

DIJKVERBETERING BORSSELEPOLDER-OOST

Ontwerprnota

Versie 2

MAART 1998

doc.nr. PZDT-R-98246



001882 1998 PZDT-R-98246

DIJKVERBETERING BORSSELEPOLDER oost O



0

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	1
1. INLEIDING	4
1.1 Achtergrond	4
1.2 Doelstelling Ontwerpnota	4
1.3 Leeswijzer	5
2. SITUATIEBESCHRIJVING	6
3. ONTWERP-CONDITIES	9
3.1 Uitgangspunten	9
3.2 Golfrandvoorwaarden	9
4. TOETSING	11
4.1 Algemeen	11
4.2 Stabiliteit toplaag	11
4.2.1 Gras op klei	12
4.2.2 Betonblokken op klei	12
4.2.3 Zetsteen op granulaire onderlaag	13
4.3 Reststerkte bekleding	14
4.4 Conclusie	15
5. KEUZE BEKLEDING	16
5.1 Algemeen	16
5.2 Bovenafel	16
5.3 Ondertafel	17
6. DIMENSIONERING	19
6.1 Berm	19
6.2 Overgang berm-boventafel	19
6.3 Bekleding boventafel	19
6.4 Overgang boventafel-ondertafel	21
6.5 Ondertafel	22
6.6 Teenconstructie	22
7. MEERWERK	23
7.1 Inleiding	23
7.2 Situatiebeschrijving	23
7.3 Ontwerp-condities	24
7.3.1 Uitgangspunten	24
7.3.2 Golfrandvoorwaarden	24
7.4 Toetsing	24
7.4.1 Stabiliteit toplaag	24
7.4.2 Conclusie	26
7.5 Keuze bekleding	26
7.5.1 Bovenafel	26
7.5.2 Ondertafel	27
7.6 Dimensionering	28
FIGUREN	
LITERATUUR	
BIJLAGEN	
APPENDIX	

SAMENVATTING

In deze Nota wordt het ontwerp beschreven van de verbetering van de glooiing van het oostelijke deel van het dijkvak van de Borsselepolder, in het kader van het Project Zeeweringen.

Het dijkvak van de Borsselepolder-oost ligt in het beheersgebied van het Waterschap Zeeuwse Eilanden. De lengte van het vak is ongeveer 3275 m. Boven NAP+3,2 m (de boventafel) bestaat de bekleding voornamelijk uit diverse soorten betonblokken op klei, beneden NAP+3,2 m (de ondertafel) liggen voornamelijk diverse soorten natuursteen op een granulaire onderlaag en gedeeltelijk ook betonblokken. De kern van de dijk bestaat grotendeels uit klei en voor een klein gedeelte uit zand.

In de Algemene Nota zijn de algemene **uitgangspunten** vastgesteld voor de verbeteringswerken in 1997. Deze uitgangspunten betreffen de vereiste veiligheid, uitvoerbaarheid, beheer en onderhoud, milieu en de eis dat uitvoering in 1997 mogelijk moet zijn. Voor de Borsselepolder-oost geldt daarnaast als specifiek uitgangspunt dat in het ontwerp voorwaarden moeten worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie op het gedeelte van de glooiing boven Gemiddeld Hoogwater (NAP+2,15 m).

De **golfrandvoorwaarden** voor het ontwerp lopen sterk uiteen over het dijkvak. Bij een maatgevende waterstand van NAP+5,5 m varieert de golfhoogte van 1,31 m tot 2,26 m. Voor de golfperiode is een vaste waarde van 8,4 s aangehouden. Voor de golfhoogte bij lagere waterstanden zijn reductiefactoren ten opzichte van de waarde bij NAP+5,5 m vastgesteld.

Toetsing van de huidige bekleding is uitgevoerd aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. De bekleding in de boventafel en bovenin de ondertafel is 'onvoldoende' uit het oogpunt van stabiliteit van de toplaag. Voor de bekleding van gepenetreerde basaltzuilen op een ondoorlatende granulaire laag geldt, dat een adequate toetsingsmethode nog niet beschikbaar is, zodat toetsing nog niet mogelijk is. De toetsing van de bekledingen daaronder, van Doornikse bloksteen en Vilvoordse steen, is eveneens uitgesteld: toetsing daarvan heeft pas zin als de bekleding erboven kan worden getoetst. De stabiliteit van het vak met betonblokken in de ondertafel is beoordeeld als 'onvoldoende'. Over de reststerkte van de bekleding bestaat onvoldoende zekerheid om mee te kunnen rekenen. Omdat nader onderzoek niet goed mogelijk is, wordt de reststerkte van het hele vak als 'onvoldoende' beoordeeld. De gedeelten waarvoor het eindresultaat van de toetsing 'onvoldoende' is moeten binnen het Project Zeeweringen worden verbeterd. Voor de bekleding van gepenetreerde basaltzuilen op ondoorlatend granulair materiaal en de bekledingen daaronder wordt het eindresultaat van de toetsing uitgesteld; deze bekleding wordt daarom (minimaal voorlopig) gehandhaafd.

De keuze van de nieuwe bekledingstypen wordt bepaald door de vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Op grond van het uitgangspunt dat in het ontwerp voorwaarden moeten worden geschapen voor vegetatie-ontwikkeling boven Gemiddeld Hoogwater wordt de bekleding van betonblokken en basaltzuilen op doorlatend granulair materiaal bovenin de glooiing vervangen door een bekleding van eco-zuilen op een uitvullaag op een vlies. Deze bekleding strekt zich globaal uit van NAP+5,6 m tot aan NAP+2,95. De **dimensionering** van de zuilen hangt af van de geldende golfrandvoorwaarden: de zwaarste zuilen die in dit vak worden toegepast hebben een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2700 kg/m³, de lichtste zijn 0,30 m dik met een volumieke massa van 2300 kg/m³. Onder de zuilen wordt een uitvullaag aangebracht van steenslag met sortering 20/40 mm, met een laagdikte van 0,1 m. Onder deze uitvullaag wordt een vlies (O₉₀ van 100 µm) aangebracht ter voorkoming van erosie van kleideeltjes.

Het voorlopig handhaven van de geopenetreerde basaltzuilen beneden de eco-zuilen is alleen geoorloofd als eventueel bezwijken niet leidt tot ondermijning van de nieuwe bekleding erboven. Daarom wordt tussen de eco-zuilen en de gehandhaafde geopenetreerde basaltzuilen een sterke overgangsconstructie toegepast. Deze bestaat uit kantplanken van gewapend beton met azobé-palen en een constructie van breuksteen (sortering 5-40 kg) geopenetreerd met asfalt. De dikte van de stortsteenlaag is 0,5 m, de breedte 1,0 à 1,5 m.

Het is mogelijk dat een deel van de (minimaal voorlopig) gehandhaafde bekleding onderin de glooiing als 'onvoldoende' zal worden beoordeeld. Het vervangen van laaggelegen bekledingen met handhaving van de nieuwe, hogergelegen bekledingen heeft grote uitvoeringstechnische nadelen en is duur. De oplossing voor dit mogelijke probleem kan worden gevonden in het overlagen van de bestaande bekleding met breuksteen. Naar deze oplossing wordt nader onderzoek uitgevoerd in het kader van het Project Zeeweringen.

De bekleding van betonblokken op de ondertafel worden vervangen door betonzuilen op een uitvullaag. Beneden NAP+2,15 m worden geen eco-zuilen toegepast. De afmetingen van de zuilen op de ondertafel zijn wel hetzelfde als op de boventafel. Hetzelfde geldt voor uitvullaag en vlies. De bekleding wordt aangesloten op de bestaande teenconstructie.

Tenslotte wordt op een deel van het dijkvak een proefvak aangebracht met Hydroblocks. Dit is een type dat machinale plaatsing in bochten mogelijk maakt. Verdere eigenschappen (mogelijkheid van eco-top, dimensionering) worden hierdoor niet beïnvloed.

Aan het beschreven werk is een staat van **meerwerk** toegevoegd. Het betreft een uitbreiding aan de oostzijde met een lengte van ongeveer 420 m. De kern bestaat uit klei; ook op dit gedeelte is de boventafel bekleed met betonblokken op klei en de ondertafel met natuursteen op een uitvullaag. Boven NAP+2,7 m moeten voorwaarden worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie. Bij een waterstand van NAP+6 m is de zwaarste significante golfhoogte 2,8 m, de bijbehorende piekperiode is 7,5 s.

Uit toetsing volgt, dat de gehele bekleding 'onvoldoende' is, met uitzondering van de strook gepenetreerde basaltzuilen op ondoorlatend filter: daarvoor kan nog geen toetsingsresultaat worden vastgesteld.

De gehele bekleding in het meerwerkgedeelte wordt vervangen door een bekleding van betonzuilen op een granulaire laag. De keuze voor het verbeteren van de nog niet getoetste strook in het meerwerk, in tegenstelling tot de werkwijze in de rest van het dijkvak, is veroorzaakt door de volgende omstandigheid. Oorspronkelijk betrof het meerwerk een nog verdere uitbreiding in oostelijke richting; voor het grootste deel van dat oorspronkelijke meerwerk geldt, dat overlaging met breuksteen geen oplossing is. Om de 'onvoldoende' bekleding van Doornikse bloksteen onderin te kunnen verbeteren, moet ook de niet getoetste bekleding worden verwijderd. Toen de lengte van het meerwerk in een later stadium werd ingekort, is het ontwerp niet aangepast.

De betonzuilen boven het niveau NAP+2,7 m worden voorzien van een ecotop. Zowel de ecozuilen als de gewone zuilen hebben een dikte van 0,35 m; de zuilen bovenin hebben een volumieke massa van 2900 kg/m^3 , de zuilen onderin van 2700 kg/m^3 . Ook binnen het meerwerk wordt in een bocht een proefvak met Hydroblocks aangebracht. Hierop worden geen ecotops aangebracht en de Hydroblocks boven NAP+2,7 m hebben een dikte van 0,38 m en een volumieke massa van 2700 kg/m^3 .

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Uit onderzoek van de Technische Adviescommissie Waterkeringen is gebleken dat een groot deel van de taludbekledingen van de glooiingen van zeedijken in Zeeland niet sterk genoeg is. De belangrijkste problemen doen zich voor bij bekledingen van betonblokken die direct op een onderlaag van klei liggen. Om dit probleem op te lossen is door Rijkswaterstaat het Project Zeeweringen opgestart. Binnen het Project Zeeweringen wordt, in samenwerking met de Zeeuwse Waterschappen en de Provincie Zeeland, de taludbekleding van de primaire waterkeringen in Zeeland zodanig verbeterd dat ze voldoet aan de wettelijke eisen.

Om de urgente dijkvakken snel aan te kunnen pakken is bij aanvang van het Project besloten om al in 1997 de eerste werken uit te voeren. Vier dijkvakken langs de Westerschelde zijn uitgekozen; één van deze vier dijkvakken is het oostelijke deel van de Borsselepolder (Borsselepolder-oost). Het ontwerp van dit dijkvak is het onderwerp van deze nota.

In het ontwerp wordt alleen de bekleding van het buitentalud van de glooiing, vanaf de buitenberm tot en met de teen beschouwd. Kruin, buitenbeloop boven de berm, kern, ondergrond en binnentalud worden niet in het ontwerp betrokken. De berm wordt wel bij het ontwerp betrokken voor zover dat voor de uitvoering van de werken van belang is.

1.2 Doelstelling Ontwerpnota

De gemaakte ontwerpen moeten formeel worden vastgelegd in ontwerpnota's. In deze nota's moet een inzichtelijke beschrijving worden gegeven van de uitgangspunten en van de ontwerpkeuzes die op grond daarvan worden gemaakt.

Ter verbetering van de helderheid is besloten om de ontwerpnota's te splitsen. Aspecten die voor alle vier de dijkvakken gelden worden beschreven in een Algemene nota [1], terwijl de specifieke aspecten voor elk dijkvak in aparte ontwerpnota's worden vastgelegd. De voorliggende nota is de specifieke ontwerpnota voor de Borsselepolder-oost.

Voor deze specifieke nota kan de volgende doelstelling worden geformuleerd: de nota moet een beschrijving geven van

- de specifieke aspecten die van belang zijn voor het ontwerp van de taludbekleding van de glooiing van de Borsselepolder-oost;
- toetsings- en ontwerpberekeningen;
- het resulterend ontwerp.

Het resulterend ontwerp moet daarnaast zodanig worden beschreven dat het een overzicht geeft van de ontwerpgegevens die moeten worden opgenomen in het systeem van leggers en beheersregisters van de waterschappen.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de huidige situatie van het dijkvak beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwerp-uitgangspunten en golfrandvoorwaarden. In Hoofdstuk 4 komt de toetsing van de huidige bekleding aan de orde en wordt geconcludeerd welke delen wel en niet binnen het Project Zeeweringen moeten worden verbeterd. In Hoofdstuk 5 wordt op basis van de vastgestelde uitgangspunten en golfrandvoorwaarden een principe-oplossing gekozen voor elk gedeelte van het dijkvak dat moet worden verbeterd. In Hoofdstuk 6 wordt de dimensionering van de bekledingen beschreven. Tenslotte wordt in Hoofdstuk 7 het meerwerk behandeld, dat in een later stadium aan het bestek is toegevoegd.

2. SITUATIEBESCHRIJVING

Het dijkvak Borsselepolder-oost ligt op Zuid-Beveland, in het beheersgebied van het Waterschap Zeeuwse Eilanden, ten oosten van Borssele. De locatie is weergegeven in Figuur 1. In deze Figuur is ook het meerwerk opgenomen; dit wordt apart behandeld in Hoofdstuk 7.

Het gedeelte dat is geselecteerd voor verbetering heeft een lengte van ongeveer 3275 m en ligt tussen dp 31,15 in de Borsselepolder (westgrens) en dp 80,8 in de Ellewoutsdijkpolder (oostgrens). De oostgrens ligt 160 m buiten de grens van de Borsselepolder; in het vervolg van deze nota wordt hiernaar verwezen als 'dp - 1,60', om aan te sluiten bij de dijkspaalmarkering van de Borsselepolder.

De geometrie van de glooiing van het grootste deel van het dijkvak kan globaal worden beschreven door één karakteristiek dwarsprofiel. Dit is weergegeven in Figuur 2. Daarnaast ligt binnen het dijkvak, op het gedeelte dp 15,50-17,05, een afwijkende 'bult' bij een voormalige uitwatering (zie Figuur 1). Het afwijkende gedeelte wordt apart beschreven.

Voor een schematische weergave van de bekleding van het gehele dijkvak wordt verwezen naar Figuur 3a.

Algemeen gedeelte

Het interessegebied strekt zich uit vanaf de berm tot en met de teen. Van belang voor het ontwerp zijn de kern van de dijk en de bekleding van de dijk (toplaag, granulaire onderlaag en basismateriaal).

De kern van de dijk bestaat voor het grootste deel uit klei en over een lengte van ongeveer 750 m uit zand (dp-1,60-1,50 en dp 17,05-21,26). Met betrekking tot de kleikern wordt opgemerkt, dat de ondergrens rond NAP+1 m ligt en dat de exacte opbouw en kwaliteit onbekend zijn.

