onzeker en er is dus vervolgonderzoek nodig voor een precieze indicatie van de aanvaarbeasting. Bij een afstand van  $d=5,0$  in plaats van  $d=10,0\text{m}$  wordt de belasting immers twee keer zo groot.
- Incidentele belastingen door ijs (aangenomen wordt een belasting van  $30\text{kN/m}^1$ ) of aardbevingen worden buiten beschouwing gelaten, omdat de aanvaarbeasting als maatgevend wordt beschouwd. Uit de berekening van aanvaarbeasting ( $59,4\text{kN/m}^1$ ) inderdaad groter is.
- Belasting door de huizen wordt buitendijks vermenigvuldigd met een factor ( $2/3$ ) naast de gebruikelijke veiligheidsfactor, om zo opdrijven in rekening te brengen. Het is een onderschatting van de werkelijk optredende belasting.
- Wanneer de dijk tot het maximum met water wordt belast wordt verondersteld dat er geen gebruikers (auto's) op de dijk aanwezig zijn; deze zouden dan immers een meter onder water staan.

### Conclusie

De dijk met damwand is de minst zware variant en dus het minst stabiel tegen afschuiven, aangenomen is dat de damwand niet tot in de kleilaag zit (overschatting) waardoor een glijvlak over de kleilaag optreedt. Dit blijkt na een unitycheck een veiligheid van 1,66 te hebben en wordt daarmee als veilig beschouwd.

Horizontale stabiliteit van het dijlichaam



$$H_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot h = 281 \text{ kN/m'}$$

$$V_g = V_2 + V_1$$

↑ opdrijven

$$= (7 + (7 + 8)) \cdot \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot (\gamma_m - \gamma_w) + (5 + (5 + 12)) \cdot \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot \gamma_d$$

$$= 825 + 1320 = 2145 \text{ kN/m'}$$

- f: • zand-zand →  $\varphi = 30^\circ$ ,  $\delta \approx \frac{2}{3} \varphi = 20^\circ$   
 • klei-klei →  $\varphi = 20^\circ$ ,  $\delta \approx \frac{2}{3} \varphi = 13\frac{1}{3}^\circ$

$$f = \tan \delta = 0,24$$

Een extra horizontale kracht op de dijk is door golven tegen het knis.



deze golfkracht wordt bepaald met Saintflou:

$$h_0 = \frac{1}{2} k \cdot a_w^2 \cdot \coth(k \cdot d) = 1,3 \text{ m}$$

- $a_w$  = golfhoogte  $\frac{I_{aw}}{I_{sw}}$  geschat op 0,5 m.  
 $d$  = diepte (7,5 m)  
 $k$  = golfgetal =  $2\pi/L \approx 0,5 \text{ m}^{-1}$



$$p_1 = \rho \cdot g \cdot (a_w + h_0)$$

$$= 18 \text{ kN/m}^2$$

$$F_1 = \frac{1}{2} p_1 \cdot (a_w + h_0) =$$

$$= 16,2 \text{ kN/m}$$

$$P = \frac{\rho g a_w}{\cosh(ckd)} = \frac{10 \cdot 0,5}{42,5}$$

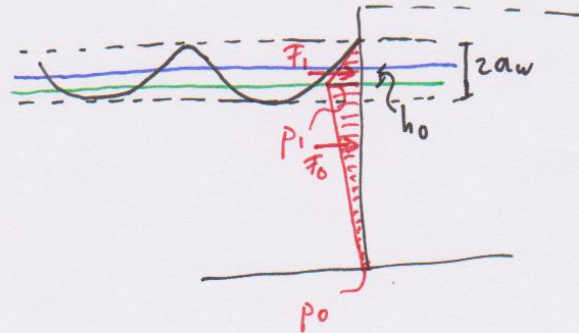
$$= 0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$F_0 = p_0 \cdot d + \frac{1}{2} (p_1 - p_0) \cdot d$$

$$= 0,9 + 67,05$$

$$= 68 \text{ kN/m}$$

$$F_h = 16,2 + 68 = 84,2 \text{ kN/m}$$



Aan vaar belasting:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_s \cdot v_s^2 \cdot C_H \cdot C_E \cdot C_S \cdot C_c$$

$$m_s = \rho \cdot L \cdot B \cdot D \cdot C_B = 24 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$C_B \approx \frac{\pi}{4}$$

$$v_s = 0,15 \text{ m/s}$$

$$C_H = \frac{m_s + m_w}{m_s} = 1,1$$

$$m_w = \rho \cdot L \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = 3,2 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$C_E = 1,0$  bij een aanvaring is deze coëfficiënt niet belangrijk (geen energieverlies door hydroaaien van het schip.)

$C_S = 1,0$ , dit wordt zacht beschouwd, dus geen energieverlies door 'invouwen' van het schip.

$C_c = 1,0$ , wrijvingsverlies door een aarbay van water wordt niet meegenomen.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot 0,15^2 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$= 297 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = 297 \text{ kNm}.$$

$$E = \frac{1}{2} F_a \cdot d \Rightarrow F_a = \frac{2E}{d}$$

De afstand  $d$  is lastig om te schatten, dit is de afstand waarover het schip tot stilstand komt. Uitgegaan wordt van een afstand van 10,0 m. Het schip zat dan tegen de damwand liggen. Kracht  $F_a = \frac{2}{10} \cdot 297 = 59,4 \text{ kN}$

Belasting door ijs en aardbevingen wordt in deze berekening buiten beschouwing gelaten. Voor het definitieve ontwerp moet hier wel naar gekeken worden.

Rijkswaterstaat:

Merveede

CMT-klasse Vlc

L = 200

B = 34

D = 4,5



$\Sigma H :$	$\gamma$
- waterdruk	1,2
- golf belasting (Sainflou)	1,5
- aanvaarbelasting	1,5

Om de totale belasting  $\Sigma H$  te bepalen wordt aangenomen dat alle belastingen tegelijk optreden met de bovinstaande veiligheidsfactor  $\gamma$ . Over een breedte van 1,0 m.

$$\begin{aligned}\Sigma H &= \gamma H_w + \gamma F_h + \gamma F_a \\ &= 1,2 \cdot 281,1 + 1,5 \cdot 84,2 + 1,5 \cdot 59,4 \\ &= 552,6 \text{ kN}\end{aligned}$$

$\Sigma V :$	$\gamma$
- zand van het dijklichaam	0,9
- huizen op de dijk	$0,9 \cdot \frac{2}{3}$
- opwaartse waterdruk	0,9

Belasting van het schip en eventuele gebouwen (auto's ed.) op de dijk worden verwaarloosd. De huizen worden meegenomen met een veiligheidsfactor  $0,9 \cdot \frac{2}{3}$ , om de onzekerheid en opdrijven mee te nemen.

$$\begin{aligned}\Sigma V &= \gamma V_g + \gamma \cdot (2F_1' + F_2' + 2(F_3' + F_4')) \\ &= 0,9 \cdot 2145 \cdot 1 + 0,9 \cdot \frac{2}{3} \cdot (2 \cdot 420 + 830 + 2 \cdot (500 + 250)) \\ &= 3832,5 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\Sigma H < F \cdot \Sigma V$$

$$552,6 \text{ kN} < 0,24 \cdot 3832,5 = 919,8 \text{ kN} \quad \text{voldoet: } uc = \frac{919,8}{552,6} = 1,66$$

afschrijven 4

## Rotatie

Naast afschuiven is ook rotatie van het dijklichaam in het geheel niet erg waarschijnlijk maar zal wel worden gecontroleerd. Aangenomen wordt hierbij dat het dijklichaam als één constructiedeel zal roteren, hetgeen onwaarschijnlijk is voor een zanddijk. Men kan zich voorstellen dat een stijle dijk zich deels gedraagt als een vast constructiedeel. In de praktijk zal de dijk niet letterlijk roteren, maar het bezwijkmechanisme kan wel ten grondslag liggen aan het daadwerkelijke bezwijkmechanisme. Het rotatiepunt (K) bevindt zich hierbij in het midden van de dijk.

## Conclusie

De veiligheidsfactor bedraagt 1,27 en de dijk wordt hiermee als veilig beschouwd op dit faalmechanisme. De overige varianten worden niet meer berekend omdat die door een grotere breedte en massa alleen maar stabiel zijn. Voor de berekening zijn meerdere aannames gedaan, allemaal nadelig voor de stabiliteit, de toegepaste versterkt dit effect.



Rotatiestabiliteit van het  
dijklichaam.

$\Sigma M$ : Om het middelpunt K.

	$M_{Hw}$	$M_{F_H}$	$M_{F_a}$	$- M_{F_{x'}}$	$- M_{F_L}$	$+ M_{F_R}$	$+ M_{F_x}$
$\gamma$	1,2	1,5	1,5	$0,9 \cdot \frac{2}{3}$	0,9	1,2	1,5

$$\Sigma M = 1,2 \cdot 703,1 + 1,5 \cdot 469,9 + 1,5 \cdot 178,2 - 0,9 \cdot \frac{2}{3} \cdot 20250$$

$$- 0,9 \cdot 6547,5 + 1,2 \cdot 8911,5 + 1,5 \cdot 16500$$

$$= 19,2 \text{ MNm}$$

$$e_R = \frac{\Sigma M}{\Sigma V} \leq \frac{1}{6} b$$

$$= \frac{19,2 \cdot 10^6}{3,8 \cdot 10^6} \leq \frac{1}{6} \cdot 39$$

$$5,1 \leq 6,5 \text{ voldoet: } u_c = \frac{6,5}{5,1} = 1,27$$

Afschrijven 5

$\curvearrowright$   
 $M_{Hw}:$

$$M_{Hw} = H_w \cdot l_{Hw}$$

$$= 281 \cdot \frac{1}{3} \cdot 7,5$$

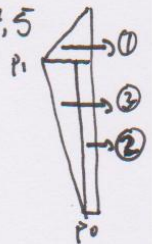
$$= 703 \text{ kNm/m'}$$

$\curvearrowright$   
 $M_{FH}:$

$$M_{FH} = (7,5 + \frac{a_v + h_b}{3}) \cdot F_1 + \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot p_0 \cdot d + 7,5 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot (p_1 - p_0) \cdot 7,5$$

$$= 131,2 + 3,4 + 335,3$$

$$= 469,9 \text{ kNm/m'}$$



$\curvearrowright$   
 $M_{Fa}:$

diepgang v.h. schip.

$$M_{Fa} = F_a \cdot l \quad \text{met } l = 7,5 - 4,5 = 3,0 \text{ m}$$

$$= 59,4 \cdot 3$$

$$= 178,2 \text{ kNm}$$

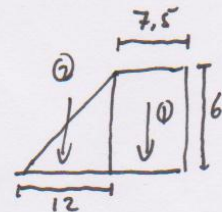
$\curvearrowleft$   
 $M_{Fe}:$

opdrijven.

$$M_{Fe} = 7,5 \cdot 7,5 \cdot 6,0 \cdot (\gamma_n - \gamma_w) \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot 12,0 \cdot 6,0 \cdot (\gamma_n - \gamma_w) \cdot (7,5 + 12 \cdot \frac{1}{2})$$

$$= 1687,5 + 4860$$

$$= 6547,5 \text{ kNm/m'}$$



$\curvearrowleft$   
 $M_{F'_x}:$

$$M_{F'_x} = 7,5 \cdot F'_3 + (7,5 + 4) \cdot F'_4 + (7,5 + 2 \cdot 4) \cdot F'_2 + (7,5 + 3 \cdot 4) \cdot F'_3$$

$$= 27 \cdot 250 + 27 \cdot 500$$

$$= 20250 \text{ kNm}$$

afsluiten 6

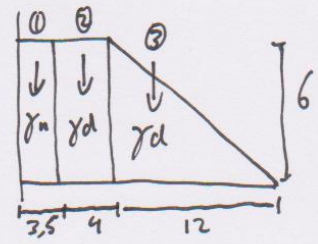
↘  
 $M_{F_y}$  :

$$M_{F_y} = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot 3,5 \cdot 6,0 \cdot (20 - 10) + \left(3 + \frac{1}{2} \cdot 4\right) \cdot 4 \cdot 6 \cdot 16 +$$

$$\left(3,5 + 4 + \frac{1}{3} \cdot 12\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot 6 \cdot 16$$

$$= 367,5 + 1920 + 6624$$

$$= 8911,5 \text{ kNm/m'}$$

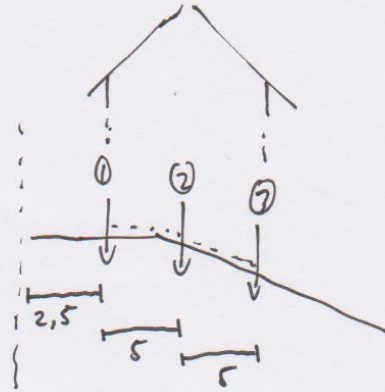


↘  
 $M_{F_x}$  :

$$M_{F_x} = 2,5 \cdot F_1 + 7,5 \cdot F_2 + 12,5 \cdot F_1$$

$$= 2,5 \cdot 550 + 7,5 \cdot 1100 + 12,5 \cdot 550$$

$$= 16500 \text{ kNm.}$$



Afsluiten 7

## Zetting

De variant 'opvijzelen' voldoet aan de waterkerende hoogte door onder de woningen een ophoging van zand te plaatsen. De hoeveelheid zand wordt naast de benodigde inhoud bepaald door de klink en de zetting van de grond in rekening te brengen.

### Aannames

- Er worden geen materiaalfactoren gebruikt, omdat het voornamelijk om als bekend veronderstelde gronden gaat.
- Berekeningen worden uitgevoerd met de formule van Koppejan.
- Waterdruk wordt onsamendrukbaar aangenomen.
- De waterdruk binnendijks verloopt lineair met de diepte vanaf de grondwaterstand. Door de aanwezige kleilaag kan er overdruk heersen in de onderliggende grondlagen, waardoor onderzoek is vereist.
- De belasting door de huizen wordt niet meegenomen, dit is een onderschatting van de initiële belasting en dus een overschatting van de zetting.
- De huizen vormen geen verhoging voor de belasting, doordat deze gefundeerd staan op het huidige dijklichaam.
- De huidige dijk wordt beschouwd als in de eindzetting, dit is een zware onderschatting.

### Conclusie

De zetting van de kruin van de nieuwe dijk bedraagt ongeveer 13cm. Zoals beschreven is dit een onderschatting, daarom is onderzocht wat de zetting bedraagt als de huidige dijk ook op dit moment aangelegd zou worden. De zetting bedraagt dan 2,0m. Dit is een zware overschatting. Met de bepaalde spanningen is bepaald dat de zetting praktisch ten einde is, dat is namelijk al na één jaar:

$$t_{99\%} = \frac{1,784 * h^2}{C_v} \approx 1 \text{ jaar}$$

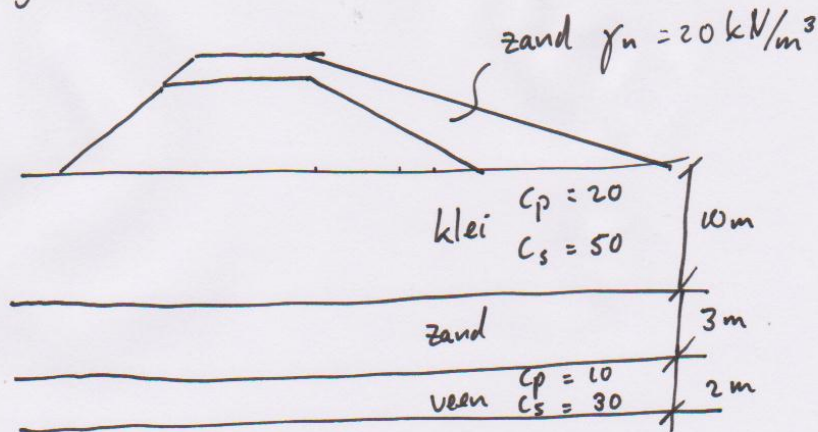
$$\begin{aligned} h &= 10 \\ C_v &= 1,3 * 10^{-6} \end{aligned}$$

De bijbehorende zetting na één jaar is dan al bijna de genoemde twee meter. Onderzoek naar deze gegevens is vereist, aangenomen wordt dat de kruin ongeveer 25cm zakt. Deze waarde ligt ver van 2,0m omdat de dijk al zeer lange tijd ligt en daardoor al een groot deel van die twee meter is gezakt.

De overige varianten kennen weinig toegevoegde bovenbelasting, waardoor de zetting niet wordt meegenomen in de berekeningen. De zetting van de andere varianten bedraagt een fractie van de bepaalde 25cm uit de variant met opvijzelen.



zetting,

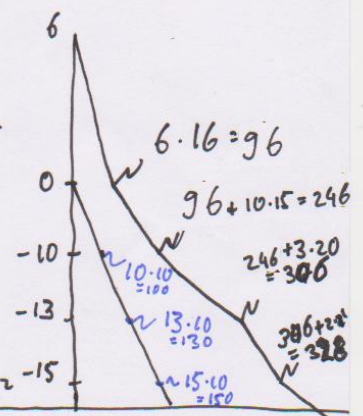


Om een inschatting te maken hoeveel grond er op de dijk moet komen om een verhoging van 1,0 m te krijgen, wordt een globale zettingsberekening uitgevoerd (Koppejan).

$$\epsilon = u \left[ \frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_s} \log \left( \frac{t}{t_1} \right) \right] \ln \left( \frac{\sigma'_1}{\sigma'_1} \right)$$

indagen  
1 dag

De initiële spanning in de kleilaag is:  
Omdat er geen gegevens bekend zijn van de waterdruk in de eerste zandlaag wordt aangenomen dat die gelijk is aan die door de grondwaterstand, ook al zit er een ondoorlatende kleilaag boven.



$$\sigma'_1 \text{ (halverwege kleilaag)} = 171 - 50 = 121 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_1 \text{ (halverwege veenlaag)} = 317 - 140 = 177 \text{ kN/m}^2$$

Hierbij worden de huizen op de dijk verwaarloosd en is de een onderschatting van  $\sigma'_1$  en dus een overschatting van  $\epsilon$ .

zetting 4

In de eerste plaats wordt de consolidatiecoëfficiënt bepaald:

$$u_1 \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{C_v \cdot t}{h^2}} \quad \text{als } U < 0,7$$

↳ Halve laagdikte omdat tweezijdige afstroming.

$$u_2 \approx 1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e\left(\frac{-\pi^2}{4} \cdot \frac{C_v \cdot t}{h^2}\right) \quad \text{als } U > 0,5$$

$$C_v = \frac{k}{\gamma_w \cdot m_v} \Rightarrow \text{water wordt oncompressibel verondersteld.}$$

$$m_v = \epsilon_z / \Delta \sigma$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{c_p} \cdot \ln\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}\right)$$

$$t_1 = 31,5 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$t_{10} = 315 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$t_{100} = 315 \cdot 10^9 \text{ s}$$

$$t_{1000} = 315 \cdot 10^{12} \text{ s}$$

$$t_{10000} = 315 \cdot 10^{15} \text{ s}$$

		klei	Veen
H	m	10	2
h	m	5	1
c <sub>p</sub>	-	20	10
c <sub>s</sub>	-	50	30
k	m/s	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-6</sup>
σ' <sub>0</sub>	kN/m <sup>2</sup>	141	197
σ' <sub>1</sub>	kN/m <sup>2</sup>	121	177
ε <sub>z</sub>	m/m	7,7 · 10 <sup>-3</sup>	1,1 · 10 <sup>-2</sup>
m <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /kN	3,5 · 10 <sup>-3</sup>	3,5 · 10 <sup>-4</sup>
C <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /s	2,56 · 10 <sup>-7</sup>	1,82 · 10 <sup>-7</sup>

	t <sub>1</sub>	t <sub>10</sub>	t <sub>100</sub>	t <sub>1000</sub>	t <sub>10000</sub>
u <sub>1</sub> klei	0,36				
Veen					
u <sub>2</sub> klei		1	1	1	1
Veen	1	1	1	1	1
klei ε	7,7 · 10 <sup>-4</sup>	34 · 10 <sup>-4</sup>	14 · 10 <sup>-3</sup>	17 · 10 <sup>-3</sup>	20 · 10 <sup>-3</sup>
Δz (mm)	7,7	34	138	168	199
Veen ε	1,1 · 10 <sup>-2</sup>	1,4 · 10 <sup>-2</sup>	1,8 · 10 <sup>-2</sup>	2,1 · 10 <sup>-2</sup>	2,5 · 10 <sup>-2</sup>
Δz (mm)	21	29	36	43	50
ΣΔz (mm)	29	63	174	211	249

Op t<sub>99%</sub> is de consolidatie praktisch ten einde:  $t_{99\%} = \frac{1,784 \cdot h^2}{c_v} = 5,5 \text{ jaar}$

De zinking bedraagt dan 99 + 27 = 126 mm. Het is echter onzeker hoe lang de huidige dijk er al ligt en dus wat de consolidatie nog doet. Stel de dijk ligt er net: Dan zakt de dijk minimaal alsnel meer dan twee meter. Dat is natuurlijk extreem, maar maakt wel duidelijk dat onderzoek noodzakelijk is.

$$\begin{aligned} \sigma'_0 &= 25 \text{ kN/m}^2 \\ \sigma'_1 &= 141 \text{ kN/m}^2 \\ \epsilon &= 0,086 \\ m_v &= 7,5 \cdot 10^{-4} \\ C_v &= 1,3 \cdot 10^{-6} \\ u &= 1 \\ \epsilon &= 1,99 \text{ m} \end{aligned}$$

zinking  
5



## Draagkracht van de onderliggende kleilaag

Hier wordt gecontroleerd of de onderliggende kleilaag überhaupt sterk genoeg is voor een dergelijke dijkverzwaring. De controle wordt uitsluitend uitgevoerd voor de variant 'opvijzelen' omdat hiermee de grootste stijging in gewicht/lengte-verhouding gemoeid is.

### Aannames

- Voor de bepaling van de draagkracht van de onderliggende grondlaag wordt gebruik gemaakt van de formule van Brinch Hansen. Deze formule is gebaseerd op de theorie over glijvlakken van Prandtl.
- Er worden geen materiaalfactoren gebruikt, omdat het voornamelijk om bekend veronderstelde gronden gaat.
- De draagkracht van de onderliggende laag wordt bepaald door de draagkracht van de kleilaag te berekenen.
- De bijbehorende cohesie bedraagt  $c=15$  kPa.
- De breedte  $B$  van de constructie bedraagt 1,0m.
- De belasting op de grond gedraagt zich als een uniform verdeelde belasting, dus alsof het dijklichaam met huizen een betonnen plaat is met dezelfde massa. Dit is waarschijnlijk mogelijk door de hoogte van de dijk, hierdoor spreidt de puntlast zich over een groter oppervlak.

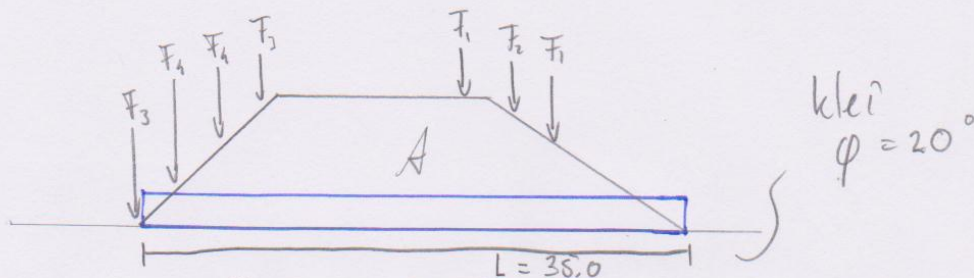
### Conclusie

In de eerste plaats is gecontroleerd of de kleilaag krachtig genoeg is, wanneer de dijk geen waterkerende functie heeft (laag water, dus een onverzadigde dijk). De dijk blijkt dan voldoende veilig te zijn, zelfs wanneer het dijklichaam als verzadigde grond wordt verondersteld. Vervolgens is de gevoeligheid van de factor bepaald door een andere aanname te doen ten aanzien van het deel van de dijk dat belast wordt. Het centrale deel van de dijk is als uniforme belasting aangenomen met de taluds als gronddekking ( $q$ ), deze toepassing blijkt echter een veel hogere veiligheidsfactor te hebben. Het optredende glijvlak is echter lastig te bepalen waardoor de bovenbelasting mogelijk grof is overschat. Toch wordt de eerdere aanname (gehele dijk als plaat aannemen) beschouwd als een voldoende controle in droge toestand. In een later stadium voldoet deze berekening niet en moet het grondiger gecontroleerd worden.

Een volgende stap is dat er gekeken is naar de draagkracht van de kleilaag bij extreem hoog water. Het dijklichaam bestaat hierbij uit volledig verzadigde grond. Door de bijkomende horizontale krachten komt de resulterende kracht  $F$  onder een bepaalde hoek te staan. Uit de berekening blijkt dat ook onder deze omstandigheden voldoende veiligheid gewaarborgd wordt.

Door het aanbrengen van een kleine verandering in de aannames ( $c=14$ , of  $\gamma_n=21$ ) wordt bepaald wat de gevoeligheid van de berekening is. Door de berekening nogmaals uit te voeren met deze nieuwe waarden is bepaald dat de ondergrond nog steeds voldoende veilig is, maar dat de veiligheidsfactor afneemt. Aangeraden wordt dan ook grondig onderzoek te doen naar de precieze waarde van de constanten.

Draagkracht van de onderliggende laag.