Verticaal gezien bestaat de bekleding uit twee gedeelten, met een overgang rond NAP+3,2 m. Dit is ongeveer 1 m boven Gemiddeld hoogwater (GHW).

Het bovenste gedeelte, tussen de berm (rond NAP+5,6 m) en de overgang, wordt de **boventafel** genoemd. De taludhelling van de boventafel varieert tussen 1:3,75 en 1:4. Het gedeelte boven NAP+5 m heeft een grasbekleding op klei. Daaronder bestaat de bekleding uit verschillende soorten betonblokken op klei. Van boven naar beneden gaat het globaal om het volgende:

- tussen NAP+5 m en NAP+4,7 m doorgroeiëstenen;
- tussen NAP+4,7 m en Nap+4,5 m: twee rijen vlakke betonblokken van 0,45 m bij 0,45 m met een dikte van 0,20 m;
- tussen NAP+4,5 m en de overgang: Haringmanblokken van 0,5 m bij 0,5 m met een dikte van 0,20 m.

De volumieke massa van het beton in de bekleding is $2,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Op drie gedeelten wordt van dit patroon afgeweken:

- op het gedeelte dp -1,60-1,50 ligt op de boventafel gepenetreerde basalt op een granulaire laag met een dikte van 0,2 à 0,35 m;
- op het gedeelte dp 6,53-7,53 ligt de overgang op een lager niveau, namelijk rond NAP+1,6 m;
- op het gedeelte dp 17,05-21,26 is geen overgang aanwezig maar bestaat de hele bekleding uit betonblokken op klei; voor de laatstgenoemde twee afwijkende vakken geldt, dat onder de Haringmanblokken nog een vak met vlakke betonblokken ligt.

Het basismateriaal van de gehele boventafel bestaat uit klei. Op het gedeelte waar de kern niet uit klei bestaat, ligt onder de steenbekleding grotendeels een kleilaag met een dikte van 0,8 m.

Het gedeelte van de steenbekleding onder NAP+3,2 m wordt de **ondertafel** genoemd. De taludhelling is ongeveer 1:3,5. De bekleding bestaat uit verschillende soorten natuursteen op een granulaire laag en varieert over de lengte van het dijkvak. Globaal van boven naar beneden gaat het om de volgende typen steen:

- tussen NAP+3,2 m en NAP+1 m: gepenetreerde basaltzuilen;
- tussen NAP+0,5 m en NAP+1 m: Doornikse blokken;
- tussen NAP+0,5 m en NAP: Vilvoordse steen.

Met betrekking tot de basaltzuilen wordt onderscheid gemaakt tussen de gedeelten onder en boven NAP+2,6 m. Onder NAP+2,6 m is de hoogte van de basaltzuilen 0,2 à 0,3 m. De granulaire laag bestaat uit puin waarvan de doorlatendheid zeer laag is; dit is ter plaatse gecontroleerd. Het gedeelte boven NAP+2,6 m is meer recentelijk aangepast om een goede aansluiting te krijgen bij de aanleg van de bekleding van de boventafel. De zuilhoogte is hier kleiner en het ondoorlatende puin is vervangen door een meer doorlaatbare granulaire laag. De asfaltpenetratie is niet in het granulaire materiaal doorgedrongen; hierdoor is de doorlatendheid van de toplaag klein en van de onderliggende granulaire laag juist groot.

De Doornikse en Vilvoordse steen ligt op een dunne granulaire laag. Het basismateriaal van de ondertafel bestaat deels uit mijnsteen en deels uit klei.

Het gedeelte dp -1,60-1,50 is ook voor de ondertafel afwijkend: beneden NAP+3,3 m bestaat de bekleding uit Haringmanblokken op mijnsteen.

Bult bij voormalige uitwatering

Deze bult op het gedeelte dp 15,50-17,05 maakt onderdeel uit van de waterkering (zie Figuur 1). Het profiel is afwijkend. Het oppervlak van de bult ligt op NAP+4 m en voor het ontwerp is de bekleding beneden dit niveau van belang.

De bekleding van de zijkanten is als volgt opgebouwd:

- boven het talud, op het horizontale oppervlak: twee rijen vlakke betonblokken;
- tussen NAP+4 m en NAP+2,75 m: Haringmanblokken;
- beneden NAP+2,75 m: zelfde opbouw als ten oosten van de bult: gepenetreerde basaltzuilen, Doornikse blokken en Vilvoordse steen.

De Haringmanblokken liggen op een dunne laag klei die op de zandkern is aangebracht.

Op de voorkant van de bult, waar de bekleding een scherpe bocht moet maken, liggen gepenetreerde basaltzuilen in plaats van Haringmanblokken. Onderaan deze basaltzuilen ligt een berm met een breedte van 3 m.

3. ONTWERP-CONDITIES

3.1 Uitgangspunten

In de Algemene nota voor de dijkvakken van 1997 [1] wordt een beschrijving gegeven van uitgangspunten die in het algemeen gelden voor dijkversterking en van de uitgangspunten die in het bijzonder gelden voor de werken die in 1997 worden uitgevoerd. Op grond hiervan zijn de volgende technische uitgangspunten voor het ontwerp vastgesteld:

- de gehele bekleding moet sterk genoeg zijn om niet te bezwijken tot aan de ontwerp-omstandigheden met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar;
- het ontwerp moet goed uitvoerbaar zijn en goede voorwaarden scheppen voor beheer en onderhoud;
- gestreefd moet worden naar het zoveel mogelijk toepassen van milieuvriendelijke materialen en naar hergebruik van aanwezige materialen. De gebruikte constructiematerialen moeten zoveel mogelijk geschikt zijn voor eventueel toekomstig hergebruik;
- vertragingen in ontwerp, procedures en uitvoering moeten worden vermeden; dit betekent onder meer dat er naar gestreefd wordt alleen oplossingen toe te passen die in de praktijk bewezen zijn, dat ingrijpende profielwijzigingen worden voorkomen en bovendien dat de grootschalige toepassing van asfalt moet worden vermeden.

Naast deze algemene uitgangspunten geldt voor de Borsselepolder-oost een specifiek uitgangspunt met betrekking tot natuurontwikkeling. In de Algemene nota is als uitgangspunt aangegeven dat het ontwerp, indien relevant, voorwaarden moet scheppen voor natuurontwikkeling. In overleg met RIKZ is vastgesteld, dat op het gedeelte van de glooiing boven GHW (voor dit dijkvak NAP+2,15 m) potenties bestaan voor de ontwikkeling van vegetatie. Dit leidt tot het volgende uitgangspunt:

- in het ontwerp moeten voorwaarden worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie op het gedeelte van de glooiing boven GHW.

3.2 Golfrandvoorwaarden

De golfrandvoorwaarden voor het ontwerp worden bepaald door het gekozen uitgangspunt dat de dijk sterk genoeg moet zijn om veiligheid tegen overstroming te bieden tot aan een hoogste hoogwaterstand met een gemiddelde overschrijdingskans van 1/4000 per jaar. Voor het ontwerp zijn de maatgevende golfvelden bij verschillende waterstanden met behulp van modelberekeningen vastgesteld door RIKZ [2]. Vanwege de onzekerheidsmarge is bij de interpretatie het uitgangspunt gekozen dat in principe wordt uitgegaan van de gegevens uit het Randvoorwaardenboek [3], tenzij aangetoond kan worden dat deze gegevens niet juist zijn.

Ten eerste zijn berekeningen uitgevoerd voor de situatie bij het maatgevende stormvloedpeil. Opgemerkt wordt, dat dit peil volgens de huidige inzichten hoger is dan het toetspeil volgens het Randvoorwaardenboek (NAP+5,5 m in plaats van NAP+4,4 m). De berekeningen van RIKZ zijn uitgevoerd met de hogere waterstand van NAP+5,5 m. De golfrandvoorwaarden die uit deze berekening volgden zijn minder zwaar dan de waarden waarmee volgens het Randvoorwaardenboek bij een lagere waterstand van NAP+4,4 m moet worden gerekend. Op grond van de gekozen conservatieve benadering is besloten om bij hoge waterstanden toch uit te gaan van de waarden in het Randvoorwaardenboek. Dit betreft zowel de golfhoogte als de golfperiode.

Ook bij lagere waterstanden zijn berekeningen gemaakt. Om aan te sluiten bij de gevolgde conservatieve benadering is de volgende werkwijze toegepast: ten eerste zijn op grond van de rekenresultaten reductiefactoren vastgesteld voor de golfhoogten bij lagere waterstanden ten opzichte van de golfhoogte bij NAP+4,4 m. Vervolgens is deze reductiefactor toegepast op de aangenomen (hoge) golfhoogte uit het Randvoorwaardenboek. De resulterende golfhoogte is aangenomen als maatgevend voor het ontwerp bij de lagere waterstanden. Met betrekking tot de golfperiode is gekozen dezelfde (hoge) waarde als bij de hoge waterstanden (uit het Randvoorwaardenboek) aan te houden.

Binnen het dijkvak zijn vier gedeelten te onderscheiden waarvoor verschillende golfrandvoorwaarden zijn vastgesteld. De grenzen zijn aangegeven in Figuur 1. Voor het gedeelte dp 19-25 is de directe golfaanval beperkt; de maatgevende golfbelasting is daardoor de golf die voor het deel ten westen van dp 25 is berekend, toegepast als een strijkgolf. Hiertoe wordt de golfhoogte gereduceerd tot 70 %, terwijl de periode gelijk blijft.

De resulterende golfrandvoorwaarden zijn weergegeven in Tabel 1.

GOLFRANDVOORWAARDEN								
dijkvak [dp]	waterstand NAP+5,5 m		waterstand NAP+3,5 m		waterstand NAP+3 m		waterstand NAP+2 m	
	H _s	T _p	H _s	T _p	H _s	T _p	H _s	T _p
0-13	2,26	8,4	2,12	8,4	2,06	8,4	1,94	8,4
13-19	2,02	8,4	1,86	8,4	1,78	8,4	1,64	8,4
19-25	1,31	8,4	1,25	8,4	1,21	8,4	1,09	8,4
25-32	1,87	8,4	1,78	8,4	1,72	8,4	1,55	8,4

Tabel 1: Golfrandvoorwaarden

Opgemerkt wordt dat de vakverdeling voor het ontwerp conservatief is: vakgrenzen die in de rapportage van RIKZ op dp 9 en dp 27 lagen zijn verplaatst naar respectievelijk dp 13 en dp 25. De zwaardere belastingen van het meest westelijke en meest oostelijke vak zijn daardoor maatgevend verklaard voor een groter gebied.

Bij waterstanden lager dan NAP+2 m is de maximale golfhoogte gelijk aan 70 % van de waterdiepte ($H_s = 0,7 \times d$).

4. TOETSING

4.1 Algemeen

In 1996 heeft Grondmechanica Delft de toestand van de bekledingen van de glooiingen geïnteriseerd [4]. Deze inventarisatie was de directe aanleiding tot het Project Zeeweringen. Ook de bekleding van het dijkvak van de Borsselepolder-oost is in dat kader globaal getoetst aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid [5]; bijna de hele bekleding van het dijkvak boven GHW is daarbij beoordeeld als 'onvoldoende'. In het inventarisatierapport is aangegeven dat de geldigheid van dit resultaat wordt beperkt doordat

- niet alle gegevens beschikbaar waren;
- de gebruikte golfrandvoorwaarden eigenlijk niet zijn bedoeld voor toetsing van bekledingen;
- de gebruikte rekenmethodes slechts indicatief zijn.

De uitgevoerde globale toetsing is dan ook niet geschikt als basis voor het ontwerp.

Op grond van de verbeterde gegevens (zie Hoofdstuk 2) en de verbeterde golfrandvoorwaarden (zie § 3.2) zijn nieuwe toetsingsberekeningen uitgevoerd. Wederom is gewerkt volgens de Leidraad. Deze toetsing wordt in dit Hoofdstuk beschreven.

In de Algemene Nota 1997 is aangegeven dat van de geselecteerde dijkvakken alle gedeelten worden aangepakt die op grond van de Leidraad Toetsen als 'onvoldoende' worden beoordeeld. Een bekleding is 'onvoldoende' als de toplaag 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is en als bovendien de reststerkte van de bekleding 'onvoldoende' is. Als de toplaag 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is maar de reststerkte is 'voldoende', is het eindresultaat voor de bekleding in principe 'voldoende'. Op deze laatste regel bestaat een uitzondering: het eindresultaat voor de bekleding kan slechts 'voldoende' zijn als het bezwijken van de toplaag niet kan leiden tot schade aan hoger gelegen bekledingen. Bij nadere toetsing moet daarom aandacht worden besteed aan zowel de toplaag als de reststerkte.

De toetsing van de stabiliteit van de toplaag en van de reststerkte van de bekleding worden in de volgende paragrafen apart behandeld. Aansluitend wordt het eindresultaat van de toetsing vastgesteld, op grond waarvan geconcludeerd wordt welke delen van de bekleding moeten worden verbeterd.

4.2 Stabiliteit toplaag

Bij toetsing van steenbekledingen volgens de Leidraad bestaan verschillende niveaus van detail. Elke bekleding wordt eerst met de 'eenvoudige methode' getoetst. Als deze eenvoudige toetsing tot een beoordeling 'goed' of 'onvoldoende' leidt, is dat tevens het eindresultaat. Als de bekleding volgens de eenvoudige toetsing 'twijfelachtig' is, moet indien mogelijk worden getoetst met de 'gedetailleerde methode' (zie [5]). Beide methoden worden nader beschreven in de Appendix.

Het dijkvak bevat niet alleen bekledingen van steen maar ook van gras. Met betrekking tot de toetsing hiervan wordt opgemerkt, dat de huidige stand van het onderzoek geen zekerheid geeft over de veiligheid van bekledingen van gras.

De toetsing wordt beschreven per bekledingstype. In- en uitvoer van de toetsingsberekeningen is opgenomen in Bijlage 1.

4.2.1 Gras op klei

De grasbekleding komt voor in het hele algemene deel van het dijkvak, boven NAP+5 m. Op grond van de geldende onzekerheid over de veiligheid van grasbekledingen is dit gedeelte volledig als 'onvoldoende' beoordeeld.

4.2.2 Betonblokken op klei

Een bekleding van betonblokken op klei kan alleen met de 'eenvoudige methode' worden getoetst.

In het dijkvak komt dit bekledingstype in drie vormen voor:

- doorgroeistenen, op bijna het hele dijkvak tussen NAP+5 m en NAP+4,7 m;
- vlakke betonblokken, op bijna het hele dijkvak tussen NAP+4,7 m en NAP+4,5 m en plaatselijk beneden NAP+3,3 m tot aan NAP+1 m;
- Haringmanblokken, op bijna het hele dijkvak tussen NAP+4,5 m en NAP+3,2 m en op de zijkanten van de bult.

Voor de blokken gelden uiteenlopende golfbrandvoorwaarden. De zwaarste is die bij een waterstand van NAP+5,5 m in het gedeelte dp 0-13 ($H_s = 2,26$ m), de lichtste die bij een waterstand van NAP+2 m in het gedeelte dp 19-25 ($H_s = 1,09$ m).

Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	2,26 m - 1,09 m
T_p	=	8,4 s
α	=	1:3,5
ρ_{beton}	=	2300 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,20 m

In de minst gunstige situatie gelden voor de belastingparameter (ξ_{op}) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$) de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 2,0$
- $H_s/\Delta D = 9,1$

In de meest gunstige situatie gelden de volgende waarden:

- $\xi_{op} = 2,9$
- $H_s/\Delta D = 4,4$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op goede klei' (type 2) volgt, dat alle bekledingen van betonblokken op klei in het dijkvak als 'onvoldoende' worden beoordeeld.

4.2.3 Zetsteen op granulaire onderlaag

De bekleding van een groot deel van de ondertafel bestaat uit verschillende soorten natuursteen en varieert over de lengte van het dijkvak. Globaal van boven naar beneden gaat het om de volgende typen steen: gepenetreerde basaltzuilen, Doornikse blokken en Vilvoordse steen. Verder ligt op een klein deel van de ondertafel een bekleding van Haringmanblokken op mijnsteen.

Gepenetreerde basaltzuilen

Onderscheid wordt gemaakt tussen drie gedeelten met een bekleding van gepenetreerde basaltzuilen:

- in de boventafel (in een klein deel van het dijkvak);
- in de ondertafel boven NAP+2,6 m;
- in de ondertafel onder NAP+2,6 m.

De eerste twee gedeelten betreffen een bekleding op een doorlatend filter, het derde gedeelte op een ondoorlatend filter.

Het is met de huidige stand van de kennis niet mogelijk om gepenetreerde zetsteenbekledingen te toetsen. In het Deltagootonderzoek worden proeven gedaan met deze constructievorm. De verwachting is dat de resultaten van deze proeven zullen leiden tot toepasbare toets- en ontwerpregels.

Op grond van het principe dat een doorlatend filter ongunstig is voor de stabiliteit van de topklaag, is de bekleding op doorlatend filter beoordeeld als 'onvoldoende'. Van de bekleding op ondoorlatend filter echter wordt verwacht dat de stabiliteit groter is; op grond van deze verwachting is besloten het resultaat van de toetsing uit te stellen, in afwachting van de resultaten van het onderzoeksprogramma in de Deltagoot.

Doornikse blokken

De Doornikse blokken bevinden zich in een groot deel van het dijkvak (ongeveer 2500 m) in de ondertafel, rond NAP+0,5 m.

De blokken bevinden zich bijna overal onder het vak met gepenetreerde basalt op ondoorlatend filter. Omdat het resultaat van de toetsing voor deze bekleding uitgesteld is in afwachting van nader onderzoek, is de toetsing van de Doornikse blokken ook uitgesteld.

Vilvoordse steen

De Vilvoordse steen bevindt zich in een groot deel van het dijkvak (ongeveer 2500 m) in de ondertafel, rond NAP.

De blokken bevinden zich overal onder het vak met Doornikse blokken. Ook hiervoor geldt dat de toetsing uitgesteld is totdat het mogelijk is om de hogergelegen bekleding van gepenetreerde basalt op ondoorlatend filter te toetsen.

Haringmanblokken

De Haringmanblokken op mijnsteen bevinden zich op het traject dp-1,60-1,50 beneden NAP+3,3 m. Voor de toetsing moeten de golfrandvoorwaarden worden gebruikt voor het niveau NAP+5,5 m.

Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	2,26 m
T_p	=	8,4 s
α	=	1:3,5
ρ_{beton}	=	2300 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,20 m

De volgende parameters worden berekend:

- $\xi_{op} = 2,0$
- $H_s/\Delta D = 9,1$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op filter' (type 3b) volgt, dat de bekleding van Haringmanblokken op mijnsteen als 'onvoldoende' wordt beoordeeld.

4.3 Reststerkte bekleding

Bij de toetsing van de reststerkte van de bekleding is de volgende werkwijze gevolgd: de reststerkte wordt slechts als 'voldoende' beoordeeld als

- de kern van de dijk uit goede klei bestaat;
- de ontwerp golfhoogte H_s duidelijk kleiner is dan 2 m.

Zoals aangegeven in Figuur 3a bestaat de kern voor een deel uit zand (ongeveer 750 m) en voor een ander deel uit klei (ongeveer 2400 m). Voor het gedeelte met zandkern is de beoordeling van de reststerkte direct 'onvoldoende'.

In Tabel 1 zijn de ontwerp golfhoogten gegeven. Slechts voor een deel van het dijkvak gelden golfhoogten die duidelijk kleiner zijn dan 2 m: voor het gedeelte dp 13-19 beneden NAP+3,5 m en voor het gedeelte dp 19-25 op de gehele glooiing.

Op grond van de gestelde voorwaarden kan reststerkte van belang zijn voor twee gedeelten:

- dp 13-15,50 beneden NAP+3,5 m;
- dp 21,26-31,15.

Zoals besproken in Hoofdstuk 2 ligt de ondergrens van de kleikern rond NAP+1 m; bovendien is over de exacte opbouw en kwaliteit van de klei zo weinig bekend dat niet op de reststerkte kan worden vertrouwd.

Volgens de Leidraad wordt bij twijfel over de reststerkte van de bekleding een eindscore 'nader onderzoek' gegeven. In dit geval echter is nader onderzoek niet goed mogelijk: om een representatief beeld van de kleikern te krijgen zou het onderzoek zeer fijnmazig moeten zijn. Bovendien zou de opbouw van de klei juist door het onderzoek sterk worden verstoord.

Op grond van deze overwegingen wordt de reststerkte van het gehele vak, inclusief het gedeelte met kleikern, als 'onvoldoende' beoordeeld.

4.4 Conclusie

Vanwege de afwezigheid van reststerkte wordt het toetsingsresultaat bepaald door de stabiliteit van de toplaag. De stabiliteit van de toplaag is voor de gehele boventafel en voor een deel van de ondertafel beoordeeld als 'onvoldoende'; voor een groot deel van de ondertafel is het eindoordeel uitgesteld in afwachting van onderzoeksresultaten. De eindbeoordeling is weergegeven in Figuur 3b.

5. KEUZE BEKLEDING

5.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt voor het hele dijkvak de keuze van het bekledingstype beschreven.

In de Algemene nota [1] is op grond van de vastgestelde uitgangspunten geconcludeerd dat twee oplossingsvarianten beschikbaar zijn voor uitvoering in 1997, namelijk:

- blokken gekanteld herplaatsen op geokunststof (buiten getijzone);
- zetsteen op dunne uitvullaag op een vlies.

Van de tweede oplossingsvariant, zetsteen op dunne uitvullaag op een vlies, waren ten tijde van de ontwerpwerkzaamheden twee typen beschikbaar, namelijk hergebruik van natuursteen en nieuw aan te voeren betonzuilen. Toen de uitvoering van het werk al begonnen was, ontstond het inzicht dat hergebruik van de beschikbare betonblokken op een uitvullaag gunstiger is dan direct op geokunststof op klei. Dit wordt beschreven in de Algemene nota [1]. Op dat moment is alsnog gecontroleerd in hoeverre hergebruik van de gekantelde betonblokken mogelijk en zinnig zou zijn, mede in het licht van het feit dat het werk al in uitvoering was. Voor het dijkvak Borsselepolder-oost geldt, dat de uitvoering op dat moment al zodanig ver gevorderd was, dat een berekening van de toepasbaarheid van betonblokken op een uitvullaag niet zinnig meer was. De beschrijving in dit hoofdstuk betreft dan ook de gang van zaken ten tijde van het maken van het ontwerp.

In § 3.1 is daarnaast het specifieke uitgangspunt vastgesteld dat in het ontwerp voorwaarden moeten worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie op het gedeelte van de glooiing boven GHW.

5.2 Boventafel

De eerste beschikbare oplossing, blokken gekanteld herplaatsen op een vlies, is slechts mogelijk als de golfrandvoorwaarden dit toelaten: omdat gebruik wordt gemaakt van de aanwezige blokken is er geen vrijheid in het kiezen van dikte en volumieke massa. De dikte van de blokken in gekantelde vorm bedraagt 0,5 m of 0,45 m, de volumieke massa is 2300 kg/m³.

Met behulp van het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op geotextiel op zand of klei' (type 1) is vastgesteld of de aanwezige betonblokken gekanteld direct op geotextiel op klei kunnen worden toegepast. Afhankelijk van de invoerparameters kan de vereiste maximale waarde voor de sterkteparameter worden bepaald. Hieruit volgt de minimaal vereiste dikte van de toplaag. Voor de invoerparameters wordt verwezen naar § 4.2.2.

De berekening is uitgevoerd bij de zwaarste en bij de lichtste golfrandvoorwaarden op het niveau NAP+5,5 m:

Bij $H_s = 2,26$ m geldt:

$$\xi_{op} = 2,0 \Rightarrow H_s/\Delta D < 2,25 \Rightarrow D > 0,81 \text{ m}$$

Bij $H_s = 1,31$ m geldt:

$$\xi_{op} = 2,6 \Rightarrow H_s/\Delta D < 1,9 \Rightarrow D > 0,56 \text{ m}$$

Het diagram bij deze berekening is weergegeven in Bijlage 2. Met dit resultaat is aangetoond dat de golfrandvoorwaarden voor de boventafel van dit dijkvak te zwaar zijn om het gekanteld herplaatsen van de blokken direct op geotextiel op klei mogelijk te maken. De gehele boventafel moet daarom worden bekleed met zetsteen op een uitvullaag op een vlies.

Op grond van het specifieke uitgangspunt met betrekking tot natuurontwikkeling is gekozen om de gehele boventafel te bekleden met eco-zuilen. Eco-zuilen zijn speciale betonzuilen die de ontwikkeling van vegetatie stimuleren door middel van een verruwde bovenkant.

De gehele boventafel, vanaf de berm (rond NAP+5,6 m) tot aan de bestaande overgang (rond NAP+3,2 m), wordt bekleed met eco-zuilen. Ook op het gedeelte dp 6,53-7,53 wordt de bekleding met eco-zuilen aangebracht tot aan de overgang; die ligt op dit gedeelte ongeveer 1½ m lager.

Besloten is om op een deel van de boventafel, op het gedeelte dp-1,60-2,50, een proefvak toe te passen met Hydroblocks. Dit is een zuiltype dat machinale plaatsing in bochten mogelijk maakt. De besproken toepassing van een eco-top op dit vak boven NAP+2,15 m wordt hierdoor niet belemmerd.

Ook op de bult bij de voormalige uitwatering worden boven de overgang (op NAP+2,75 m) eco-zuilen aangebracht. Zowel de Haringmanblokken op de zijanten als de basaltzuilen op de voorkant van de bult worden hierdoor vervangen. Bovenaan het talud wordt de bekleding met eco-zuilen 2 m doorgezet op het horizontale oppervlak van de bult.

5.3 Ondertafel

De **gepenetreerde basalt op grof doorlatend granulaair materiaal** in het bovenste gedeelte van de ondertafel moet zeker worden vervangen. Voor dit gedeelte geldt eveneens dat ontwikkeling van vegetatie moet worden gestimuleerd; bovendien volgt uit de algemene uitgangspunten dat de hoeveelheid overgangsconstructies minimaal moet zijn. Op grond hiervan is gekozen om de bekleding van eco-zuilen van de boventafel naar beneden toe voort te zetten. Dit houdt in dat de huidige overgangsconstructie van perkoenpalen en betonnen kantplanken moet worden verwijderd. De perkoenpalen kunnen worden doorgedrukt, terwijl de kantplanken kunnen worden hergebruikt.

Voor de **gepenetreerde basalt op ondoorlatend granulair materiaal** is het toetsingsresultaat uitgesteld totdat adequate toetsingsmethoden beschikbaar zijn. De bekleding zal daarom (minimaal voorlopig) worden gehandhaafd. Dit uitstel is slechts geoorloofd als eventueel bezwijken van de toplaag niet leidt tot ondermijning van de nieuwe bekleding van de boventafel. Het voorlopig handhaven van de gepenetreerde basalt op ondoorlatend granulair materiaal wordt daarom toegepast in combinatie met een sterke overgangsconstructie onderaan de bekleding van eco-zuilen.

De **Doornikse en Vilvoordse steen** onder NAP+1 m zijn nog niet getoetst en worden (minimaal voorlopig) gehandhaafd. Het is mogelijk dat zich na toetsing de situatie zal voordoen dat de Doornikse en Vilvoordse steen 'onvoldoende' zijn, terwijl de bekleding erboven gehandhaafd kan worden. Vervanging van de 'onvoldoende' bekleding door zwaardere zetsteen zou echter in deze situatie tot grote uitvoeringstechnische problemen leiden. Als de Doornikse stenen zouden moeten worden vervangen, zou het vak met basaltzuilen tijdens de uitvoering niet worden ondersteund. Dit zou moeten worden opgelost door een tijdelijke constructie of door verwijdering en latere herplaatsing van de basaltzuilen. Beide oplossingen leiden tot veel extra kosten en bouwtijd.

Vanwege dit nadeel komen andere oplossingsrichtingen in beeld, die weliswaar voldoen aan de algemene uitgangspunten maar die niet in 1997 kunnen worden uitgevoerd. Met name gaat het in dit geval om het overlagen van de bestaande bekleding met breuksteen. De resultaten van het lopende onderzoek naar de dimensionering van breuksteenoverlaging worden op korte termijn verwacht; het eventuele overlagen zal dan ook al in 1998 kunnen worden uitgevoerd.

Op het deel van de ondertafel waar de bekleding bestaat uit **betonblokken** (dp - 1,60-1,50 en dp17,05-21,26) bestaat geen reden voor uitstel van de verbetering. De enige beschikbare principe-oplossing is het vervangen van de bekleding door zetsteen op een uitvullaag. De toepassing van betonzuilen voldoet in dat geval het beste aan de gestelde uitgangspunten van uitvoerbaarheid, leefomgeving en kosten en wordt op grond daarvan gekozen. Het uitgangspunt met betrekking tot ontwikkeling van vegetatie geldt niet voor de ondertafel. De overgang tussen zuilen met en zonder eco-top ligt op het niveau van GHW (NAP+2,15 m); een speciale overgangsconstructie is niet nodig.

Ook op de ondertafel wordt een proefvak aangebracht met Hydroblocks, namelijk op het gedeelte dp-1,60-1,50.

De resulterende bekleding van het dijkvak is schematisch weergegeven in Figuur 4.

6. DIMENSIONERING

De dimensionering van de bekleding wordt in dit hoofdstuk beschreven vanaf de berm in benedenwaartse richting. De resulterende dwarsprofielen met bijbehorende locaties in het dijkvak zijn weergegeven in de Figuren 5 tot en met 10.

6.1 Berm

Over de gehele lengte van het talud wordt op de berm een onderhoudsstrook aangelegd, voornamelijk ten behoeve van de bereikbaarheid in de uitvoeringsfase. Voor het ontwerp van de onderhoudsstrook is het verkeer in de uitvoeringsfase maatgevend. In de uitvoeringsfase wordt daarom een onderhoudsstrook met een breedte van 3 m aangelegd, opgebouwd uit een 0,25 m dikke laag betonpuingranulaat met sortering 0-40 mm. Onder de onderhoudsstrook wordt geokunststof aangebracht. Na voltooiing van het werk zal het betonpuingranulaat worden overlaagd met een wegdek van 60 mm dik asfaltbeton.