Aangenomen wordt het dijklichaam met huzen zich gedraagt als een vlakke plaat. De onderliggende kleilaag heeft een bepaalde draagkracht berekend met Brinch Hansen.

$$p'_{\max} = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

$$\begin{aligned} c' &= 15 \text{ kPa} & q' &= 0 & \gamma' &= 15 \\ N_c &= (N_q - 1) \frac{1}{\tan \varphi} & N_q &= \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{H \tan \varphi} & N_\gamma &= 2(N_q - 1) \tan \varphi \\ s_c &= 1 + 0,2 \frac{B}{L} & s_q &= 1 + \frac{B}{L} \sin \varphi & s_\gamma &= 1 - 0,3 \frac{B}{L} \\ i_c &= 1,0 \text{ (geen horizontale kracht)} & i_q &= 1,0 & i_\gamma &= 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 15 \cdot 14,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0 \cdot 6,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0,5 \cdot 15 \cdot 3,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \\ &= 222,0 + 0 + 29,3 \\ &= 251,3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

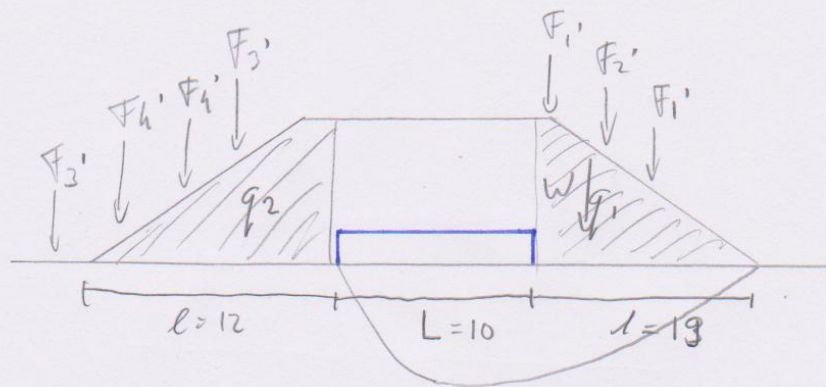
$$F_{\max} = p_{\max} \cdot 41 = 10,3 \text{ MN/m}$$

$$\begin{aligned} F &= \sum F_i + A \cdot \gamma_d \\ &= 4240 + 7 \cdot \frac{12 + 41}{2} \cdot 16 \\ &= 7,2 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$UC = \frac{F_{\max}}{F} = \frac{10,3}{7,2} = 1,43 \text{ voldoet.}$$

draagkracht ①





Het volgende geval is wederom droog, maar nu wordt de plaat in de dijk aangenomen, de talud aan beide kanten vormen bovenbelasting  $q$ .

$$q_1 = \frac{\sum F_v}{l} = \frac{2F_1' + F_2' + \frac{1+19}{2} \gamma d}{19} = 97,9 \text{ kN/m'}$$

$$\begin{aligned} P_{\max} &= 15 \cdot 14,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 97,9 \cdot 6,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 15 \cdot 3,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \\ &= 226,4 + 626,5 + 28,4 \\ &= 881,3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

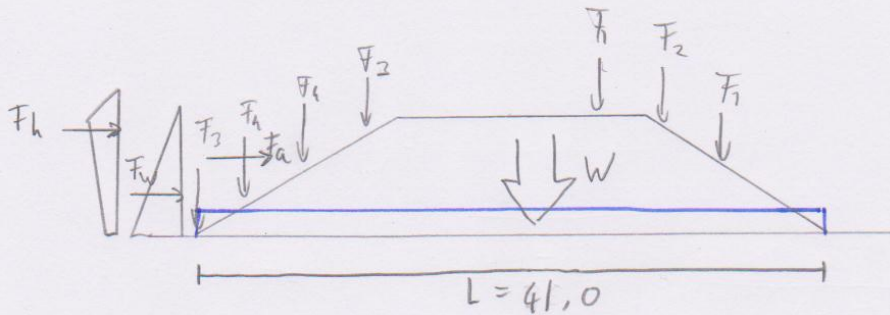
$$F_{\max} = 881,3 \cdot 10 = 8,8 \text{ MN/m'}$$

$$F = L \cdot h \cdot \gamma d = 10 \cdot 7,0 \cdot 16 = 1120 \text{ kN/m'}$$

$$UC = \frac{8,8}{1,1} = 8,0 \quad \text{voldoet.}$$

Door aanname van een buitenbelasting  $q$  wordt het dijklidraam vele malen stabielere.

draagkracht 2.



$F_1 = 550 \text{ kN}$

$F_2 = 1100 \text{ kN}$

$F_3 = 340 \text{ kN}$

$F_4 = 680 \text{ kN}$

$F_h = 84,2 \text{ kN/m'}$

$F_a = 59,4 \text{ kN}$

$F_w = 281,3 \text{ kN/m'}$

$W = \frac{41 + 12}{2} \cdot \text{h} \cdot \gamma_d = 2568 \text{ kN/m'}$  als  $\gamma = \gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow W = 3710$

$\Sigma H = 424,6 \text{ kN}$

$\Sigma V = 6872 \text{ kN}$

$\Sigma H_n = 424,6 \text{ kN}$

$\Sigma V_n = 7550 \text{ kN}$

$N_g = 6,4$  ,  $N_c = 14,8$  ,  $N_\gamma = 3,9$

$S_g \approx 1,0$  ,  $S_c \approx 1,0$  ,  $S_\gamma \approx 1,0$

$\Sigma H$  loopt parallel aan  $L$  dus:

$i_c = \frac{i_g \cdot N_g - 1}{N_g - 1}$  ,  $i_g = i_\gamma = 1 - \frac{\Sigma H}{\Sigma V + B \cdot L \cdot c \cdot \frac{1}{\tan \varphi}}$  = 0,96

=  $\frac{0,55 \cdot 6,4 - 1}{6,4 - 1}$

= 0,94 = 0,96

=  $1 - \frac{424,6}{6872 + 41 \cdot 15 \cdot \frac{1}{\tan 20}}$

= 0,95

$p_{max} = 15 \cdot 14,8 \cdot 1,0 \cdot 0,94 + 0 + 0,5 \cdot 15 \cdot 1,0 \cdot 3,9 \cdot 1,0 \cdot 0,95$

=  $208,7 + 27,8$

=  $236,5 \text{ kPa}$

$F_{max} = 9,7 \text{ MN/m'}$

$F = 6,5 \text{ MN/m'}$

=  $212,2 + 28,1$

=  $240,3 \text{ kPa}$

$\rightarrow F_{max} = 9,8 \text{ MN}$

$F = 8,0 \text{ MN}$

$uc = 1,41$  voldoet

$uc = 1,26$  voldoet

draagkracht ③

gevoeligheid van de aannames.

$$\text{stel } c = 14 \text{ kPa} \quad \text{ipv.} \quad c = 15 \text{ kPa.}$$

$$\text{dan } p_{\max} = 226,2 \text{ kPa} \quad \text{ipv.} \quad 240,3 \text{ kPa.}$$

$$F_{\max} = 9,3 \text{ MN} \quad \text{ipv.} \quad 9,8 \text{ MN.}$$

$$uc = 1,16 \quad \text{ipv.} \quad 1,26$$

dat is al snel een verschil van bijna 10%,  
aangeraden wordt om grondig onderzoek te doen  
naar de waarde  $c$ .

$$\text{stel } \gamma_n = 21 \text{ kN/m}^3 \quad \text{ipv.} \quad 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{dan } W = 3896 \text{ kN/m} \quad \text{ipv.} \quad 3710$$

$$F = 8,2 \text{ MN} \quad \text{ipv.} \quad 8,1 \text{ MN}$$

$$uc = 1,21 \quad \text{ipv.} \quad 1,26$$

Ook deelt schuilt hier wat in de  $uc$ , ook hiervoor  
wordt aangeraden onderzoek te doen naar de precieze  
waarde van  $\gamma_n$  van de dijk.

draagkracht@



## Damwandlengte

De variant 'damwand' heeft een damwand waarvan de lengte bepaald moet worden. In eerste instantie gebeurt dit door middel van een damwandberekening. De lengte van de damwand die wordt bepaald met deze berekening vormt de ondergrens voor de lengte van deze damwand. De damwandberekening wordt gedaan middels een stappenplan:

1. De diepte waar de gronddruk aan beide kanten van de damwand gelijk is wordt bepaald.
2. De diepte waar het moment nul is wordt bepaald.
3. De diepte waar de som van de horizontale krachten op de damwand (=dwarskracht) gelijk is aan nul wordt bepaald.
4. Het optredende moment bij een diepte uit stap 3 wordt bepaald.
5. Het benodigde profiel wordt bepaald door middel van het maximaal optredende moment.

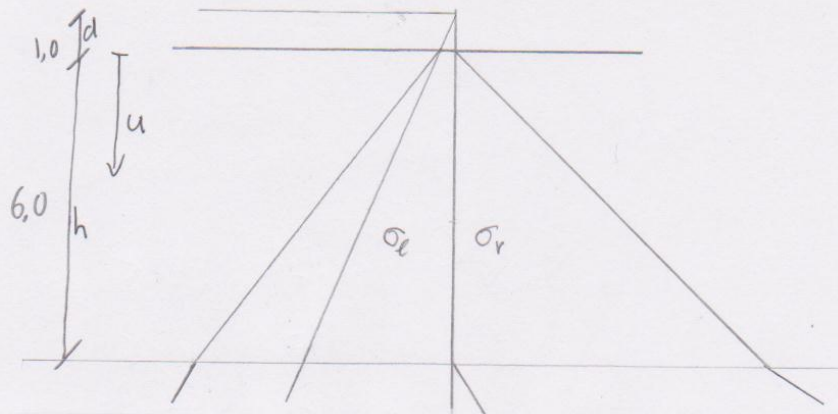
## Aannames

- Er worden geen materiaalfactoren gebruikt, omdat het voornamelijk om bekend veronderstelde grond gaat.
- De grond binnendijks van de damwand wordt als zijnde droog beschouwd.
- Voor de q-last veroorzaakt door de reductie van de passieve wig wordt een gemiddelde waarde aangenomen.
- Aanvaarbelasting wordt in het geheel opgevangen door het dijklichaam.
- Golfbelasting wordt in het geheel opgevangen door het huis dat ervoor staat.

## Conclusie

De damwand heeft een minimale inheidiepte van 3,7m. De lengte bedraagt 4,7m. Het gekozen profiel is Larssen 20. Dit is het meest lichte profiel dat voldoet aan het maximaal optredend moment in de wand. Dit is een gangbare damwand om de efficiëntie van de uitvoering van de bouw te bevorderen. Het gewicht bedraagt 79kg/m<sup>2</sup>. Computerprogramma's zijn een preciezere bepaling voor de benodigde minimale lengte van de damwand.

Minimale damwandlengte



① Bepaal diepte  $u$  waar geldt  $\sigma_l = \sigma_r$

$$\sigma_l = k_a \cdot \sigma_{a,eff} + \sigma_w$$

$$= k_a \cdot [(\gamma_n - \gamma_w)u] + (u+d)\gamma_w = \frac{1}{2} \cdot 10u + 10u + 10$$

$$= 13,33u + 10$$

$$\sigma_r = k_p \cdot \gamma_d \cdot u = 3 \cdot 16 \cdot u = 48u$$

$$\sigma_l = \sigma_r$$

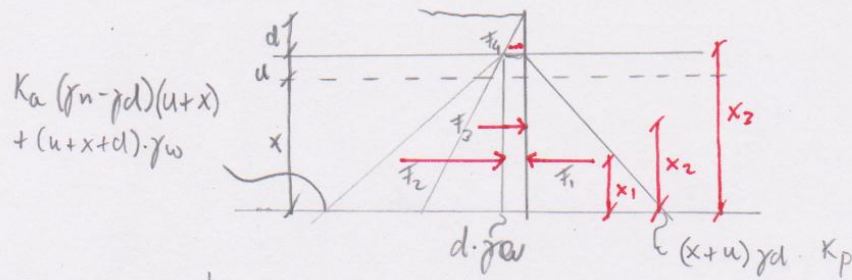
$$13,33u + 10 = 48u$$

$$10 = 34,67u$$

$$u = 0,3 \text{ m}$$

damwand ①

② Bepaal de diepte  $x$  waarvoor geldt  $\Sigma M = 0$



$$x_1 = \frac{1}{3}(x+u)$$

$$x_2 = \frac{1}{2}(x+u)$$

$$x_3 = (x+u) + \frac{1}{3}d$$

$$F_1 = \frac{1}{2}(x+u)^2 \gamma d \cdot K_p \cdot 0,5$$

$$F_2 = (K_a(\gamma_n - \gamma d)(u+x) + (u+x)\gamma_w) \cdot \frac{1}{2} \cdot (u+x) \cdot 1,2$$

$$F_3 = d \cdot \gamma_w \cdot (u+x) \cdot 1,2$$

$$F_4 = d \cdot \gamma_w \cdot d \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,2$$

$$\Sigma M = 0 :$$

$$-F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + F_3 \cdot x_2 + F_4 \cdot x_3 = 0$$

$$-7,2(x+u)^3 + 2,67(x+u)^3 + 6,0(x+u)^2 + 6,0(x+u) + 2,0 = 0$$

$$-4,53(x+u)^3 + 6,0(x+u)^2 + 6,00(x+u) + 2,0 = 0$$

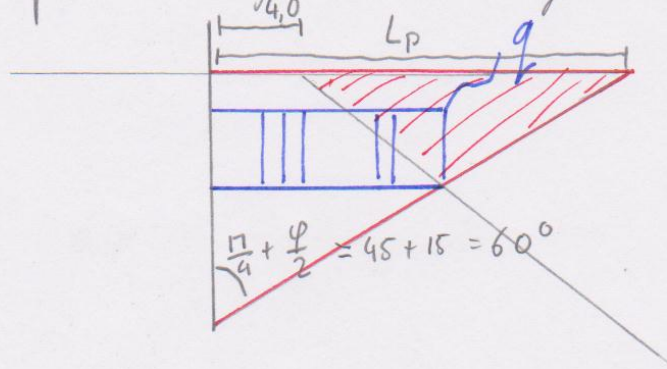
$$\Rightarrow x+u = 2,82$$

$$x = 2,82 - u = 2,82 - 0,3 = 2,52 \text{ m.}$$

$$L_{\text{damwand}} = d + u + 1,2 \cdot x = 1,0 + 0,3 + 1,2 \cdot 2,52 = 4,32 \text{ m.}$$