Voor de aansluiting van het beoogde profiel op het bestaande profiel van de kruin wordt gebruik gemaakt van vrijkomende klei.

6.2 Overgang berm-boventafel

Tussen de onderhoudsstrook en de boventafel wordt een overgang aangebracht van betonzuilen, waardoor geleidelijk wordt overgegaan van de helling van de onderhoudsstrook naar de helling van het talud. Met betrekking tot de dimensies van de zuilen wordt aangesloten bij de bekleding van de boventafel ter plaatse. De dimensionering daarvan wordt besproken in § 6.3.

6.3 Bekleding boventafel

Toplaag

De bekleding met eco-zuilen strekt zich op het grootste deel uit van NAP+5,6 m tot aan NAP+2,95 m. Op het gedeelte dp 6,53-7,53 liggen de eco-zuilen tot aan NAP+1,60 m.

De dimensionering van een toplaag van zetsteen op een uitvullaag wordt uitgevoerd met de 'analytische methode' zoals beschreven in het Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen [6]. De analytische ontwerpmethode komt overeen met de 'gedetailleerde methode' voor Toetsing volgens de Leidraad [5]. De methode wordt beschreven in de Appendix.

Voor alle ontwerpberekeningen is uitgegaan van de hoogste golftrandvoorwaarden per vak, bij een waterstand van NAP+5,5 m (zie tabel 1).

Voor de constructie zijn de volgende invoergegevens gebruikt:

- taludhelling: 1:3,5

toplaag:

- zuiloppervlakte: 0,09 m²
- rel. open opp.: 10 %
- onderlinge wrijving: 0,5

uitvullaag:

- laagdikte: 0,15 m
- kar. korreldiameter: 20 mm
- porositeit: 0,35

Opgemerkt wordt, dat de aan- of afwezigheid van een geotextiel onder de uitvullaag en de opbouw van het basismateriaal geen invloed hebben op het rekenresultaat. Met de eco-top en met de Hydroblocks is in de dimensionering geen rekening gehouden.

Op grond van de berekeningen kan worden bepaald welke combinaties van volumieke massa en dikte mogelijk zijn. Vervolgens is per vak een combinatie gekozen. Het resultaat is opgenomen in Tabel 2.

GEKOZEN ZUILTYPEN BOVENTAFEL		
dijkvak [dp]	dikte [m]	volumieke massa [kg/m ³]
-1,60-13	0,35	2700
13-19	0,35	2600
19-25	0,30	2300
25-31,15	0,35	2600

Tabel 2: Gekozen zuiltypen boventafel

Een overzicht van de invoer- en uitvoerparameters voor de vier vakken is weergegeven in Bijlage 3.

Uitvullaag

De uitvullaag onder de zuilen is voornamelijk van belang voor de uitvoering. Vanwege de speling tussen de zuilen moet de steenslag van de uitvullaag een sortering van 20/40 mm hebben. De dikte van de uitvullaag moet zo klein mogelijk zijn; de minimale dikte waarin steenslag met sortering 20/40 mm kan worden aangebracht bedraagt 0,1 m. Deze waarde is voorgeschreven in het bestek; in het ontwerp is echter uitgegaan van een ongunstige, conservatieve waarde voor de laagdikte van 0,15 m.

Geokunststof

Om erosie van kleideeltjes tegen te gaan is een bepaalde maximale maaswijdte vereist.

De strengste eis die in de praktijk aan de maaswijdte (O_{90}) van vliezen gesteld kan worden bedraagt $100 \mu\text{m}$. Het is wel mogelijk om vliezen met een kleinere maaswijdte te produceren, maar dit heeft de volgende nadelen:

- het is niet mogelijk om het materiaal te testen met de gebruikelijke methodieken, namelijk zeefproeven met zand in een trilapparaat. Bij dergelijk kleine maaswijdten wordt het gedrag van korrels grotendeels bepaald door electro-magnetische krachten op microniveau;
- vliezen met een maaswijdte (O_{90}) van $100 \mu\text{m}$ liggen op de grens van de materialen die standaard leverbaar zijn.

Ten behoeve van dit ontwerp zijn zeefproeven uitgevoerd van vliezen met een gegarandeerde maximum maaswijdte (O_{90}) van $100 \mu\text{m}$. In deze proeven was de resulterende werkelijke doorlatendheid kleiner dan $64 \mu\text{m}$.

In het kader van het Project Zeeweringen is bovendien nader onderzoek opgestart naar het gedrag van de Zeeuwse klei onder verschillende vliezen, onder meer met een maximale maaswijdte (O_{90}) van $100 \mu\text{m}$. De resultaten van dit onderzoek zullen kunnen worden toegepast bij het ontwerp van de dijkvakken die na 1997 zullen worden aangepakt.

Op grond van deze overwegingen is gekozen voor de toepassing van een vlies met een maximale maaswijdte (O_{90}) van $100 \mu\text{m}$.

Basismateriaal

Op een deel van het dijkvak bestaat de kern van de dijk uit zand. Onder de huidige bekleding is op de betreffende trajecten een dunne kleilaag aangebracht. Om extra drukopbouw onder de bekleding te beperken is een minimale dikte van de kleilaag nodig. De theorie geeft geen eenduidige waarde voor deze minimale dikte, maar voor dit ontwerp is een conservatieve waarde van 0,8 m aangehouden.

Op het gedeelte dp -1,60-1,50 is deze minimale dikte bovenin de boventafel niet aanwezig; op dat gedeelte wordt de bestaande kleilaag aangevuld tot een laagdikte van 0,8 m.

6.4 Overgang boventafel-ondertafel

Een overgangsconstructie is nodig op de trajecten waar een deel van de ondertafel voorlopig gehandhaafd wordt; de stabiliteit van de nieuwe bekleding van de boventafel moet door de overgangsconstructie worden verzekerd, ook als de bekleding van de ondertafel zou bezwijken.

De opsluiting van de betonzuilen wordt bewerkstelligd door kantplanken van gewapend beton. Deze kunnen worden hergebruikt uit de overgangsconstructies die in de huidige bekleding op verschillende niveaus voorkomen. De kantplanken worden opgesloten door azobé-palen. Daarbeneden wordt gepenetreerde breuksteen aangebracht.

De minimale breedte om te kunnen penetreren is 0,5 m; vanwege het belang van de constructie is de breedte minimaal dubbel zo groot gekozen. De precieze breedte op elke locatie wordt bepaald door de eis dat de overgangsconstructie aaneengesloten op één zelfde niveau moet liggen in het hele vak. Uiteindelijk zal de breedte van de gepenetreerde breuksteen variëren van 1,0 tot 1,5 m.

Voor de laagdikte is een waarde van 0,5 m gekozen, zodat de onderkant op een lager niveau komt dan de uitvullaag onder de gehandhaafde basaltzuilen. De gepenetreerde breuksteen komt direct op de klei te liggen. De sortering van de breuksteen is 5-40 kg; die sortering is geschikt voor penetratie en past bovendien goed in de laagdikte van 0,5 m. De penetratie moet vol en zat zijn.

6.5 Ondertafel

Met betrekking tot de ondertafel zijn alleen de gedeelten dp -1,60-1,50 en dp 17,05-21,26 van belang. Op beide trajecten wordt de gehele glooiing bekleed met betonzuilen: boven GHW, zoals besproken, met eco-zuilen en beneden GHW met gewone betonzuilen. Ook het gedeelte beneden GHW is ontworpen op de golftrandvoorwaarden bij een waterstand van NAP+5,5 m; de gekozen zuiltypen zijn dan ook hetzelfde als voor de boventafel van beide trajecten. In Tabel 3 worden de gekozen typen voor de ondertafel samengevat.

GEKOZEN ZUILTYPEN ONDERTAFEL		
dijkvak [dp]	dikte [m]	volumieke massa [kg/m ³]
-1,60-1,50	0,35	2700
17,05-19	0,35	2600
19-21,26	0,30	2300

Tabel 3: Gekozen zuiltypen ondertafel

6.6 Teenconstructie

Ook de teenconstructie is slechts van belang voor de gedeelten dp -1,60-1,50 en dp 17,05-21,26. De betonzuilen worden aangesloten op de bestaande teenconstructie nadat die is blootgelegd en opnieuw is gericht. Het niveau tot waar de bekleding van betonzuilen doorloopt wordt bepaald door de huidige situatie; op het gedeelte dp -1,60-1,50 ligt de teenconstructie rond NAP-0,4 m, op het gedeelte dp 17,05-21,26 rond NAP-1 m.

7. MEERWERK

7.1 Inleiding

In aanvulling op het beschreven dijkvak tussen dp 31,15 in de Borsselepolder en dp 80,8 in de Ellewoutsdijkpolder, is aan het werk een staat van meerwerk toegevoegd. Dit meerwerk betreft een uitbreiding aan de oostzijde, tussen dp 80,8 en dp 76,53 in de Ellewoutsdijkpolder. De locatie is aangegeven in Figuur 1. In de voorgaande hoofdstukken van deze nota is naar het punt dp 80,8 in de Ellewoutsdijkpolder verwezen als 'dp-1,60', om aan te sluiten bij de dijkpaalmarkering van de Borsselepolder. Het meerwerk zoals beschreven in dit hoofdstuk betreft slechts de Ellewoutsdijkpolder; in dit Hoofdstuk zal daarom alleen de dijkpaalmarkering van de Ellewoutsdijkpolder worden gebruikt.

De beschrijving van het meerwerk is hetzelfde ingedeeld als de beschrijving van het ontwerp in de voorgaande hoofdstukken. De paragrafen 7.2 tot en met 7.6 corresponderen dus met de Hoofdstukken 2 tot en met 6.

7.2 Situatiebeschrijving

De lengte van het dijkvak is ca. 420 m. De kern van de dijk bestaat uit klei. De bekleding heeft de volgende kenmerken:

- bovengrens bekleding: NAP+5,6 m;
- boventafel:
- taludhelling 1:4;
- boven NAP+5,3 m grasbekleding, onder NAP+5,3 m betonblokken op klei (Haringmanblokken, dik 0,2 m en doorgroeiënten);
- overgang boventafel / ondertafel op NAP+3,3 m;
- ondertafel:
- taludhelling 1:3 à 1:3,5;
- boven NAP+1 m gepenetreerde basalt op een granulaire laag, onder NAP+1 m Doornikse steen op een granulaire laag;
- teen op circa NAP+0,3 m, bestaande uit een teenschot ondersteund door perkoenpalen;
- bestorting beneden de constructie.

Deze geometrie is weergegeven in Figuur 11, de gloopingskaart van de bestaande bekleding is weergegeven in Figuur 12a.

7.3 Ontwerp-condities

7.3.1 Uitgangspunten

Voor de uitgangspunten wordt verwezen naar § 3.1: in principe zijn dezelfde uitgangspunten geldig voor het meerwerk. Met betrekking tot het specifieke uitgangspunt over de ontwikkeling van vegetatie is voor het ontwerp van het meerwerk nader onderzoek verricht. Op grond hiervan is vastgesteld dat het niveau waarboven ontwikkeling van vegetatie van belang is, op NAP+2,7 m ligt in plaats van het GHW-niveau op NAP+2,15 m. Als specifiek uitgangspunt voor het ontwerp van het meerwerk geldt dus, dat in het ontwerp voorwaarden moeten worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie op het gedeelte van de glooiing boven NAP+2,7 m.

7.3.2 Golfrandvoorwaarden

De golfrandvoorwaarden zijn vastgesteld door RIKZ op grond van modelberekeningen. In tegenstelling tot de golfrandvoorwaarden voor het hoofdgedeelte van het werk zijn deze voorsnog niet formeel vastgelegd, zodat nog geen referentie kan worden gegeven. Onderscheid wordt gemaakt tussen het rechte gedeelte van dp 80,8 tot 78 en de bocht tussen dp 78 en dp 76,53. De resulterende golfrandvoorwaarden zijn weergegeven in Tabel 4.

GOLFRANDVOORWAARDEN						
dijkvak [dp]	waterstand NAP+6 m		waterstand NAP+4 m		waterstand NAP+2 m	
	H _s	T _p	H _s	H _s	H _s	H _s
80,8-78	2,4	7,5	1,9	6,2	1,4	5,7
78-76,53	2,8	7,5	2,4	6,2	2,0	5,7

Tabel 4: Golfrandvoorwaarden meerwerk

7.4 Toetsing

In aansluiting op de bespreking in Hoofdstuk 4 wordt geen rekening gehouden met reststerkte. Het toetsingsresultaat wordt dus bepaald door de stabiliteit van de toplaag.

7.4.1 Stabiliteit toplaag

De toetsing wordt beschreven per bekledingstype.

Gras op klei

In aansluiting op § 4.2.1 wordt de grasbekleding als 'onvoldoende' beoordeeld.

Betonblokken op klei

Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	2,8 m - 2,4 m
T_p	=	7,5 s
α	=	1:4
ρ_{beton}	=	2300 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,20 m

Voor het gedeelte dp 78-dp 76,53 gelden voor de belastingparameter (ξ_{op}) en de sterkteparameter ($H_s/\Delta D$) de volgende waarden:

$$\xi_{op} = 1,4$$

$$H_s/\Delta D = 11,3$$

Voor het gedeelte dp 80,8-dp 78 gelden de volgende waarden:

$$\xi_{op} = 1,51$$

$$H_s/\Delta D = 9,6$$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op goede klei' (type 2) volgt, dat alle betonblokken in het dijkvak als 'onvoldoende' worden beoordeeld. Het diagram bij deze berekeningen is opgenomen in Bijlage 4.

Zetsteen op granulaire laag

Deze bekleding komt in het vak in twee soorten voor. De toetsing wordt per soort beschreven.

Gepenetreerde basalt op granulaire laag

Voor deze bekleding in het meerwerk-gedeelte geldt hetzelfde als in het oorspronkelijke dijkvak, zoals besproken in § 4.2.3: de granulaire laag onder de toplaag boven het niveau NAP+2,7 m is *doorlatend*, terwijl de granulaire laag onder NAP+2,7 m *ondoorlatend* is. De toetsing is gebaseerd op dezelfde redenering als gevolgd in § 4.2.3: met de huidige kennis is het niet mogelijk om dit constructietype te toetsen. Op basis van de gedachte dat een doorlatend filter leidt tot een lagere stabiliteit, is het gedeelte boven NAP+2,7 m beoordeeld als 'onvoldoende', terwijl het gedeelte onder NAP+2,7 m beoordeeld is als 'nader onderzoek'.

Doornikse steen op granulaire laag

In tegenstelling tot het oorspronkelijke dijkvak is voor het meerwerk de bekleding van Doornikse steen wel getoetst. Daarbij is gebruik gemaakt van de golfbrandvoorwaarden voor het niveau NAP+2 m.

Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	1,4 - 2,0 m
T_p	=	5,7 s
α	=	1:3,5
ρ_{doorniks}	=	2600 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,2 m

Bij een golfhoogte H_s van 1,4 m zijn de resulterende parameters:

$$\xi_{op} = 1,72$$

$$H_s/\Delta D = 4,56$$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding 'onvoldoende' is. Bij de hogere golfhoogte van 2,0 m op het gedeelte dp 78-dp 76,53 geldt hetzelfde. De gehele bekleding van Doornikse stenen wordt op grond hiervan als 'onvoldoende' beoordeeld. Het diagram bij deze berekeningen is opgenomen in Bijlage 4.