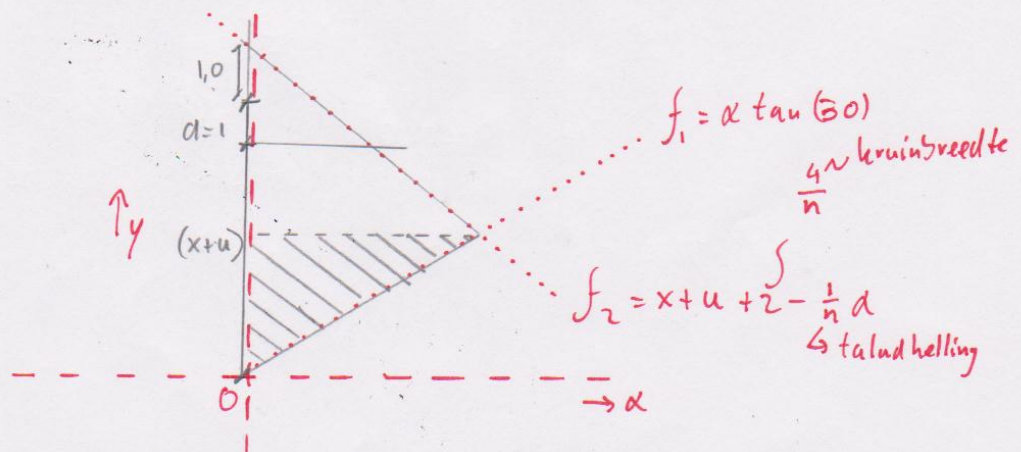
damwand ②

Wanneer de passieve wij m wordt geteheid (rood)



Valt al snel op dat een deel van de wij niet in de grond zit. Hierdoor wordt de passieve gronddruk overschat. Een beter inschatting wordt aangegeven in blauw, de grond boven de wij wordt als bovenbelasting meegerekend.

$$L_p = L_{damwand} \cdot \tan 60 = (4.32 - 1.0) \cdot 1.73 = 5.76 \text{ m} > 4.0 \text{ m}$$



$$f_1 = f_2$$

$$(u+x) + 2 - \frac{1}{2} \alpha = \alpha \tan 30 \quad \text{met } u = 0.3$$

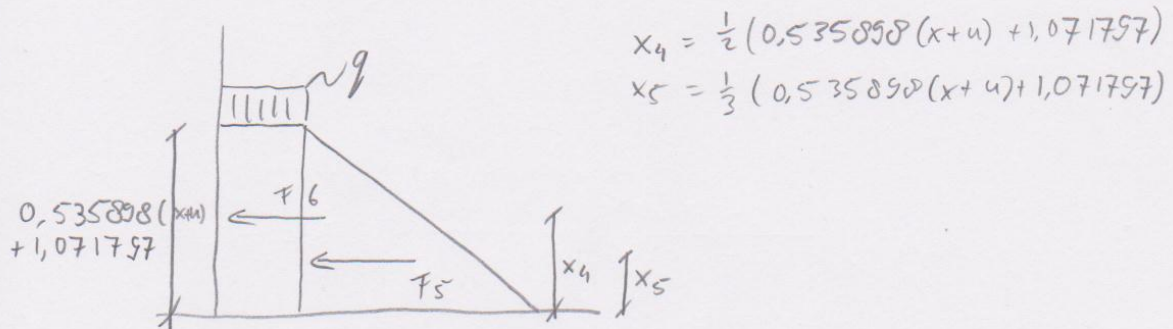
$$\alpha = \frac{406}{203} + 0.920(x+u)$$

$$y = 0.53(x+u) + 1.071797$$

damwand (2)

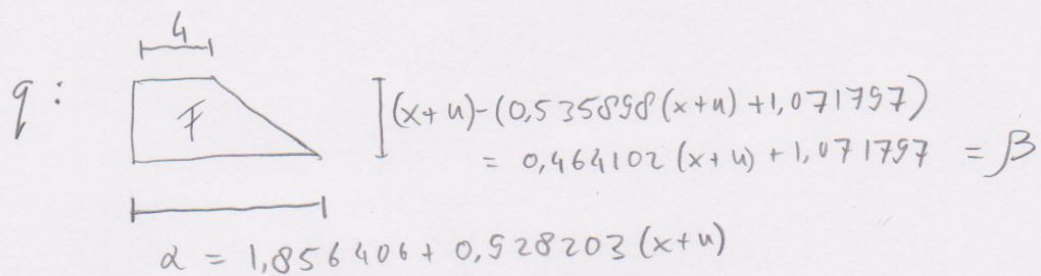


Het nieuwe model ziet er zo uit.



$$x_4 = \frac{1}{2}(0,535898(x+u) + 1,071797)$$

$$x_5 = \frac{1}{3}(0,535898(x+u) + 1,071797)$$



$$\beta = (x+u) - (0,535898(x+u) + 1,071797) = 0,464102(x+u) + 1,071797 = \beta$$

$$\alpha = 1,856406 + 0,928203(x+u)$$

$$F = \frac{\alpha + 4}{2} \cdot \beta$$

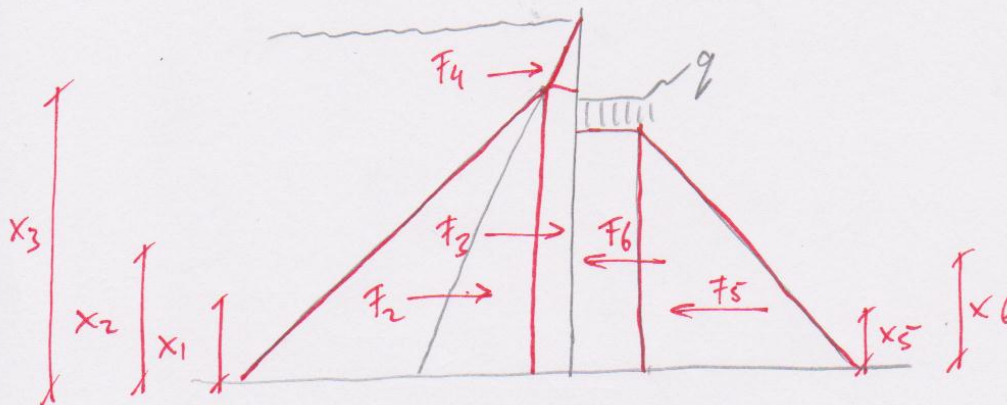
$$q = \frac{F \cdot \gamma_d}{\alpha} = \frac{3,446240(x+u)^2 + 13,789952(x+u) - 50,215024}{1,856406 + 0,928203(x+u)}$$

$$F_6 = K_p \cdot q \cdot 0,9 \cdot (0,535898(x+u) + 1,071797)$$

$$F_5 = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot 16 \cdot 0,9 \cdot (0,535898(x+u) + 1,071797)^2$$

damwand ④





$$\sum M = 0 \quad x + u = h$$

$$\frac{8}{3}h^3 + 6h^2 + 6h^2 + 2h -$$

$$7,2(0,535898h + 1,071797)^3 -$$

$$1,35(0,535898h + 1,071797)^2 \cdot q$$

oplossen voor  $h$  geeft  $h = 3,07 \text{ m}$

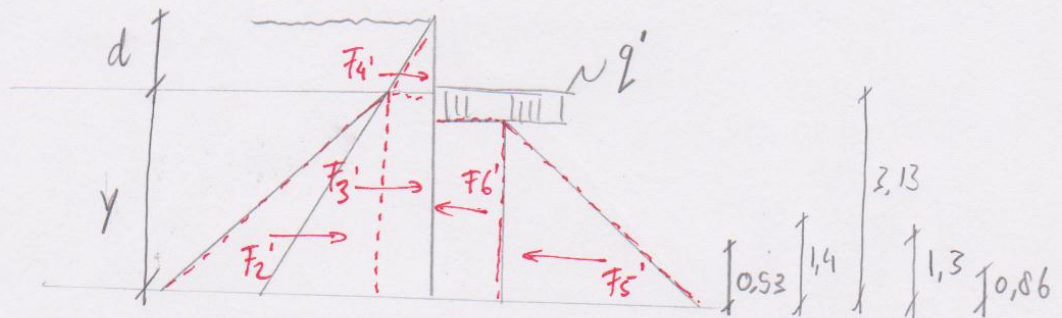
$$\text{dus } x = 2,77 \text{ m}$$

↳ damwand wordt daarmee:

$$d + u + 1,2x = 1,0 + 0,3 + 1,2 \cdot 2,77 = 4,7 \text{ m}$$

damwand ⑤

Bepaal diepte  $y$  waar geldt  $\Sigma Q = 0$  waar  $M = M_{max}$



$$F_2' = (K_a (\gamma_n - \gamma_w) y + y \gamma_w) \cdot \frac{1}{2} y \cdot 1,2$$

$$F_3' = d \cdot \gamma_w \cdot y \cdot 1,2$$

$$F_4' = d \cdot \gamma_w \cdot d \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,2$$

$$F_5' = K_p \cdot \gamma d \cdot (0,535898 y + 1,071797)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,9$$

$$F_6' = K_p \cdot q' \cdot (0,535898 y + 1,071797) \cdot 0,9$$

$$\text{met } q' = \frac{3,446240 y^2 + 13,784992 (y) - 50,215024}{1,856406 + 0,928203 y}$$

$$\Sigma Q = 0 \quad ; \text{ dus } \quad F_4' + F_3' + F_2' = F_6' + F_5'$$

$$6,0 y + 12,0 y + 8,0 y^2 = F_5' + F_6'$$

$$y = 2,8 \text{ m.}$$

damwand  $\odot$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= 0,93 F_2' + 1,4 \cdot F_3' + 3,13 \cdot F_4' - 1,3 F_6' - 0,86 F_5' \\
 &= 0,93 \cdot 48,61 + 1,4 \cdot 33,6 + 3,13 \cdot 6,0 - 1,3 \cdot 142,5 - 0,86 \cdot 23,8 \\
 &= 45,2 + 47,0 + 18,8 - 185,8 - 20,5 \\
 &= -61,7 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}$$

$$W_{\text{eff}} = \frac{|M|}{f_{y,d}} = \frac{62 \cdot 10^6}{235} = 264 \cdot 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}$$

Het beste profiel is hierdoor Larssen 20 ( $W = 600 \text{ mm}^3/\text{m}$ )  
die weegt  $79 \text{ kg/m}^2$  wand.

damwand ⑦

## Piping

Bij een hoge waterstand aan één zijde van de waterkering is piping een voor de hand liggend faalmechanisme. In eerste instantie wordt voor de bepaling van de veiligheid tegen piping de methoden van zowel Bligh als Lane toegepast. Bligh wordt over het algemeen gebruikt bij berekeningen betreffende dijken, toch wordt ook Lane gebruikt voor extra controle. Later worden hieraan de voorschriften van het Toetsen van de veiligheid van primaire waterkeringen van Rijkswaterstaat toegevoegd.

### Vanaf het zomerbed

Water stroomt onder de kleilaag door naar een zwakke plek in de kleilaag binnendijks. Hierdoor kan opbarsten optreden. De afstand van zomerbed tot waterkering is echter zo groot dat de veiligheidsfactor (4,9) ruim voldoende is.

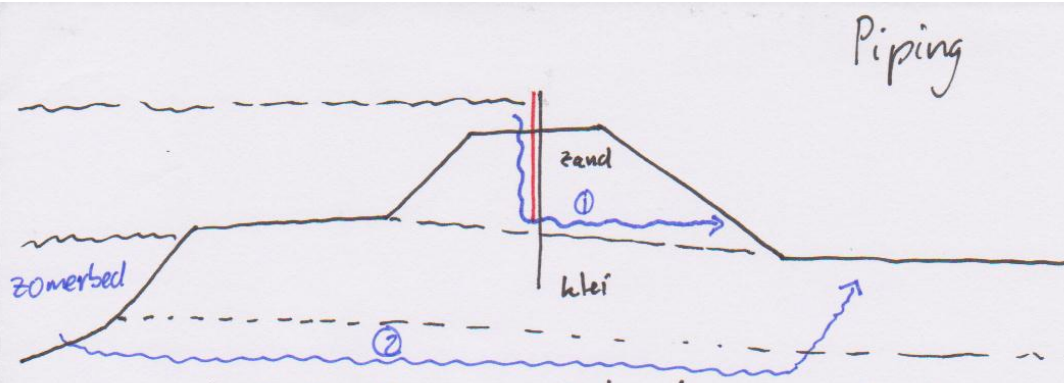
### Onder de damwand

De veiligheidsfactor voor piping onder de damwand door is veel te laag. Bij het ontbreken van een afdekkende kleilaag op het buitentalud wordt aangeraden de damwand tot in de ondoorlatende kleilaag te laten doorlopen. De damwand, die hierdoor tot acht meter de grond in gaat, krijgt hierdoor een lengte van ongeveer 9,0m.

### Kistdam met steunberm

Om de afmetingen van de steunberm te bepalen is gebruik gemaakt van de voorschriften van Rijkswaterstaat. Deze voorschriften gebruiken een aantal randvoorwaarden waaraan de dijk met berm moet voldoen. Doordat de voorschriften gericht zijn op een dijk zonder kistdam moet een aantal invoergegevens aangepast worden. Zo is de  $\Delta H$  van de berekening voor verticaal evenwicht een meter verhoogd. De hoogte blijft echter gelijk. De berekening voor opbarsten wordt gedaan vanaf de ondoorlatende kleilaag, waar de waterdruk heerst. De afmetingen voor de steunberm bedragen 1,6m hoog en 10,2m breed. Met een veiligheidsfactor 1,2 (gebruikelijk bij deze berekening) in plaats van de toegepaste 1,0 worden de afmetingen zelfs 2,2m hoog bij 11,4m breed. Dit is zo groot dat wordt aangeraden een damwand van de kistdam door te zetten tot in de kleilaag. Een andere mogelijkheid is bekleding van het buiten- of binnentalud. Bij bekleding van het binnentalud moet onderzocht worden of de kleilaag (taludbekleding) door de waterdruk op kan barsten.





① Een eerste indicatie van de lengte van de damwand wordt gehaald uit weerstand tegen piping. Als de damwand tot net boven de ondoorlatende kleilaag komt wordt de totale stroomafstand:

$$\text{Bligh} : L_B = \sum L_v + \sum L_h = 5 + 14 = 19 \text{ m}$$

$$\text{Lane} : L_L = \sum L_v + \frac{1}{3} \sum L_h = 5 + \frac{1}{3} \cdot 14 = 9 \frac{2}{3} \text{ m}$$

De veilige afstand zou moeten zijn:

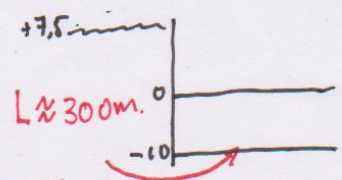
$$\text{Bligh} : L_B \geq \gamma \cdot C_B \cdot \Delta H = 104,4$$

$$\text{Lane} : L_L \geq \gamma \cdot C_L \cdot \Delta H = 63,8$$

} met  $\Delta H = 8,5 \text{ m.}$   
 $\gamma = 1,5$   
 $C_B = 12$   
 $C_L = 5$

Voor beide is de dij niet stabiel, er wordt dus gekozen om de damwand een meter in de ondoorlatende kleilaag te laten steken.

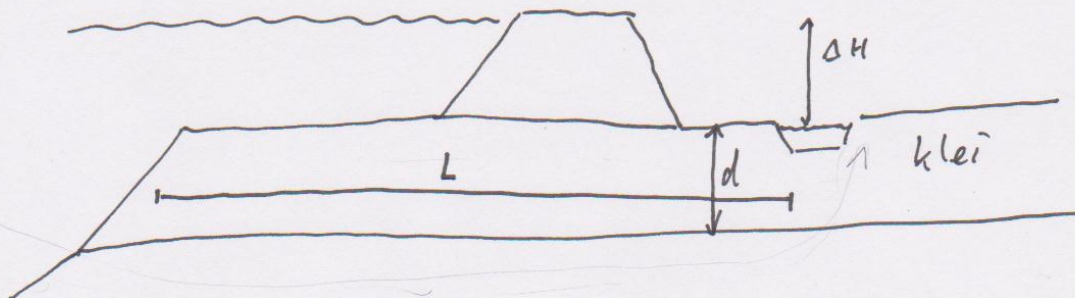
② De andere pipingroute is zeer lang en de ondoorlatende kleilaag heeft een dikte van 10 m. Voor deze handberekening wordt dit als veilig beschouwd, uitgaande verticaal evenwicht. De maximale opwaartse



watervedruk onder de kleilaag is  $17,5 \cdot 10 = 175 \text{ kN/m}^2$   
 de tegendruk van de kleilaag is  $10 \cdot 16 = 160 \text{ kN/m}^2$ . Het is echter

onwaarschijnlijk dat de watervedruk binnen de  $175 \text{ kN/m}^2$  is, omdat het grondwater hier een sterk nederwaarts staande met goede afvoerbaarheid. Beter onderzoek is noodzakelijk in een vervolgstadium.

In de praktijk wordt uitgegaan van dan wel verticale stabiliteit (reeds beschreven) dan wel de methode van Blogh.



de ondoorlatende leilaag heeft dikte  $d$ , en een lengte  $L$  waar de dikte minstens 1,0 m is.

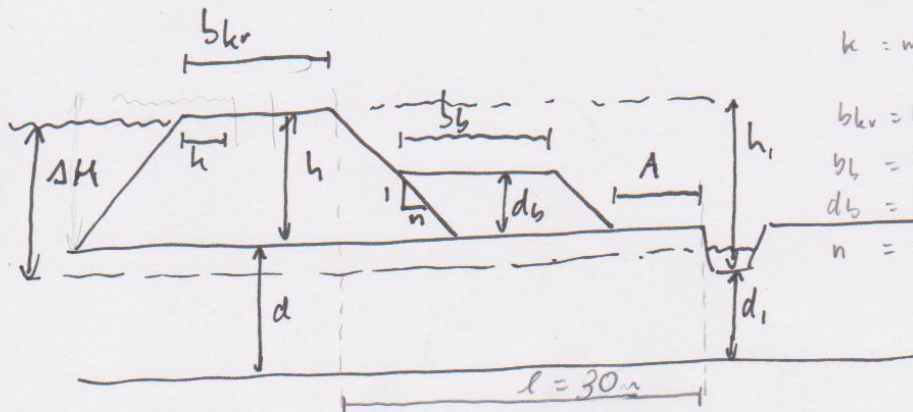
$$\frac{L}{10} \geq \Delta H - 0,3 d \quad \text{met} \quad \begin{array}{l} L \approx 400 \text{ m} \\ \Delta H \approx 7,5 \text{ m} \\ d \approx 10,0 \text{ m} \end{array}$$

$$UC = \frac{400/10}{7,5 - 0,3 \cdot 10} = 4,9 \quad \text{Dat is ruim voldoende.}$$

piping 2.



# Pijping met steunbeem



- $\Delta H =$  verschil grondwater en toetspeet  $= 7,5\text{ m}$
- $h_{(0)} =$  dijkhoogte  $= 7,0\text{ m} / 10\text{ m}$
- $d_{(1)} =$  dikte onderliggend ondoorlatend laag  $= 0,0\text{ m} / 7,0\text{ m}$
- $k =$  minimale kruinbreedte voor rivierdijk  $= 3,0\text{ m}$ .
- $b_{kr} =$  kruinbreedte  $= 14,0\text{ m}$
- $b_b =$  beembreedte
- $d_b =$  beemdikte
- $n =$  talud helling  $= 2$ .

De grootte van de beam wordt bepaald aan de hand van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen van Rijkswaterstaat. Het geval wordt geschematiseerd zoals hierboven. De uitwerking staat op pagina 148.

A is de afstand tussen de beam en een maaield verstoring.

$$A = -(7 \cdot 2 + b_b) + 30 \geq f_a \cdot d_b \quad (1)$$

Een eerste indicatie van  $d_b$  is verticaal evenwicht:

$$(d + \Delta H) \cdot \gamma_w < d_b \cdot \gamma_b + d \cdot \gamma_k$$

$$d_b > \frac{(d + \Delta H) \gamma_w - d \cdot \gamma_k}{\gamma_b} = \frac{(10 + 7,5) 10 - 10 \cdot 15}{16} = 1,6\text{ m}$$

Wanneer een veiligheidsfactor 1,2 aangehouden wordt, zal  $d_b = 2,2\text{ m}$  zijn.

pijping beam

(1)



De tweede rand voorwaarde is:

$$b_{kr} - k \geq f_k \cdot h_{(1)} \quad (2) \quad \text{en} \quad b_b \geq f_a \cdot h_{(1)} + d_b \cdot n \quad (3)$$

Afhankelijk van de veiligheid van afstand  $A$  moet  $h$  of  $h_1$  gebruikt worden.  $f_k$  en  $f_a$  wordt uit een tabel gehaald met  $d/h$  of  $d_1/h_1$ , als input met talud  $n$ .

$$d/h \approx 1,5 \quad d_1/h_1 \approx 0,7 \quad n = 2$$

$$f_k = 2,0 \quad \vee \quad f_{k_1} = 1,0$$

$$d/h \quad f_a = 1,8 \quad \vee \quad f_{a_1} = 0,7$$

Invullen in (1) en (2) geeft dit.

$$14 - 3 \geq 2,0 \cdot 7,0$$

voldoet niet voor  $h$   
zie hieronder.

$$14 - 3 \geq 1,0 \cdot 10,0$$

voldoet voor  $h_1$

$$b_b \geq 1,8 \cdot 7,0 + 1,6 \cdot 2 = 15,8 \text{ m} \quad b_b \geq 0,7 \cdot 10,0 + 1,6 \cdot 2 = 10,2 \text{ m}$$

Invullen in (1) geeft:

$$A = 30 - 2 \cdot 7 - 15,8 = 0,2 \text{ m}$$

$$\geq f_a \cdot d_b = 1,8 \cdot 1,6 = 2,8 \text{ m}$$

voldoet niet, om de versterking ligt te dichtbij

De volgende randvoorwaarden zijn:

$$b_{kr} - k \geq f_k \cdot (h_i - d_b) \quad (4)$$

$$14 - 3 \geq 1,0 \cdot (10 - 1,6)$$

$$11 \geq 8,4$$

voldoet

$$b_b \geq f_a \cdot (h_i - d_b) \quad (5)$$

$$16,4 \geq 0,7 \cdot (10 - 1,6)$$

$$16,4 \geq 5,9$$

voldoet.

pipery leem (2)

De laatste randvoorwaarde is dat :

$$b_b \geq f_k \cdot d_b \quad \textcircled{2}$$

$$10,2 \geq 1,0 \cdot 1,6$$

voldoet.

Opgemerkt wordt de de dichte van de leem is bepaald door verticaal evenwicht, om stabiliteit tegen opkrachten. Dit is een overschatting en de dichte  $d_b$  kan ons naar alle waarschijnlijkheid minder.

Daartegenover staat dat de schematisatie uitgaat van een dijk en niet een dijk met een hielclam. Dit kan een onderschatting zijn en meer onderzoek is dus noodzakelijk.

De totale benodigde hoeveelheid zand is  $m$

$$V_{/m} = 1,6 \cdot 10,2 = 16,3 \text{ m}^3/\text{m} \Rightarrow m = 16,3 \cdot 16 = 261,1 \text{ kg/m}^1$$

Dit is een gigantische hoeveelheid zand die gebracht moet worden, een andere optie om piping te voorkomen is een damwand tot in de kleilaag, of een kwel scherm in de binnenkant van de dijk. Omdat de leem niet iets meer dan 1,5m hoog is kun je ook met een breedte van meer dan 10meter wordt de dijk stabiel tegen afschuiven verondersteld, zeker omdat de beschrijving vergelijkbaar is met de beschende variant

piping leem  $\textcircled{3}$

## Stabiliteit van het talud

Voor de variant 'opvijzelen' wordt bepaald welk binnentalud noodzakelijk is om voldoende weerstand te bieden aan de optredende belasting ten gevolge van hoog water.

### Aannames

- Er worden geen materiaalfactoren gebruikt, omdat het voornamelijk op bekend veronderstelde grond gaat.
- Het talud is oneindig (niet bij de glijvlakberekeningen).
- De wrijvingshoek bedraagt  $2/3$  van de hoek van inwendige wrijving.
- De grond aan de binnenkant van de damwand wordt als droog verondersteld.
- De dijk heeft in eerste instantie geen afdekkende kleilaag (onderschatting).

### Droog talud

De helling van het binnentalud wordt 1:3, door de aanwezigheid van eventuele buitenbekleding kan dit verlaagd worden. Onderzoek hiernaar is vereist.

### Evenwijdige stroming

In het geval dat de dijk toch zal overstromen zal er in het binnentalud evenwijdige stroming optreden. Wanneer dit het geval is reduceert de veiligheidsfactor een factor 2. Een helling van 1:6 is dan noodzakelijk. De dijk wordt echter op een zodanige wijze ontworpen dat dit niet gebeurt, voor extra zekerheid kan een deklaag van klei worden aangebracht.