7.4.2 Conclusie

Uit de toetsing volgt dat een groot deel van de bekleding van het dijkvak als 'onvoldoende' wordt beoordeeld. Het gedeelte van de basaltbekleding onder het niveau NAP+2,7 m is beoordeeld met 'nader onderzoek'.

7.5 Keuze bekleding

7.5.1 Boventafel

Voor de werken van 1997 zijn twee bekledingstypen beschikbaar (blokken gekanteld herplaatsen op geokunststof en zetsteen op een dunne uitvullaag op een vlies). Met behulp van het diagram van het 'black-box'-model voor 'stabiliteit van steenzetting op geotextiel op zand of klei' (type 1) is vastgesteld of de aanwezige betonblokken gekanteld direct op geotextiel op klei kunnen worden toegepast. Voor de invoerparameters wordt verwezen naar § 7.4.1.

Bij $H_s = 2,4$ m geldt:

$$\xi_{op} = 1,51 \Rightarrow H_s/\Delta D < 2,9 \Rightarrow D > 0,67 \text{ m}$$

Het diagram bij deze berekening is weergegeven in Bijlage 5. Met dit resultaat is aangetoond dat de golfbrandvoorwaarden voor de boventafel van dit dijkvak te zwaar zijn om het gekanteld herplaatsen van de blokken direct op geotextiel op klei mogelijk te maken. De bekleding van betonblokken op klei moet daarom worden vervangen door zetsteen op een uitvullaag op een vlies. Ook de basaltbekleding boven NAP+2,7 m moet worden vervangen.

Op grond van het specifieke uitgangspunt dat voorwaarden moeten worden geschapen voor de ontwikkeling van vegetatie boven NAP+2,7 m, wordt voor het gedeelte boven NAP+2,7 m gekozen voor vervanging van de aanwezige bekleding door eco-zuilen.

Besloten is om op een deel van het vak, in de buitenbocht op het gedeelte dp 77,25-dp 77, een proefvak toe te passen met Hydroblocks. De Hydroblocks in dit proefvak worden uitgevoerd zonder eco-top.

7.5.2 Ondertafel

De **gepenetreerde basalt op ondoorlatend filter** (tussen NAP+2,7 m en NAP+1 m) zou, in lijn met de redenering zoals besproken in § 4.2.3, (minimaal voorlopig) kunnen worden gehandhaafd, gecombineerd met een sterke overgangsconstructie erboven om de mogelijkheid van ondermijning van de nieuwe constructie van betonzuilen boven NAP+2,7 m te vermijden.

Met betrekking tot de **Doornikse blokken** onder NAP+1 m blijkt, dat de situatie beschreven in § 4.2.3 zich inderdaad voordoet: de bekleding van Doornikse blokken is als 'onvoldoende' beoordeeld, maar verwijdering is niet goed mogelijk zonder ook de bekleding erboven (gepenetreerde basalt op ondoorlatend filter) te verwijderen, terwijl dat misschien niet noodzakelijk is.

In § 4.2.3 wordt een oplossing beschreven waarin de gehele bekleding beneden GHW voorlopig gehandhaafd wordt en later eventueel overlaagd wordt met breuksteen als de resultaten van lopend onderzoek hierover beschikbaar zijn. Voor het meerwerk is deze oplossing echter niet gekozen. Dit heeft de volgende oorzaak: in de ontwerpfase voor het meerwerk werd een langer dijkvak beschouwd: ook het gedeelte vanaf de bocht (dp 76,53) tot aan dp 66 maakte oorspronkelijk deel uit van het meerwerk. Vanwege externe oorzaken is het meerwerk later ingekort tot het in dit Hoofdstuk behandelde dijkvak. Voor het gedeelte voorbij de bocht, tot aan dp 66 geldt, dat toekomstige overlaging met breuksteen niet mogelijk is, vanwege het feit dat vlak voor de teen van de dijk een diepe geul ligt (zie Figuur 1). Op dit gedeelte is verwijdering van de Doornikse steen hierdoor niet te vermijden, en zoals besproken in § 4.2.3 moet ook de bekleding boven de Doornikse steen, de basaltzuilen op ondoorlatend filter, in dat geval worden verwijderd. Voor het gedeelte dp 80,8-dp 76,53 is geen diepe geul aanwezig, maar omdat dit een relatief klein deel van het oorspronkelijke meerwerk betrof is besloten om ook op dit gedeelte de gehele bekleding, ook beneden GHW, te verwijderen.

Voor het gedeelte beneden NAP+2,7 m wordt gekozen voor vervanging van de aanwezige bekleding door betonzuilen (zonder eco-laag). Bij afwezigheid van natuursteen die zou kunnen worden hergebruikt, voldoet een bekleding van betonzuilen het beste aan de uitgangspunten van uitvoerbaarheid, leefomgeving en kosten.

Ook met betrekking tot de ondertafel is besloten een proefvak toe te passen met Hydroblocks op het gedeelte dp 77,25-dp 77.

7.6 Dimensionering

Voor de berm, de overgang van de berm naar de boventafel en de teenconstructie wordt verwezen naar § 6.1, § 6.2 en § 6.6. Omdat de gehele bekleding uit betonzuilen op een uitvullaag op een vlies bestaat, geldt voor boven- en ondertafel eenzelfde dimensioneringsmethode (namelijk met ANAMOS). De gehele bekleding wordt daarom in één paragraaf besproken. Tussen boven- en ondertafel is geen overgangsconstructie nodig.

Voor de algemene invoergegevens wordt verwezen naar § 6.3. Voor boven- en ondertafel zijn afzonderlijke berekeningen gemaakt. Bij de berekeningen is gebruik gemaakt van de zwaarste golfrandvoorwaarden, namelijk die van het gedeelte dp 78-dp 76,53. In Tabel 5 zijn per gedeelte de relevante invoerparameters en de gekozen combinatie van volumieke massa en dikte -opgenomen.

GEKOZEN ZUILTYPEN MEERWERK		
gedeelte	dikte [m]	volumieke massa [kg/m ³]
boven NAP+2,7 m	0,35 / 0,38	2900 / 2700
onder NAP+2,7 m	0,35	2700

Tabel 5: Gekozen zuiltypen meerwerk

In de tabel zijn bij resulterende dikte en volumieke massa voor de boventafel twee verschillende combinaties opgenomen. Met betrekking tot de ecozuilen is gekozen voor toepassing van een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2900 kg/m³. Het is echter (nog) niet mogelijk om hydroblocks met een zodanig hoge volumieke massa te produceren. Met betrekking tot de hydroblocks in de boventafel is daarom gekozen voor een dikte van 0,38 m en een volumieke massa van 2700 kg/m³. Voor de hydroblocks in de ondertafel wordt wel gebruik gemaakt van dezelfde dimensies als voor de gewone zuilen. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in Bijlage 6.

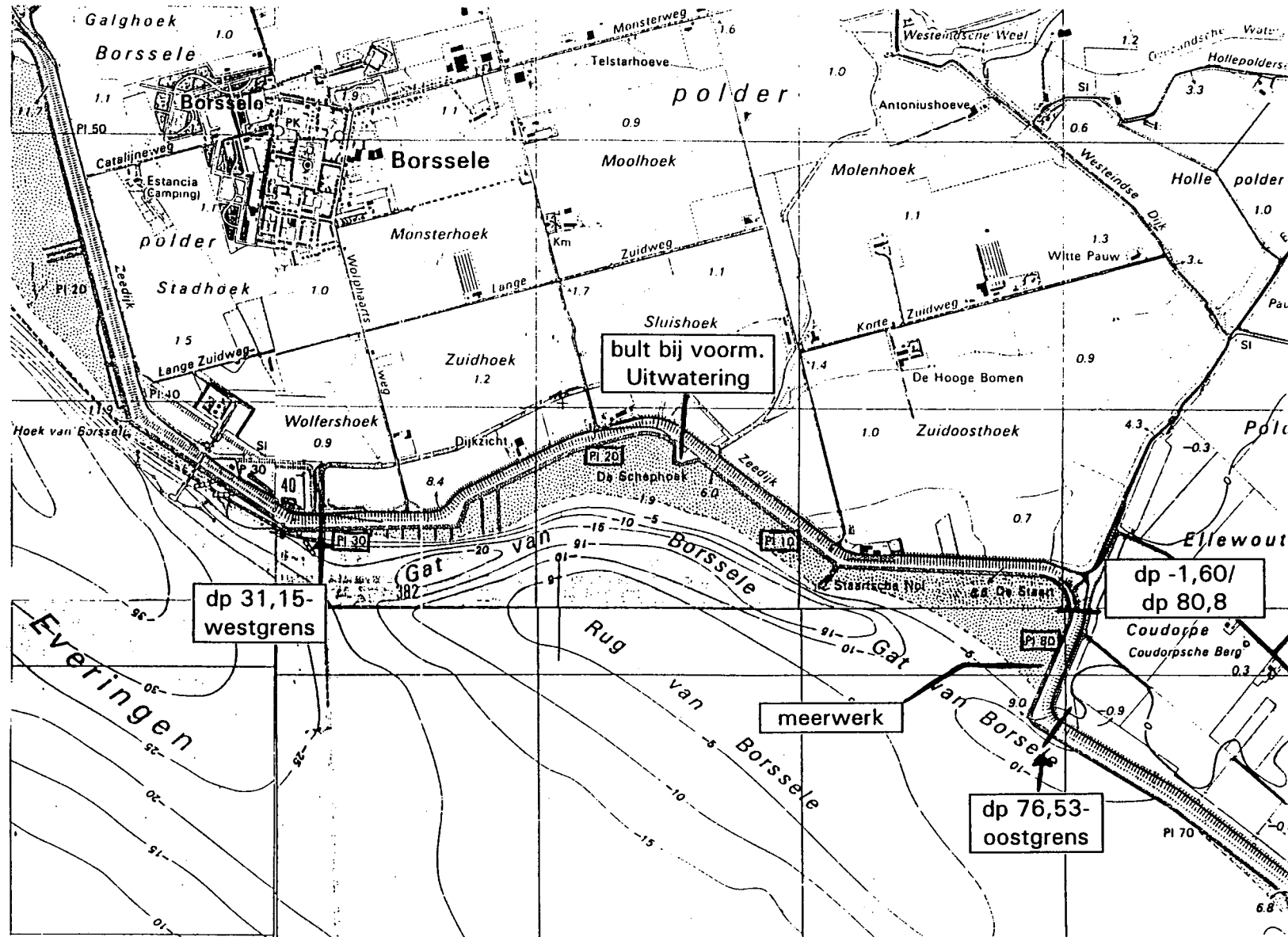
Voor de uitvullaag en het vlies gelden de overwegingen beschreven in § 6.3. Ook in het meerwerk-gedeelte wordt daarom in het bestek een uitvullaag met een sortering van 20/40 mm met een dikte van 0,1 m voorgeschreven, terwijl de ontwerpberoekeningen met een laagdikte van 0,15 m zijn uitgevoerd. Met betrekking tot het vlies wordt gekozen voor een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 µm.

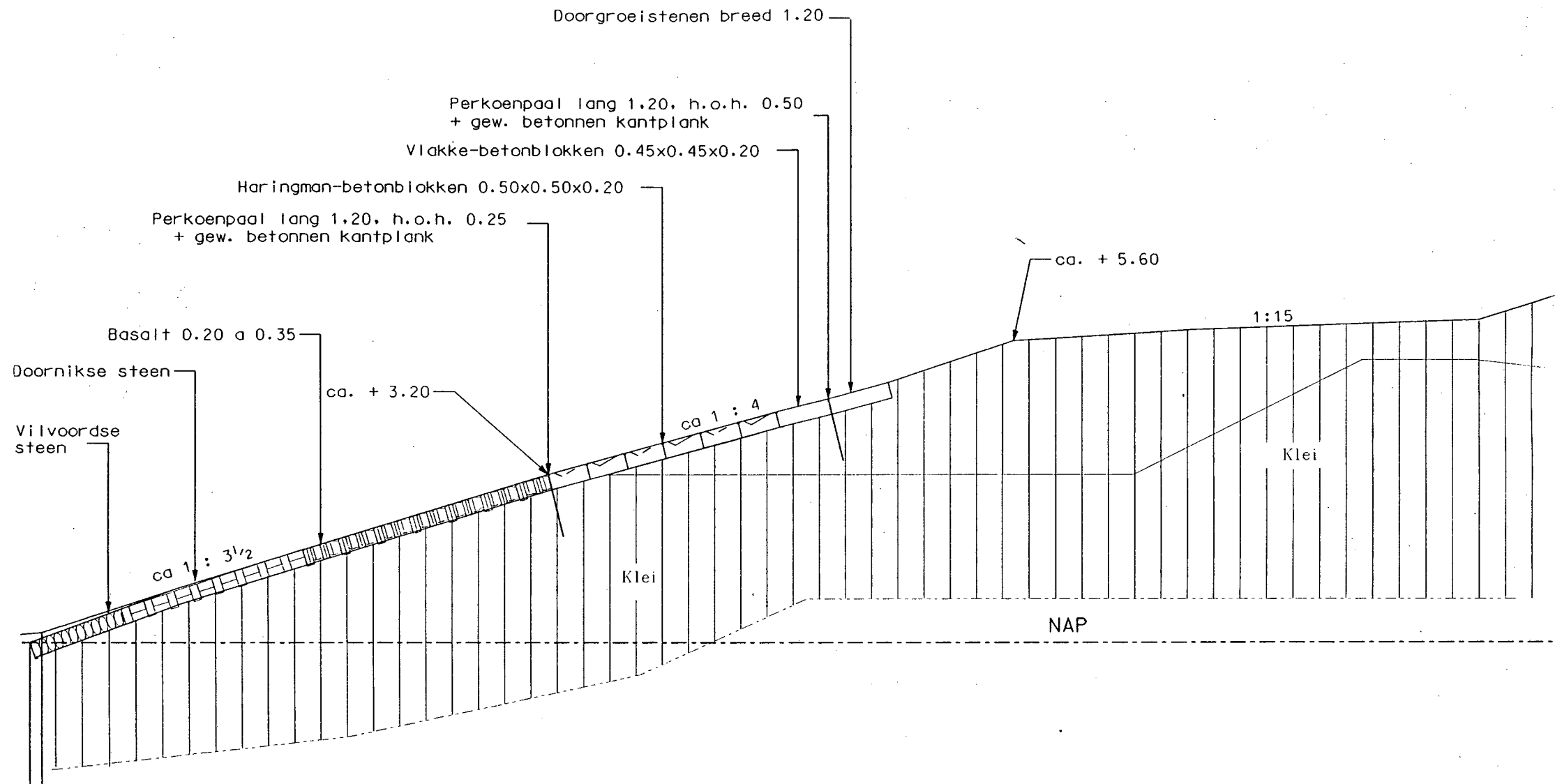
Het resulterende dwarsprofiel van het rechte gedeelte dp 80,8 - dp 77,25 is weergegeven in Figuur 14.