### Horizontale stroming

Horizontale stroming treedt op door de dijk heen. Bij de gestelde aannames reduceert dit de veiligheidsfactor drastisch. Ook voor dit faalmechanisme wordt aangeraden het buitentalud te bekleden met een ondoorlatende laag.

### Glijvlak (Bishop)

De glijvlakberekening is uitgevoerd voor een talud van 1:3. Een moeilijkheid bij de berekening van het te beschouwen talud is dat er op de dijk huizen staan. Deze huizen zorgen voor een verandering in het aandrijvende en het weerstandgevend moment. Een bijkomende moeilijkheid is de onderliggende kleilaag. Deze kleilaag heeft namelijk wel een cohesie. Om gegronde aannames te kunnen doen is gekeken naar hoe de formule van het evenwicht door Bishop is opgesteld.

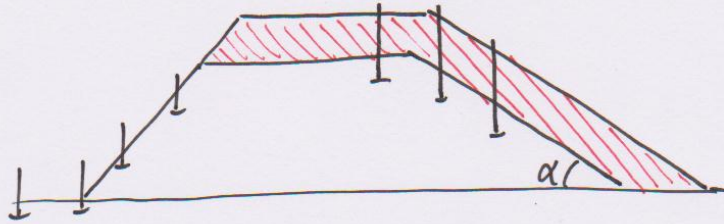
### Aannames

- De resultante lamelkracht is horizontaal.
- De kracht vanuit de fundering wordt opgevangen door één mootje.
- De correctie voor de onderlinge lamelkracht wordt meegenomen door het gewogen gemiddelde te nemen van de verschillende hoeken van inwendige wrijving.
- Een verdeling in 10 mootjes is voldoende precies.
- Het grondwater staat gelijk met de bovenkant van de kleilaag.

### Conclusie

De veiligheidsfactor reduceert van 2,7 tot ongeveer 1,5 door de invloed van de huizen. De berekening vormt slechts een indicatie en beter onderzoek naar de grond en een gedetailleerdere berekening zijn noodzakelijk. Hiervoor worden computers gebruikt die snel de minst gunstige glijcirkel bepalen met bijbehorende veiligheidsfactor.





Bij het oprijzen van de woningen treden zettingen op. De huizen staan op de huidige dijk getund door d, dus deze huizen geen effect op de ophoging.

Uitgaande van een oneindig talud:

$$\tan \alpha = \frac{1}{2} \quad \delta \approx \frac{2}{3} \varphi = 20^\circ$$

$$\alpha = 26,6^\circ$$

met droog zand zonder cohesie ( $c=0$ ) kan  $\delta$  niet groter zijn dan  $\alpha$  (bezuijterium van Coulomb).

$$F = \frac{\tan 20^\circ}{\tan 26,6^\circ} = 0,73 \text{ voldoet niet};$$

Advies is een nieuw binnen talud van 1:3

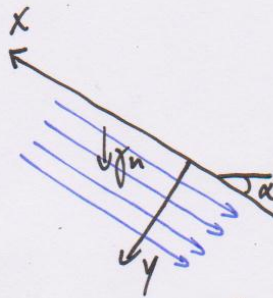
$$F = \frac{\tan 20^\circ}{1/3} = 1,09$$

De huidige dijk heeft bekleding en eventuele andere factoren die het talud stabiel maken, kanttekening blijft dat getuig van oneindig talud een grote schetting is.

In het extreme geval kan de dijk overstroomd. Als er dan grondwater stroomt langs het oppervlak kan dat zorgen voor bezwijken:



Oneindig talud:



Bij een uniforme stroming (uitgangspunt) moet de drukverdeling lineair zijn.

$$\textcircled{4} h = z + \frac{p = c_1 \cdot y}{\gamma_w}$$

$$x \sin \alpha - y \cos \alpha$$

$$\textcircled{3} p = c_1 \cdot y$$

$$\textcircled{1} \frac{d\sigma'_{xx}}{dx} + \frac{d\sigma'_{yx}}{dy} + \frac{dp}{dx} + \gamma_n \sin \alpha = 0$$

$$\textcircled{2} \frac{d\sigma'_{xy}}{dx} + \frac{d\sigma'_{yy}}{dy} + \frac{dp}{dy} - \gamma_n \cos \alpha = 0$$

Er treed geen stroming op en de richting van  $y$ , dus:

$$q_y = 0 \rightarrow \frac{dh}{dy} = 0$$

$$\frac{dh}{dy} = -\cos \alpha + \frac{c_1}{\gamma_w} = 0$$

$$\Rightarrow c_1 = \gamma_w \cdot \cos \alpha$$

$$\textcircled{5} p = \gamma_w \cdot y \cdot \cos \alpha$$

Invullen van 5 in len 2 onder aanname dat er geen verandering optreedt in  $x$ -richting (oneindig talud).

$$F = \frac{\gamma_n - \gamma_w}{\gamma_n} \frac{\tan \frac{2}{3} \varphi}{\tan \alpha}$$

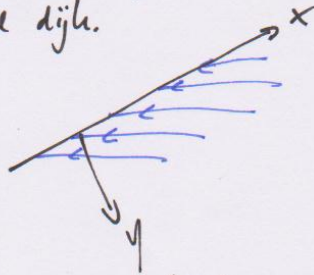
$$= 0,55$$

Een talud van 1:6 is nogal scherp, aanbevolen wordt beleding op het buitentalud.

zetting 2



Een ander bezwijkmechanisme is door horizontale stroming door de dijk.



De homogene zanddijk is hier net als in de vorige gevallen gevoelig voor.

$$F = \frac{\gamma - (\gamma_w / \cos^2 \alpha)}{\gamma_n} \cdot \frac{\tan^{2/3} \phi}{\tan \alpha} \quad \text{gevallen gevoelig}$$

$$= 0,49$$

Nog lager dan bij evenwijdige stroming, een binnentalud van 1:7 zou nodig moeten zijn. aangeraden wordt binnentaludbekleding.

De methode van het oneindig talud vormt een goede schatting maar is niet gedetailleerd, een glijvlakberekening van bijvoorbeeld Bishop is al veel preciezer.



Stabiliteit van de helling.

$\varphi = 30^\circ$   
 $c = 0$   
 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

$M_a = \sum \gamma b h R \sin \alpha$   
 $M_w = \sum \tau b \frac{1}{\cos \alpha} R$

met  $\tau = \frac{1}{F} (c + \sigma'_n \cdot \tan \varphi)$   
 $\sigma'_n = \sigma_n - p$

Om de waarde van  $\sigma'_n$  te vinden wordt het evenwicht langs de radiaal opgesteld, deze moet namelijk 0 zijn om een glijvlak te krijgen.

Zonder invloed van de moedje onderling levert dit:

$F_1 = F_2$   
 $\gamma \cdot b \cdot h \cdot \cos \alpha = b \cdot \sigma'_n \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$   
 $\Rightarrow \sigma'_n = \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \alpha$

Echter de verticale interactie wordt door Bishop wel meegenomen waardoor het evenwicht nu verticaal gemaakt wordt. Hier wordt aangenomen dat de resultante landkracht horizontaal is.

$F_1 = F_2 + F_3$   
 $\gamma \cdot h = \sigma_n + \tau \tan \alpha = \sigma'_n + p + \tau \tan \alpha$

glijvlak 1

$$\tau = \frac{1}{F} (c + \sigma' \cdot \tan \varphi)$$

$$\text{met } \sigma' = \gamma \cdot h - p - \tau \tan \alpha$$

$$\sigma' = \gamma \cdot h - p - \frac{c + \sigma' \cdot \tan \varphi}{F} \tan \alpha$$

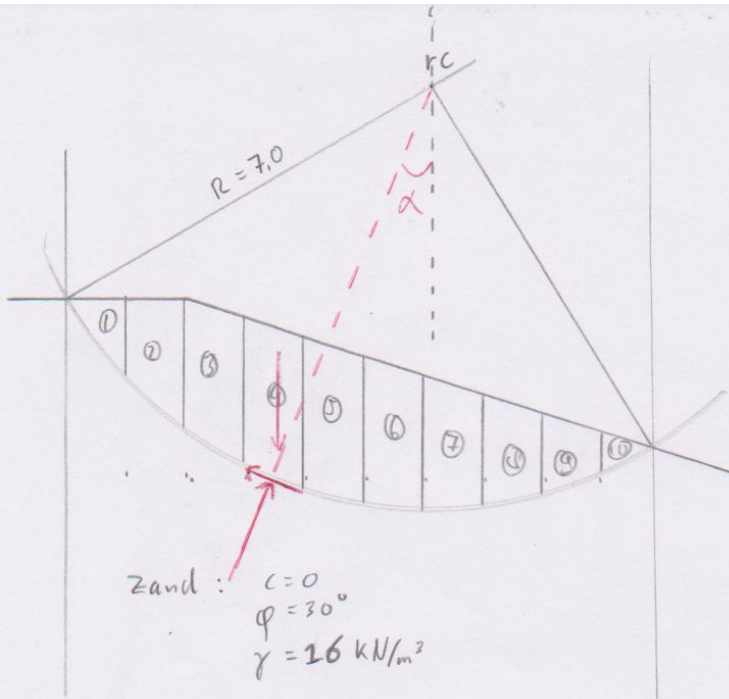
$$= \gamma \cdot h - p - \frac{c}{F} \tan \alpha - \frac{\sigma' \cdot \tan \varphi \cdot \tan \alpha}{F}$$

$$\sigma' \left( 1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \varphi}{F} \right) = \gamma \cdot h - p - \frac{c}{F} \tan \alpha$$

De veiligheidsfactor  $F$  wordt hiermee:

$$F = \frac{\sum \frac{c + (\gamma h - p) \tan \varphi}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \tan \varphi)}}{\sum \gamma h \sin \alpha}$$

glijvlak 2



Bishop :

$$F = \frac{\sum A}{\sum B} = \frac{\sum \frac{c + (\gamma h - p) \tan \varphi}{\cos \alpha (1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{F})}}{\sum \gamma h \cdot \sin \alpha}$$

;  $h =$  gemiddelde hoogte v.h. nootje.

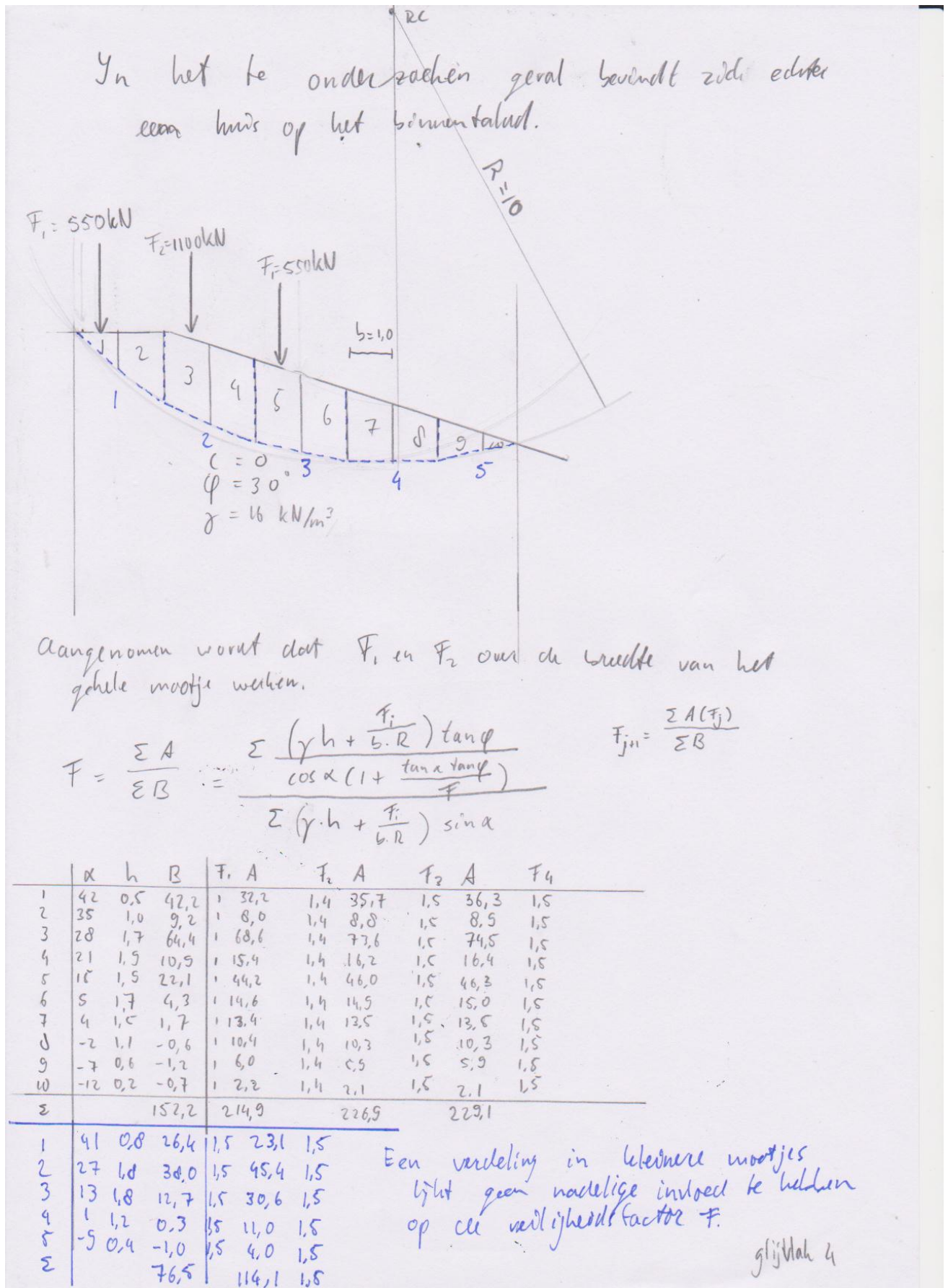
	$\alpha$	$h$	$F_1$	A	B	$F_2$	A	$F_3 = \frac{162,1}{59,5} = 2,7$	A
1	52	0,7	1	6,0	8,8	2,5	8,1	2,7	8,2
2	42	1,7	1	13,9	18,2	2,5	17,5	2,7	17,7
3	31	2,2	1	17,6	18,1	2,5	20,8	2,7	21,0
4	22	2,5	1	20,2	15,0	2,5	22,8	2,7	22,5
5	13	2,5	1	20,9	9,0	2,5	22,5	2,7	22,6
6	6	2,3	1	20,1	3,8	2,5	20,5	2,7	20,9
7	-2	2,0	1	18,9	-1,1	2,5	18,6	2,7	18,6
8	-10	1,6	1	16,7	-4,4	2,5	15,6	2,7	15,6
9	-18	1,0	1	12,0	-4,9	2,5	10,5	2,7	10,4
10	-28	0,4	1	6,0	-3,0	2,5	4,8	2,7	4,7
$\Sigma$				152,3	59,5		162,1		162,8