FIGUREN

- Figuur 1: Locatie projectgebied
- Figuur 2: Algemeen dwarsprofiel
- Figuur 3a: Huidige situatie
- Figuur 3b: Eindbeoordeling toetsing
- Figuur 4: Ontwerp
- Figuur 5: Dwarsprofiel A-A; dp -1,60-1,50
- Figuur 6: Dwarsprofiel B-B; dp 1,50-6,53/dp 7,53-15,50/dp 21,26-31,15
- Figuur 7: Dwarsprofiel C-C; dp 6,53-7,53
- Figuur 8: Dwarsprofiel D-D; dp 15,50-17,05
- Figuur 9: Dwarsprofiel E-E; dp 16,2
- Figuur 10: Dwarsprofiel F-F; dp 17,05-21,26
- Figuur 11: Algemeen dwarsprofiel meerwerk
- Figuur 12a: Huidige situatie meerwerk
- Figuur 12a: Eindbeoordeling toetsing meerwerk
- Figuur 13: Ontwerp meerwerk
- Figuur 14: Dwarsprofiel meerwerk

Figuur 1: Locatie projectgebied



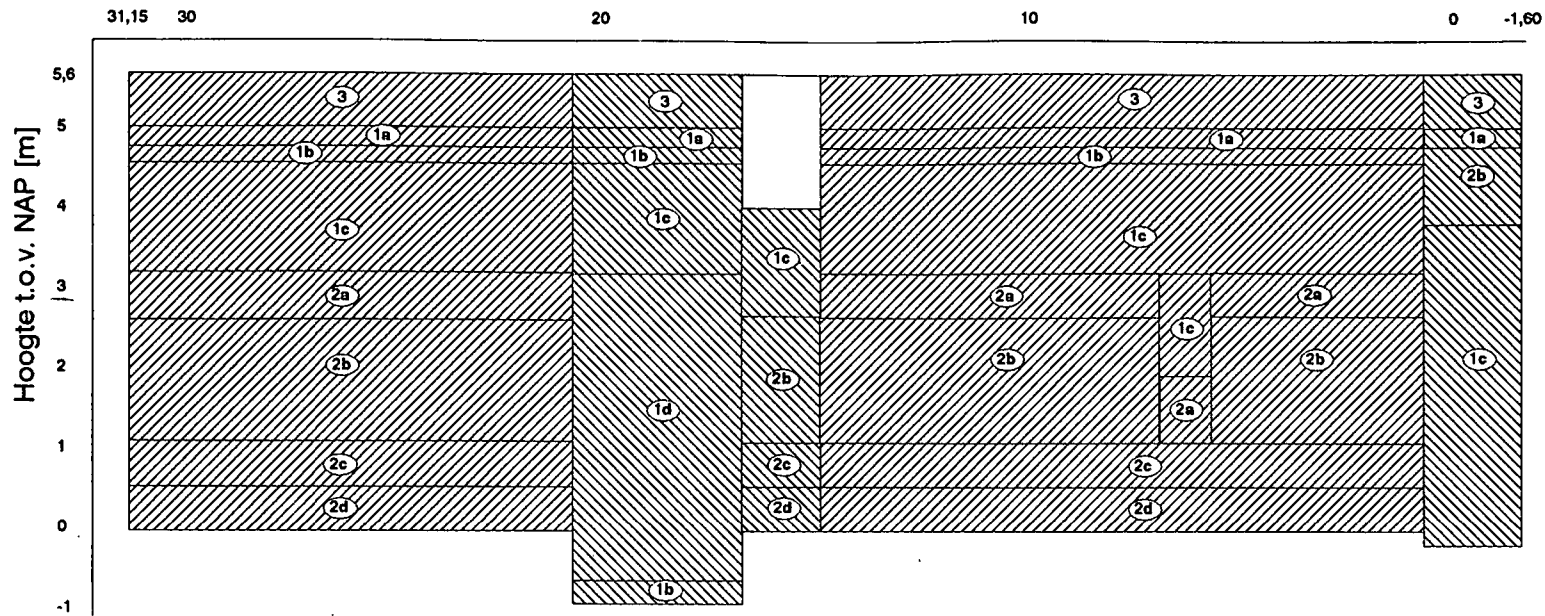


Figuur 2:

ALGEMEEN BESTAAND DWARSPROFIEL

schaal 1:100

Locatie langs dijkvak [dp]



FIGUUR 3A:
HUIDIGE SITUATIE

Legenda:

Bekleding



- Beton op klei:
 doorgroeistenen 1a
 vlakke blokken 1b
 Haringmanblokken 1c

- Beton op mijnsteen:
 Haringmanblokken 1d

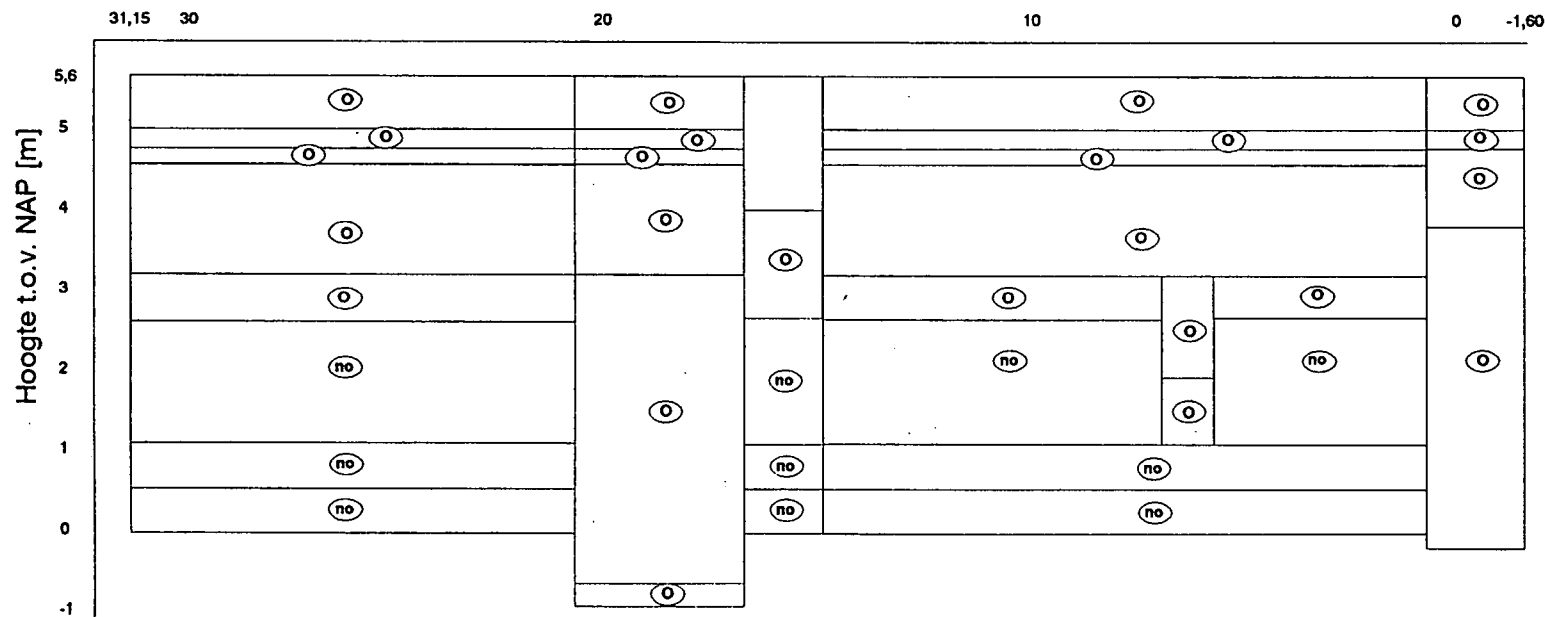
- Natuursteen:
 basalt op open filter 2a
 basalt op dicht filter 2b
 Doornikse steen 2c
 Vilvoordse steen 2d

- Overig:
 gras 3

Kernmateriaal

- klei: 
 zand: 

Locatie langs dijkvak [dp]



FIGUUR 3B:
EINDBEOORDELING
TOETSING

Legenda:

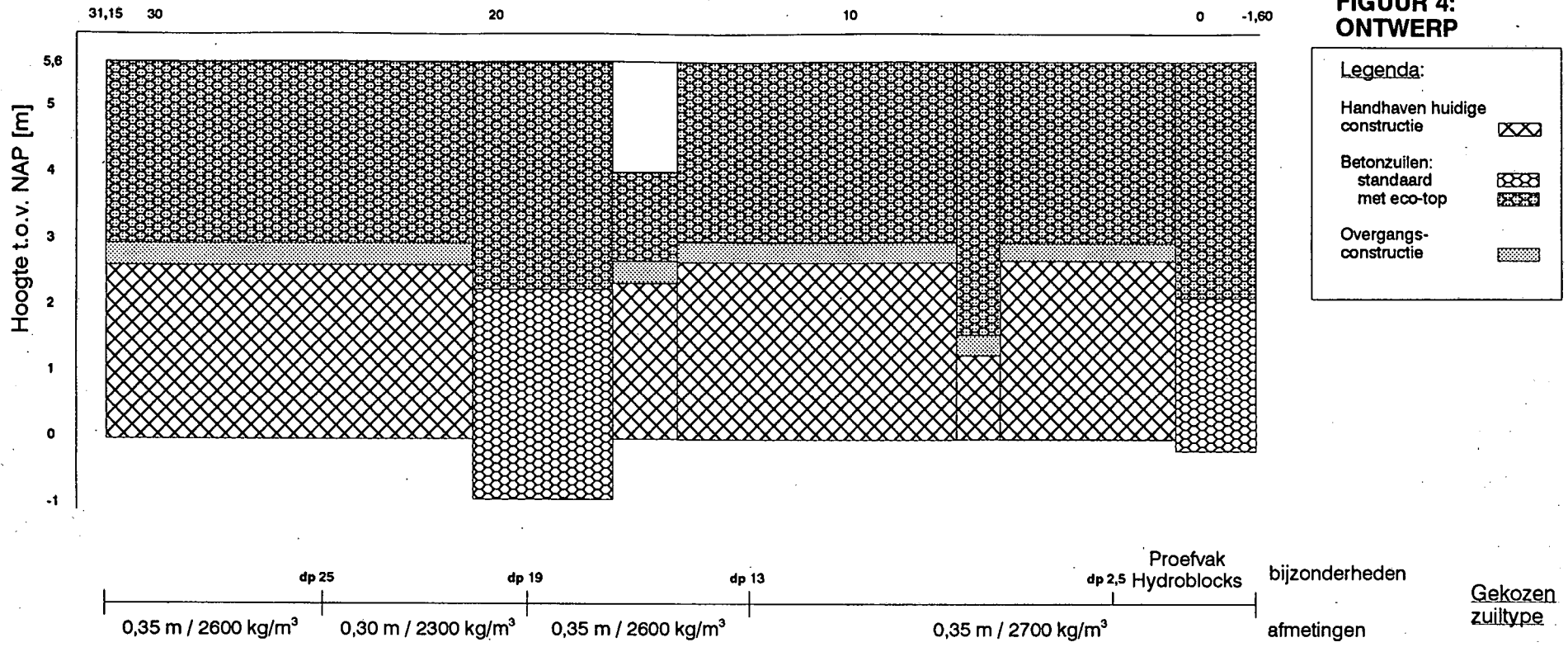
Toetsingsresultaat:

- 'goed': g
 'voldoende': v
 'nader onderzoek': no
 'onvoldoende': o

n.b. resultaten 'goed' en 'voldoende' komen niet voor in dit dijkvak.

Locatie langs dijkvak [dp]