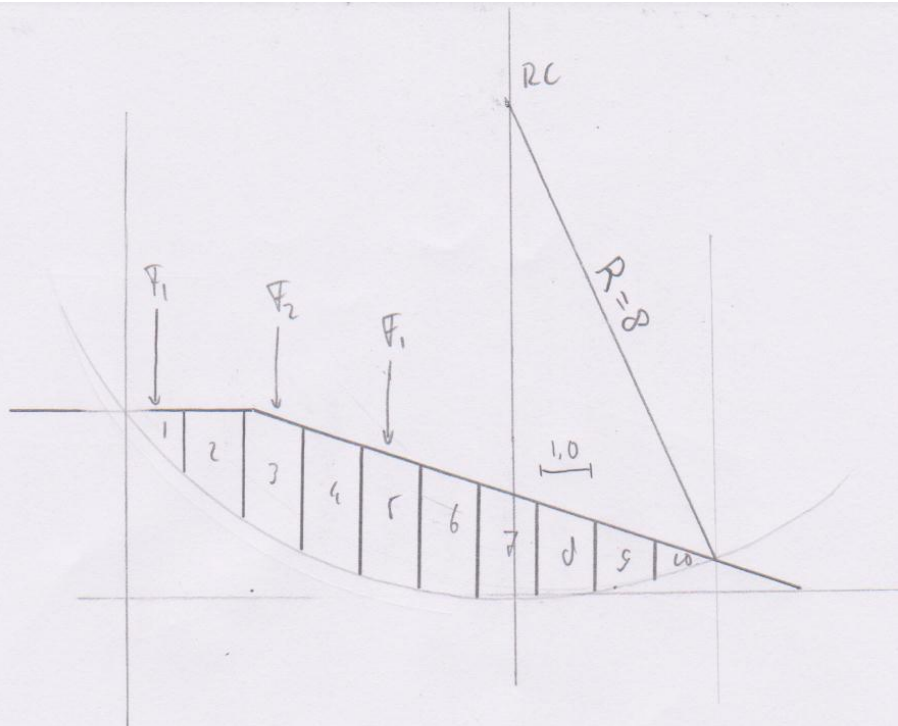
$$F_4 = \frac{162,8}{59,5} = 2,7$$

$F_3 \approx F_4$  dus dat glijvlak heeft een veiligheidsfactor 2,7.

glijvlak 3



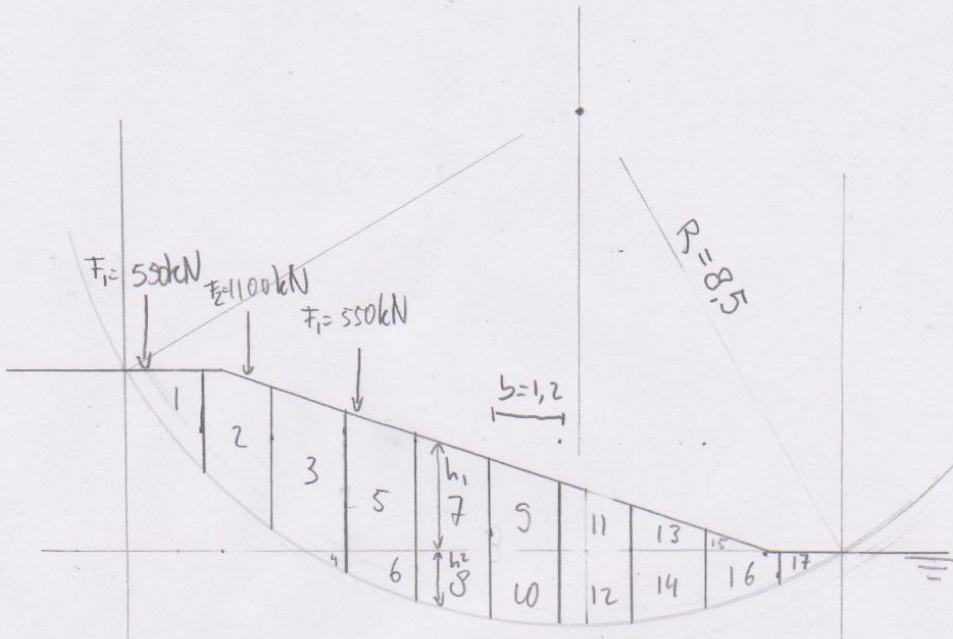




	$\alpha$	$h$	$B$	$F_1$	$A$	$F_2$	$A$	$F_2$
1	48	0,8	55,7	1,5	48,6	1,4	47,6	1,4
2	35	1,4	14,1	1,5	12,7	1,4	12,5	1,4
3	32	1,5	22,8	1,5	56,1	1,4	54,8	1,4
4	23	2,1	13,1	1,5	18,1	1,4	17,5	1,4
5	14	2,1	25,6	1,5	57,5	1,4	57,2	1,4
6	8	2,0	4,5	1,5	17,7	1,4	17,6	1,4
7	2	1,7	0,5	1,5	15,5	1,4	15,5	1,4
8	-3	1,3	-1,1	1,5	12,3	1,4	12,3	1,4
9	-5	0,8	-2,0	1,5	8,0	1,4	8,0	1,4
10	-18	0,3	-1,5	1,5	3,3	1,4	3,4	1,4
$\Sigma$			206,2		282,8		286,7	

glijvlak 5





$$F = \frac{\sum \frac{c + (\gamma h - p) \tan \varphi}{\cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{\Phi}\right)}}{\sum \gamma h \sin \alpha}$$

Door de geleagde opbouw van de grond met de formule aangepast worden:

$$\sum \gamma h \sin \alpha \rightarrow \sum (\gamma z \cdot h_1 + \gamma k \cdot h_2) \sin \alpha$$

$$\rightarrow \sum \left( \gamma z \cdot h_1 + \gamma k \cdot h_2 + \frac{F_i}{bR} \right) \sin \alpha$$

- aangenomen wordt, nu dat het grond waterpeel gelijk staat met de kleilaag, dit is een onderschatting.

$$- (\gamma h - p) \rightarrow \left( \gamma z \cdot h_1 + \gamma k \cdot h_2 + \frac{F_i}{bR} - p \right)$$

" "  
h<sub>2</sub> · γ<sub>w</sub>

- In het glijvlak wordt  $\varphi = 20^\circ$  aangenomen, dat is  $\varphi_{klei}$ .

- De correctie van Bishop voor de bevachten tussen de lamellen heeft een gewogen gemiddeld  $\varphi$ :  $\varphi = \frac{h_1 \cdot \varphi_{zand} + h_2 \cdot \varphi_{klei}}{h_1 + h_2}$

glijvlak 6

	$\alpha$	$h_1$	$h_2$	$B$	F	A	$F = \frac{A}{B}$	A	F	A	F
1	53	0,8	0	139,4	1	73,5	1,3	82,1	1,4	84,3	1,4
2	41	2,1	0	22,0	1	24,0		26,0		26,6	
3	32	2,4	0,2	50,5	1	42,8		45,5		46,2	
5	22	2,1	0,6	16,0	1	25,2		26,2		26,5	
7	13	1,7	1,0	9,5	1	24,6		25,2		25,3	
9	5	1,3	1,2	3,4	1	23,9		24,1		24,1	
11	0	0,9	1,3	-0	1	22,6		22,6		22,6	
13	-10	0,5	1,1	-4,3	1	21,5		21,5		21,4	
15	-18	0,2	0,7	-4,2	1	21,2		20,4		20,3	
17	-26	0	0,3	-2,0	1	21,0		20,0		19,8	
$\Sigma$				230,3		301,0		313,7		317,1	

De veiligheidsfactor blijft nauwelijks te verschillen van de eerder bepaalde glijdalen.

De gehanteerde formule:

$$F = \frac{\Sigma c + (\gamma_z \cdot h_1 + \gamma_{klei} \cdot h_2 + \frac{F_i}{b \cdot R} - \gamma_w \cdot h_2) \tan \varphi_1}{\cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi_2}{F} \right)}$$

$$\Sigma (\gamma_z \cdot h_1 + \gamma_{klei} \cdot h_2 + \frac{F_i}{b \cdot R}) \sin \alpha$$

met

$c = 18 \text{ kPa}$

$\gamma_z = 16 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_{klei} = 15 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

voor wrijving glijdal-ondergrond

$\varphi_1 = \varphi_{klei} = 20^\circ$

$\varphi_2 = \frac{h_1 \cdot \varphi_{zand} + h_2 \cdot \varphi_{klei}}{(h_1 + h_2)}$

correctie onderlinge lamelkracht.

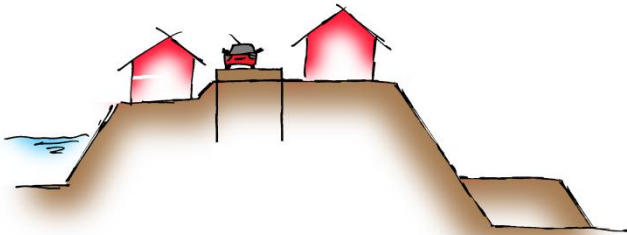
glijdal 7

## E. **Bouw- en Uitvoersplanning**

Om een gedetailleerd inzicht te krijgen in de overlast en het ruimtegebruik tijdens en na de bouw wordt een bouw- en uitvoersplanning gemaakt. Hierin wordt stapsgewijs beschreven hoe de constructie tot stand wordt gebracht. Hierbij wordt ook beschreven hoe lang iedere stap duurt. Er wordt uitsluitend onderzocht wat er gedaan moet worden tijdens de bouw. Vergunningen en onderhoud & sloop worden buiten beschouwing gelaten. In het Programma van Eisen is al besloten de variant 'Dubbele dijk' af te laten vallen. Tot slot is het belangrijk te weten dat er niet wordt gekeken naar de aansluiting op de naastgelegen waterkering. Dit is omdat de naastgelegen waterkering niet is uitgewerkt.

## Variant 2: Kistdam

De variant waarbij gebruik wordt gemaakt van een kistdam als verhoging van 0,5m tot 1,0m heeft voor stabiliteit tegen piping een ophoging nodig naast de dijk. De verhoging wordt binnendijks aangelegd aan de voet van de dijk. In de onderstaande afbeelding is te zien hoe de constructie er schematisch uitziet.



**Figuur E-2** Schematische weergave van Variant 2: Kistdam.

### Aanleg binnendijkse ballast

Om te beginnen wordt binnendijks de ophoging aangelegd. Deze ophoging zorgt voor stabiliteit van de dijk. Onder andere kwelwater kan hierdoor niet meer voor opbarsten zorgen. Voordat er opgehoogd kan worden, wordt de grond bouwrijp gemaakt. Beplanting alsmede enkele schuurtjes worden verwijderd. Het zand ten behoeve van de ophoging wordt met vrachtwagens over de weg aangevoerd. Aanvoer over de rivier is door de lange uiterwaard niet praktisch. Doordat de aanleg over de weg gebeurt, wordt de rest, waar de weg voor verplaatst moet worden, later uitgevoerd. Op de onderstaande afbeelding is in rood aangegeven om welk gebied het gaat.



**Figuur E-3** Te bouwrijpmaken grond.



### Aanleg buitenste damwand

De buitenste damwand wordt aangelegd direct naast de weg. De weg wordt daarvoor tijdelijk verbreed in de richting van het huis, zodat verkeer veilig kan blijven passeren. De heistelling die wordt gebruikt wordt geplaatst op het aangelegde zand, van de steunberm, naast de dijk. Omdat er een huis staat aan beide kanten van de damwand zijn er twee opties voor de plaatsing van de heistelling die dienen te worden onderzocht, zie onderstaande afbeelding in paars en geel. De damwanden worden aangevoerd over de weg op de dijk.



**Figuur E-4** Plaatsing van de heistelling, tussen de huizen rechts en naast het huis links.

In de onderstaande tabel zijn de voor- en nadelen opgesomd waarop de keuze voor het bouwen vanaf de positie naast het huis (paars in de bovenstaande figuur) is gebaseerd. Het weinige doorgaande verkeer wordt tijdens de korte, onvermijdelijke afsluitingen van de weg omgeleid over de route Vestingweg, componistenstraat via Van Andel-Spruytlaan en de Graaf Reinaldweg naar de Beatrixlaan. Dat is een verdubbeling (3,0km in plaats van 1,5km) van de af te leggen weg.

**Tabel E-1** Voor- en nadelen voor de plaatsing van de heistelling op een bepaalde plaats.

Voordelen	Nadelen	Voordelen	Nadelen
Tijdens de bouw wordt de weg voornamelijk open gehouden	Bouw tijdelijke staanplaats op het talud voor de kraan	Kortere bouwtijd	Tijdens de bouw wordt de gehele weg afgesloten
Weinig overlast voor bewoners	De kraan is moeilijk te verplaatsen		Bewoners kunnen gedurende de lange bouwtijd hun huis niet met de auto bereiken.



Rick van Tilborg 4008936

### **Aanleg binnenste damwand**

Voor de binnenste wand wordt hetzelfde gedaan als voor de buitenste wand. Alleen wordt de weg nu tegen de buitenste damwand aangelegd. De afstand tussen de damwanden bedraagt 7,0m. 4,0m voor de weg en 3,0m voor het fietspad en tussenberm.

### **Volstorten**

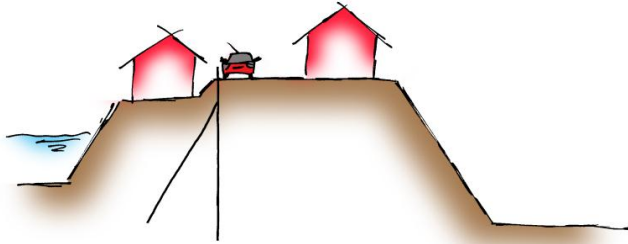
Als beide damwanden staan wordt de tijdelijke weg verwijderd en wordt de ruimte tussen de damwanden volgestort. Dit volstorten gebeurt met zand dat met behulp van vrachtwagens over de dijk aangevoerd wordt. Gedurende deze activiteit is de weg geheel afgesloten. Voor de bewoners van de aanliggende huizen wordt een tijdelijk pad aangelegd naar hun woning. Doorgaand verkeer wordt omgeleid.

### **Aanleg weg met meubilair**

Meteen na het volstorten worden de weg en het fietspad aangelegd. Hierdoor kan de weg zo snel mogelijk weer gebruikt worden. Het straatmeubilair wordt direct daarna aangebracht. Hierbij hoort ook de afwerking van de damwanden en de toegang tot de woningen.

### Variant 3: Damwand

Bij deze variant wordt een damwand geslagen in de kruin van de dijk. Deze damwand wordt tot in de onderliggende kleilaag aangebracht, zodat het water, bij hoog water, geen kans krijgt door de dijk heen te stromen en er geen piping kan optreden. In de onderstaande afbeelding is te zien hoe de constructie er schematisch uitziet.



**Figuur E-5** Schematische weergave van Variant 3: Damwand.

#### Aanleg damwand

Bij de aanleg van de damwand wordt de heistelling wederom naast de huizen geplaatst, de grond zal hiervoor vlak gemaakt moeten worden. Er kan ook gekozen worden voor een tijdelijke constructie waar de stelling op staat. Door deze keuze kan de weg gebruikt blijven worden. Voor een veilige doorstroom van het verkeer wordt de weg wel tijdelijk verbreed in de richting van de Merwede. In tegenstelling tot hetgeen uit de bovenstaande afbeelding blijkt is uit de berekeningen gebleken dat een verankering niet noodzakelijk is. De damwanden worden aangevoerd over de weg op de dijk. Er wordt een ruimte aangelegd waar de vrachtauto's (lengte ongeveer 20m) kunnen keren.

#### Aanleg weg

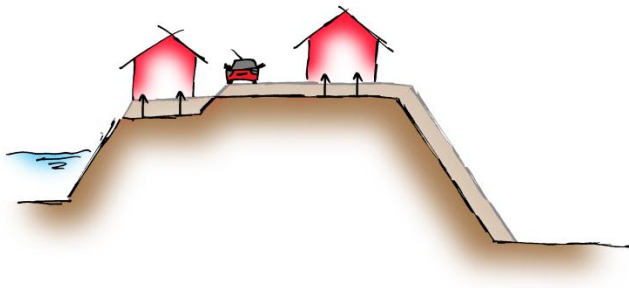
Als de damwand eenmaal staat wordt zo snel mogelijk begonnen met de aanleg van de weg en het vrijliggend fietspad. Hiervoor wordt eerst een deel van de tijdelijke weg verwijderd en wordt de definitieve weg aangelegd. Het andere deel van de tijdelijke weg kan dan nog worden gebruikt. Als de definitieve weg er eenmaal ligt wordt de rest van de tijdelijke weg verwijderd en wordt het fietspad aangelegd.

#### Afwerking

Tot slot wordt het straatmeubilair aangelegd en de aangebracht. Om de top van de damwand wordt beton gestort waarin een trapje voor de bewoners wordt verwerkt. Eventueel kan in dit beton nog straatmeubilair en een mooie bekleding worden aangebracht.

## Variante 4: Opvijzelen en ophogen

Bij de vierde en laatste variant die wordt uitgewerkt wordt de dijk opgehoogd en binnendijks verbreed. De verbreding heeft een helling van 1:3. Om te voorkomen dat er water door de dijk zal stromen wordt buitendijkse bekleding aangebracht. Alvorens de ophoging moeten de huizen 0,5m tot 1,0m opgevijseld worden. In dit ontwerp is gekozen voor adaptief ontwerpen en dus een ophoging van 0,5m. In de onderstaande afbeelding is te zien hoe de constructie er schematisch uitziet.



**Figuur E-6** Schematische weergave van variant 4: Opvijzelen en ophogen.

### Opvijzelen van de woningen

Er wordt begonnen met het opvijzelen van de woningen. Dit is een gemakkelijke stap in de bouw, maar er is veel onderzoek nodig naar de mogelijkheden. Zoals eerder beschreven is de ruimte onder de vloer en de sterkte van de fundering heel belangrijk. Wanneer de huizen zijn opgevijseld wordt er naar de toegangen van de woning een tijdelijke loopbrug aangelegd vanaf de openbare weg.

### Ophogen

Tijdens het opvijzelen van de woning wordt het ophogen, dat gefaseerd gebeurt, gestart aan het binnentalud. Zoals berekend wordt het binnentalud aangelegd onder een helling 1:3. Als de woningen zijn opgevijseld wordt ook de dijk onder de woningen opgehoogd. Het zand wordt aangevoerd over de weg op de dijk. De vrachtauto's krijgen een tijdelijke omkeerplaats op de dijk. Ook in deze variant moet de grond waar zand op komt bouwrijp gemaakt worden. Alle planten, schuurtjes en andere obstakels worden verwijderd. Tijdens het ophogen wordt de weg afgesloten en zelfs verwijderd. De bewoners krijgen een tijdelijke route naar de openbare weg. Het doorgaande verkeer wordt omgeleid over bestaande wegen. Door zettingen moet de grond gelaagd opgehoogd worden, voor de tijd tussen deze perioden wordt er een tijdelijke weg aangelegd.

### Afwerking

Na de verschillende verhogingen worden de weg en het fietspad aangelegd. Ook in deze variant gebeurt dat gefaseerd. Een tijdelijke weg wordt aangelegd waarover het verkeer rijdt tijdens de aanleg van de definitieve weg. Als de definitieve weg af is wordt de tijdelijke weg weggehaald en wordt er een fietspad aangelegd. Er kan ook worden gekozen om de tijdelijke weg om te bouwen tot een fietspad, hieraan zijn echter eisen verbonden. Vervolgens wordt het wegmeubilair geplaatst. De tuinen van de bewoners worden opgeruimd zodat die naar wens kunnen worden ingevuld.







## Bouwplanning

De planning laat duidelijk zien dat er grote verschillen zitten in de bouwtijd. Afhankelijk van deze bouwtijd is de startdatum bepaald, zodat alleen gedurende de zomer gebouwd wordt. De eerste raming laat zien dat de bouw binnen een jaar afgerond kan zijn. Afhankelijk van de naastgelegen dijkonderdelen, die niet zijn ontworpen, maar die wel aangelegd moeten worden, kan de startdatum een jaar opschuiven. Dit is afhankelijk van de keuze met welk dijkonderdeel begonnen wordt. Een mogelijkheid is ook tegelijk te bouwen. Hiervoor is een samenwerking nodig tussen de ontwerpers van de verschillende dijkonderdelen.

De planning op de vorige pagina heeft voor iedere variant een duidelijk kritiek pad (rood). Dit is het pad dat bij vertraging op dat onderdeel voor vertraging op het hele project zorgt. De opleverdatum wordt daarmee verlaat. Mogelijkheden zijn er om tussen de stappen een buffer in te plannen of onderdelen naast elkaar te laten gebeuren. Er is gekozen de taken die uitgevoerd moeten worden ruim te nemen, zodat deze dienen als buffer. Een gegeven blijft wel dat een dergelijk korte bouw voor lange uitloop kan zorgen door de kleinste foutjes of pechgevallen.



## F. Kostenindicatie

Bij de kosten is in dit rapport niet nadrukkelijk stilgestaan. De kosten zijn vanzelfsprekend wel een belangrijke factor in de besluitvorming. Om toch een redelijk inzicht te kunnen geven in de kosten is een overzicht gegeven in de onderstaande tabel van de belangrijkste kostenposten. Hierbij is voornamelijk gekeken naar de kosten van de benodigde materialen. De kosten voor de aanleg zijn bij de prijs per eenheid inbegrepen. De kentallen komen van de site [bouwkostenkompas.nl](http://bouwkostenkompas.nl) (2012) met uitzondering van de kosten voor opvijzelen (Pol, 2012). De benodigde hoeveelheden zijn uit de berekeningen gehaald. Tot slot zijn de percentage gebruikt om de bijkomende kosten te bepalen gehaald uit het dictaat 'Integraal Ontwerpen in de Civiele Techniek, 2009'.

Tabel F-1 Kostenindicatie per variant.

Onderdeel	Prijs (Euro)	Dubbele dijk		Kistdam		Damwand		Opvijzelen en ophogen	
		Aantal	Prijs (*10 <sup>3</sup> )	Aantal	Prijs (*10 <sup>3</sup> )	Aantal	Prijs (*10 <sup>3</sup> )	Aantal	Prijs (*10 <sup>3</sup> )
<b>Grond Aankoop (/m<sup>2</sup>)</b>	100	2700	270	510	51	100	10	300	30
<b>Bouwrijp (/m<sup>2</sup>)</b>	10	2700	27	510	5	100	1	300	3
<b>Materiaal Damwand (/m<sup>2</sup>)</b>	300	0	0	300	90	400	120	0	0
<b>Grond (/m<sup>3</sup>)</b>	30	11550	347	150	5	0	0	1450	44
<b>Opvijzelen (/huis)</b>	150.000	0	0	0	0	0	0	2	300
<b>Bijkomend Tijdelijke constructies</b>			0		50		50		20
<b>Ontwerp (+10%)</b>			64		15		13		38
<b>Onvoorzien (+10%)</b>			64		15		13		38
<b>Totaal (*10<sup>3</sup> Euro)</b>			773		231		207		472



## G. Inventarisatie dijkverbeteringen

Deze inventarisatie is gemaakt om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn op het gebied van dijkverbeteringen. Het bevat uitsluitend de meest voor de hand liggende oplossingen, bekend van voorgaande vergelijkbare projecten. Er is een onderverdeling gemaakt naar drie soorten verbeteringen. De eerste is stabiliteit vergroten. Hierbij wordt de dijk niet verhoogd, slechts verstevigd. De tweede soort is ophogen, hierbij moet naast de ophoging vaak ook de stabiliteit vergroot worden. De laatste soort is mobiele keringen, die bewegende keringen kunnen zijn, maar ook keringen die alleen bij extreme waterstanden gebruikt worden. Deze soort is voornamelijk gericht op het verhogen van de waterkering.





# H. Technisch tekening