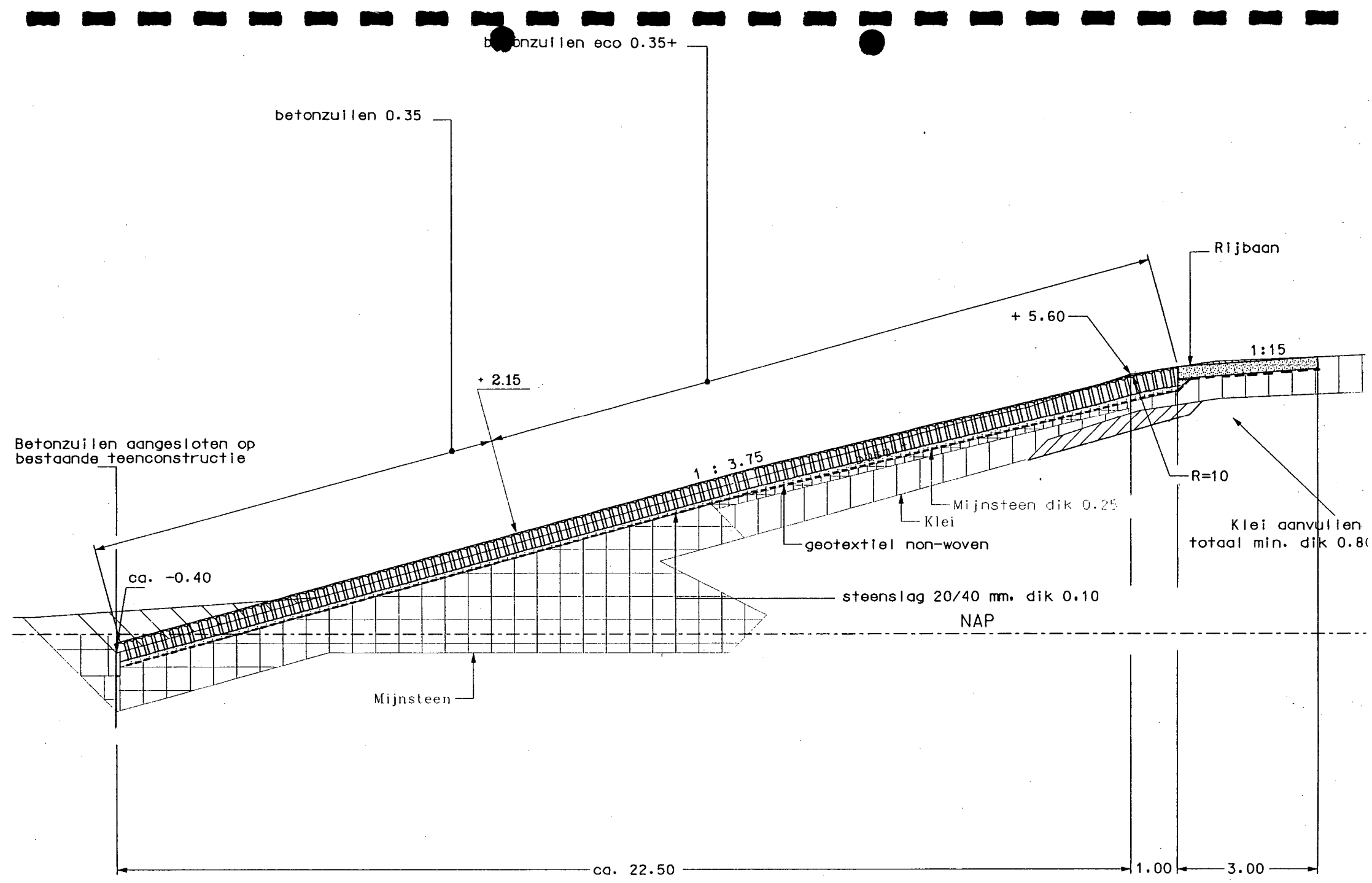
**FIGUUR 4:
ONTWERP**



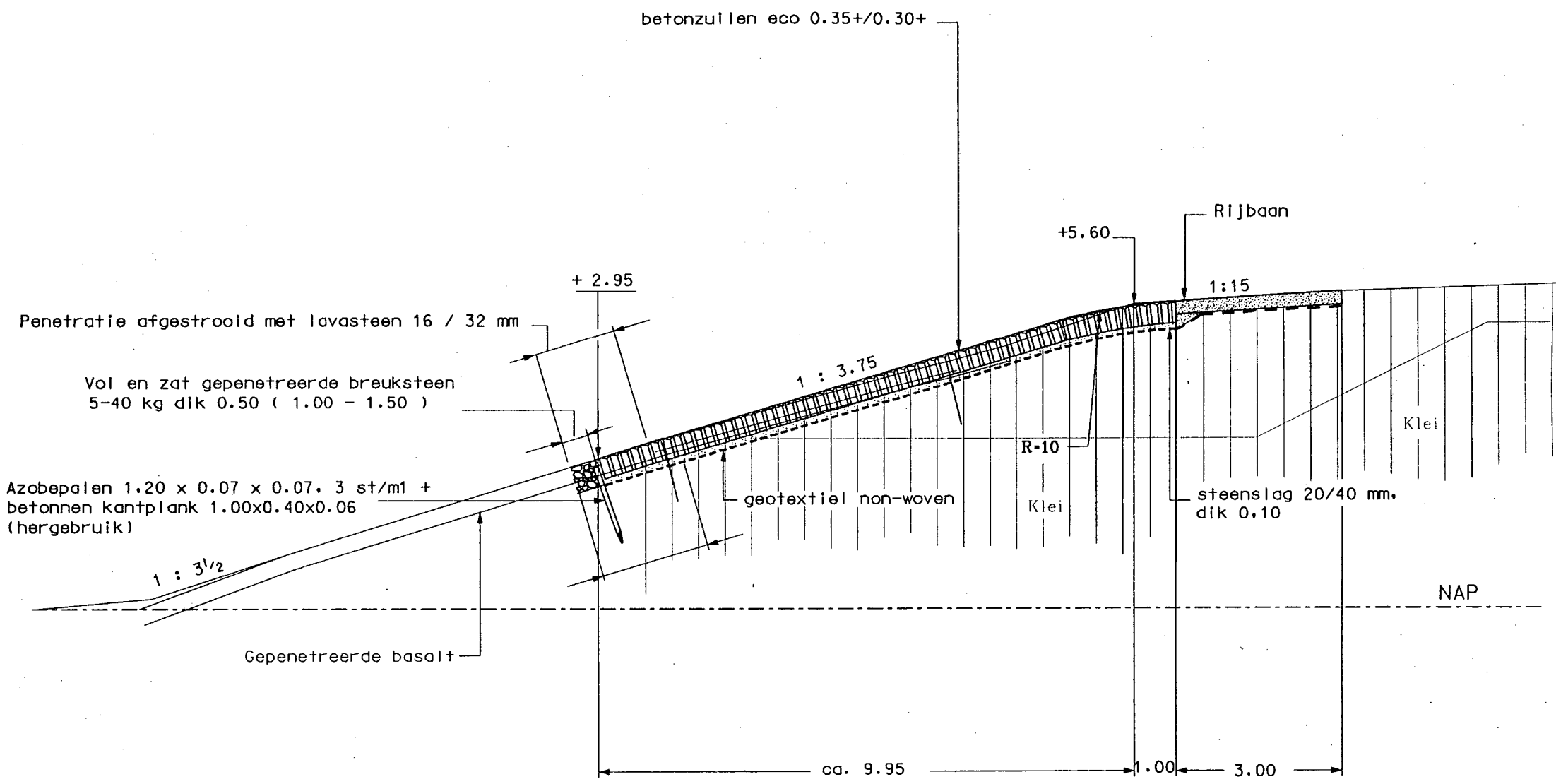
Legenda:

- Handhaven huidige constructie
- Betonzuilen: standaard met eco-top
- Overgangsconstructie

Gekozen zuiltype



Figuur 5: DWARSPROFIEL A-A ;dp -1,60 - 1,50 schaal 1:100



;dp 1,50 - 6,53

;dp 7,53 - 15,50

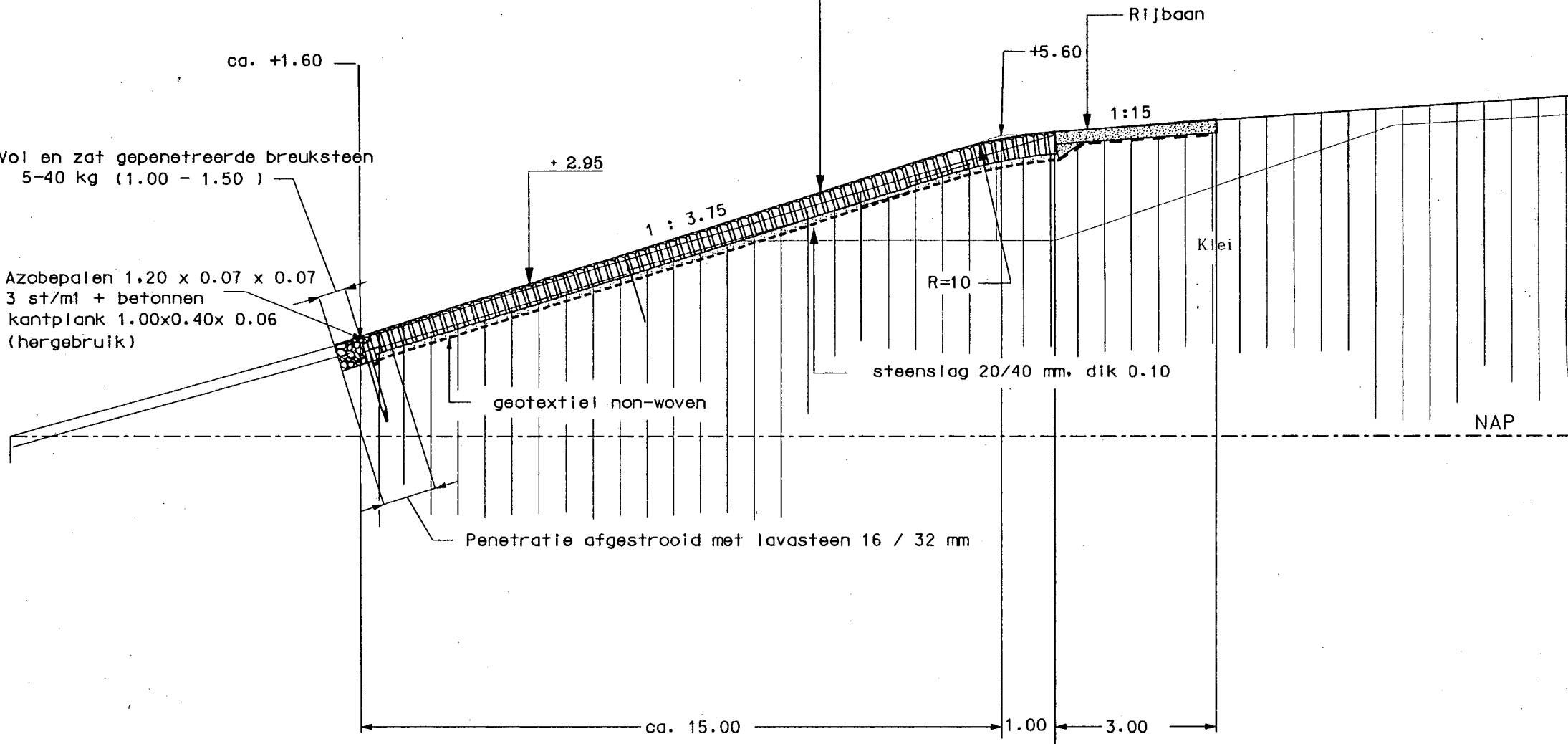
;dp 21,26 - 31,15

Figuur 6:

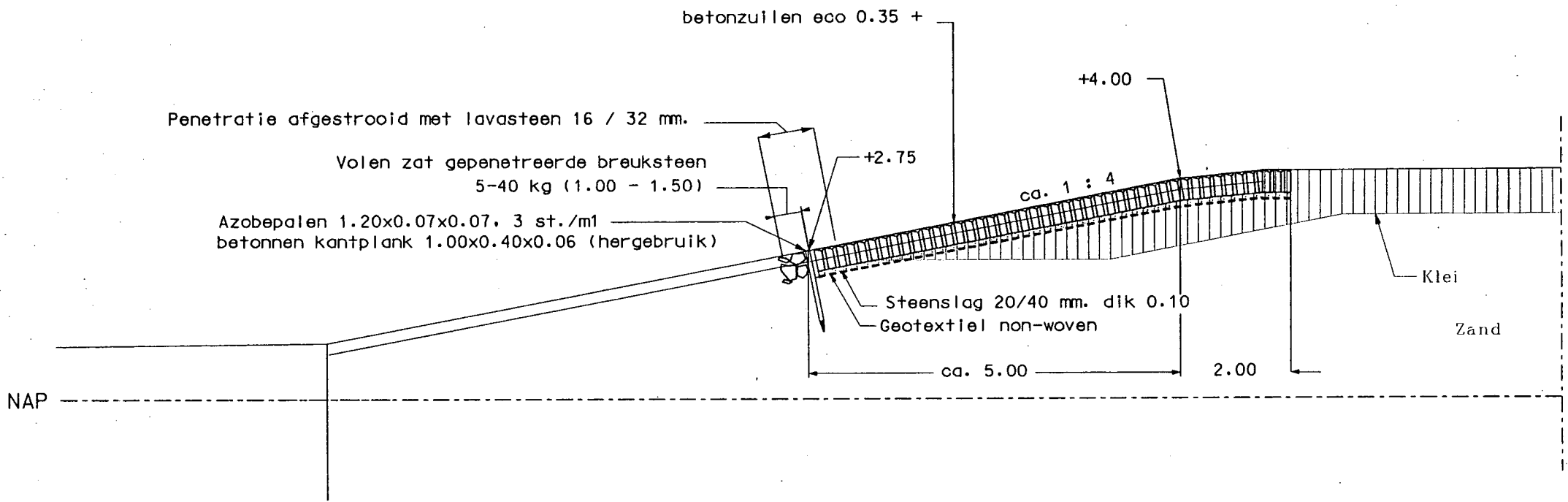
DWARSPROFIEL B-B

schaal 1:100

stonzuilen eco 0.35+



Figuur 7: DWARSPROFIEL C-C ;dp 6,53 - 7,53 schaal 1:100

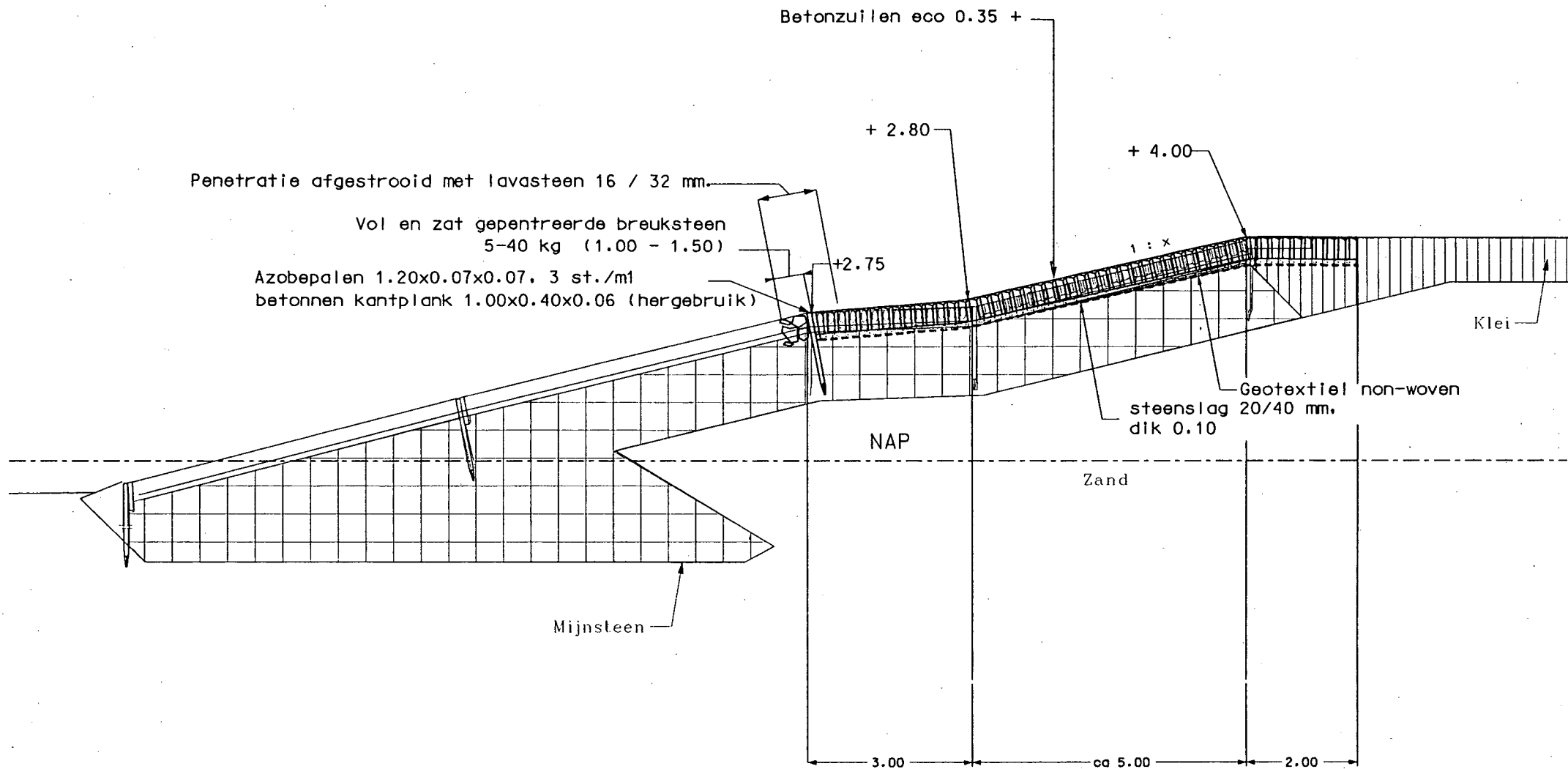


Figuur 8:

DWARSPROFIEL D-D

;dp 15,50-17,05

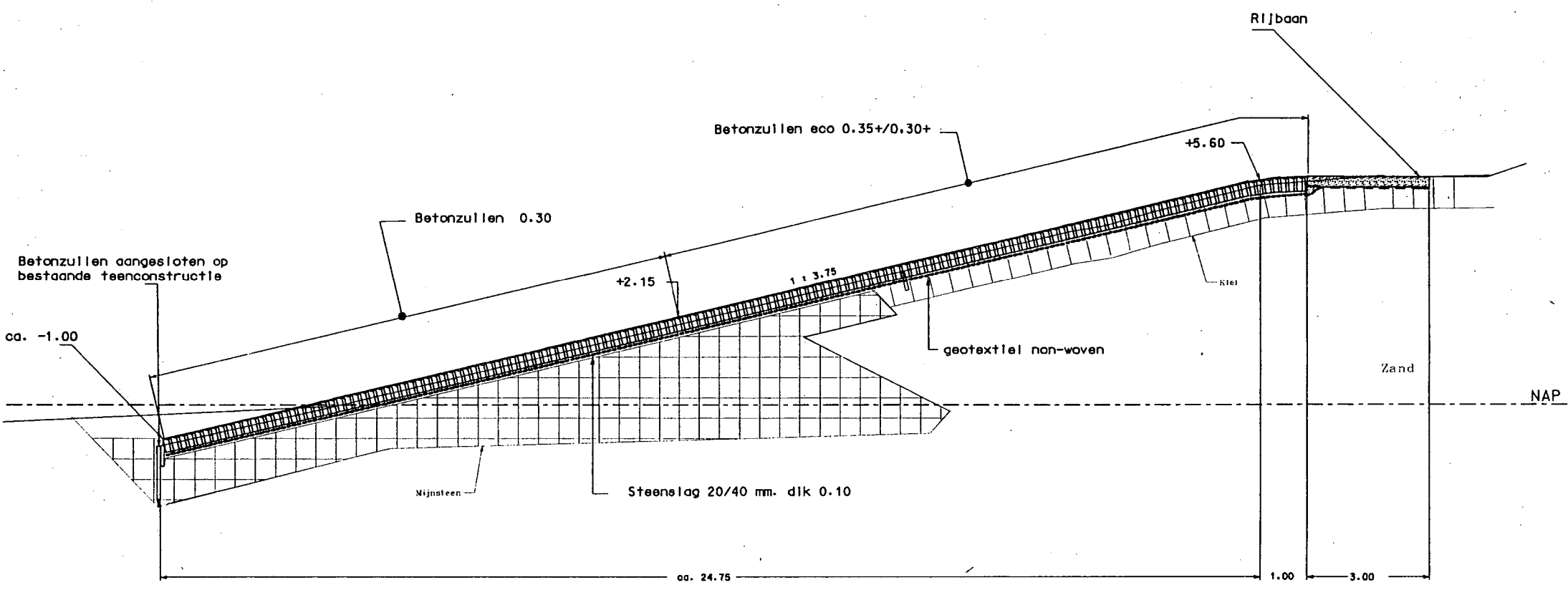
schaal 1:100



Figuur 9: DWARSPROFIEL E-E

dp 16,2

schaal 1:100

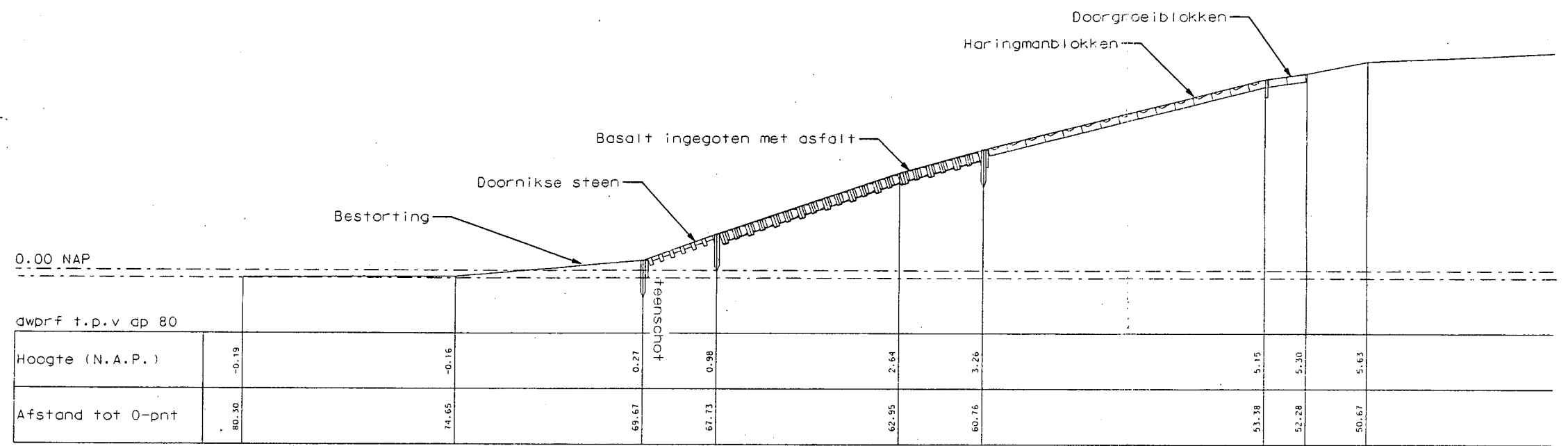


Figuur 10 DWARSPROFIEL F-F

dp 17,05-21,26

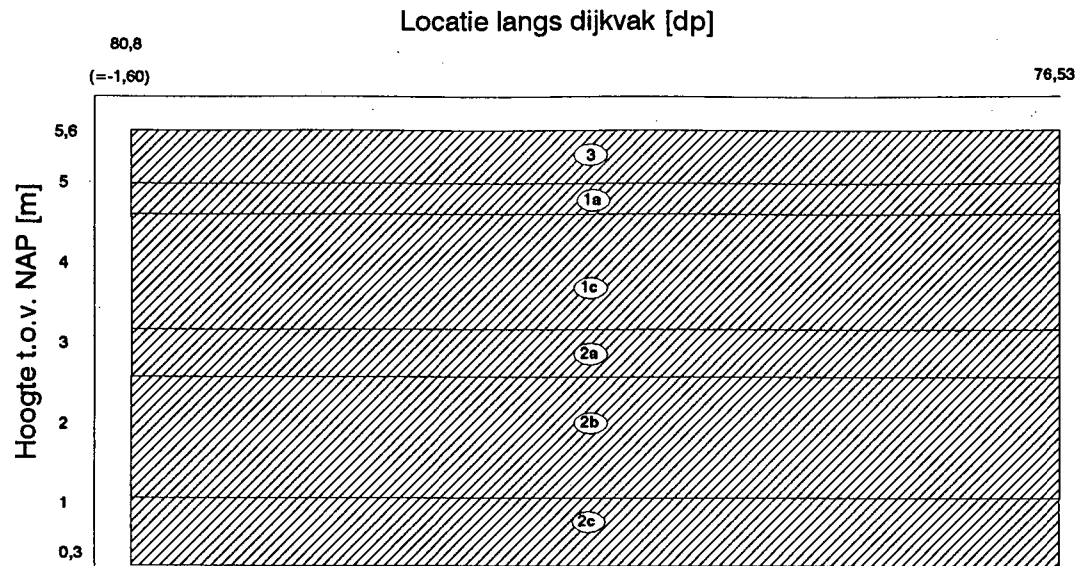
schaal 1:150

Borssele, meerwerk



Bestaande situatie schaal 1:100

Figuur 11: Bestaand dwarsprofiel



**FIGUUR 12A:
HUIDIGE SITUATIE
MEERWERK**

Legenda:

Bekleding

Beton op klei:
doorgroei stenen 1a
vlakke blokken 1b
Haringmanblokken 1c

Beton op mijnsteen:
Haringmanblokken 1d

Natuursteen:

basalt op open filter 2a
basalt op dicht filter 2b
Doornikse steen 2c
Vilvoordse steen 2d

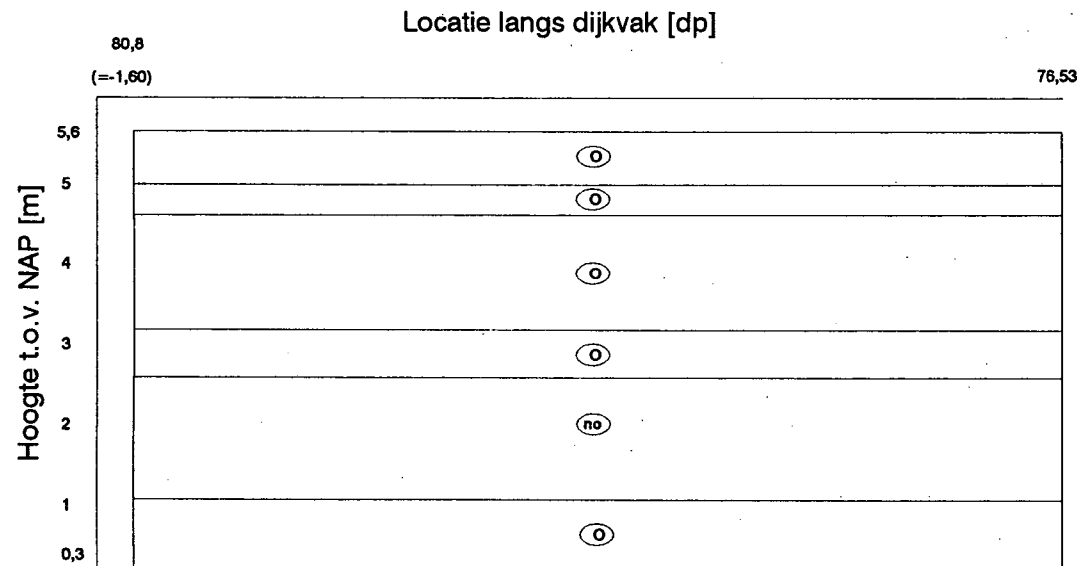
Overig:

gras 3

Kernmateriaal

klei:

zand:



**FIGUUR 12B:
EINDBEOORDELING
TOETSING
MEERWERK**

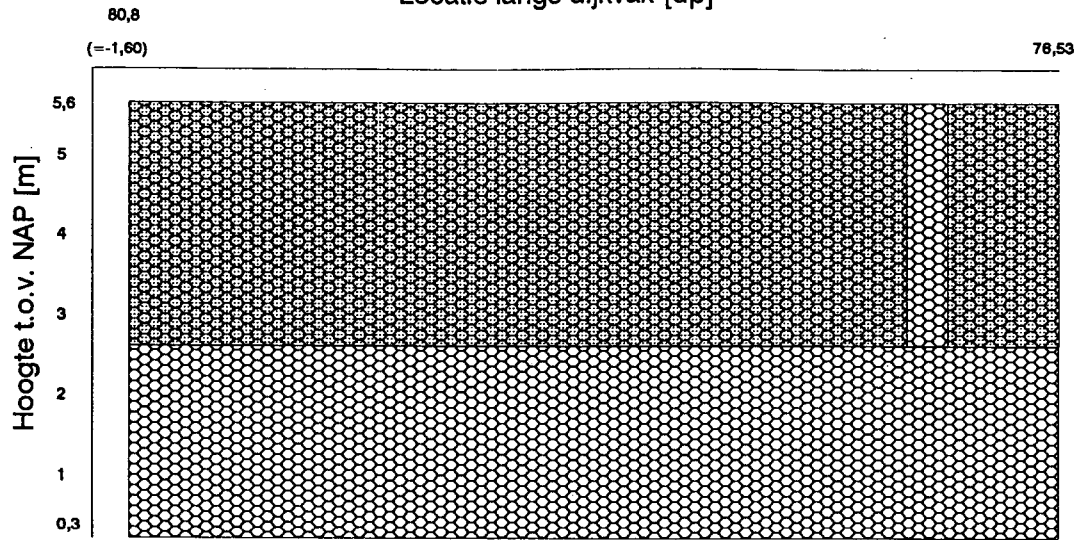
Legenda:

Toetsingsresultaat:

'goed': g
'voldoende': v
'nader onderzoek': no
'onvoldoende': o

n.b. resultaten 'goed' en 'voldoende' komen niet voor in dit dijkvak.

Locatie langs dijkvak [dp]



**FIGUUR 13:
ONTWERP
MEERWERK**

Legenda:

Handhaven huidige
constructie



Betonzuilen:
standaard
met eco-top



Overgangs-
constructie



Proefvak
Hydroblocks
(boven NAP+2,7 m:
0,38 m / 2700 kg/m³)

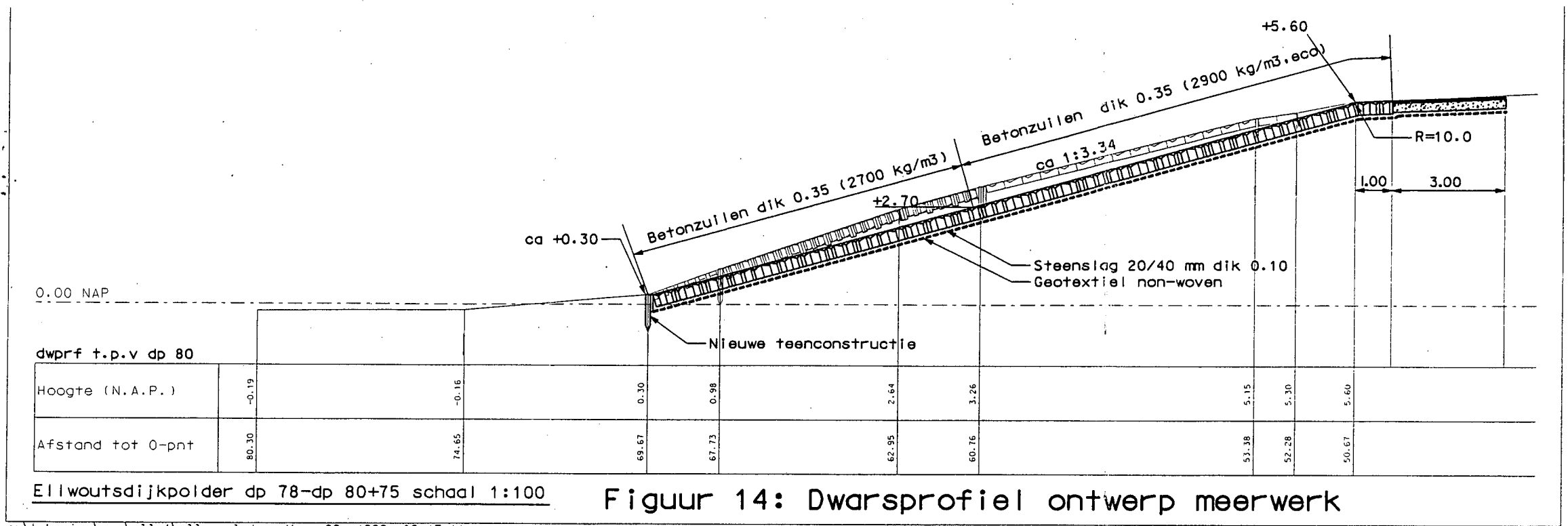
dp 77,25 dp 77

bijzonderheden

Gekozen
zuiltype

boven NAP+2,7 m: 0,35 m / 2900 kg/m³
onder NAP+2,7 m: 0,35 m / 2700 kg/m³

afmetingen



Figuur 14: Dwarsprofiel ontwerp meerwerk

LITERATUUR

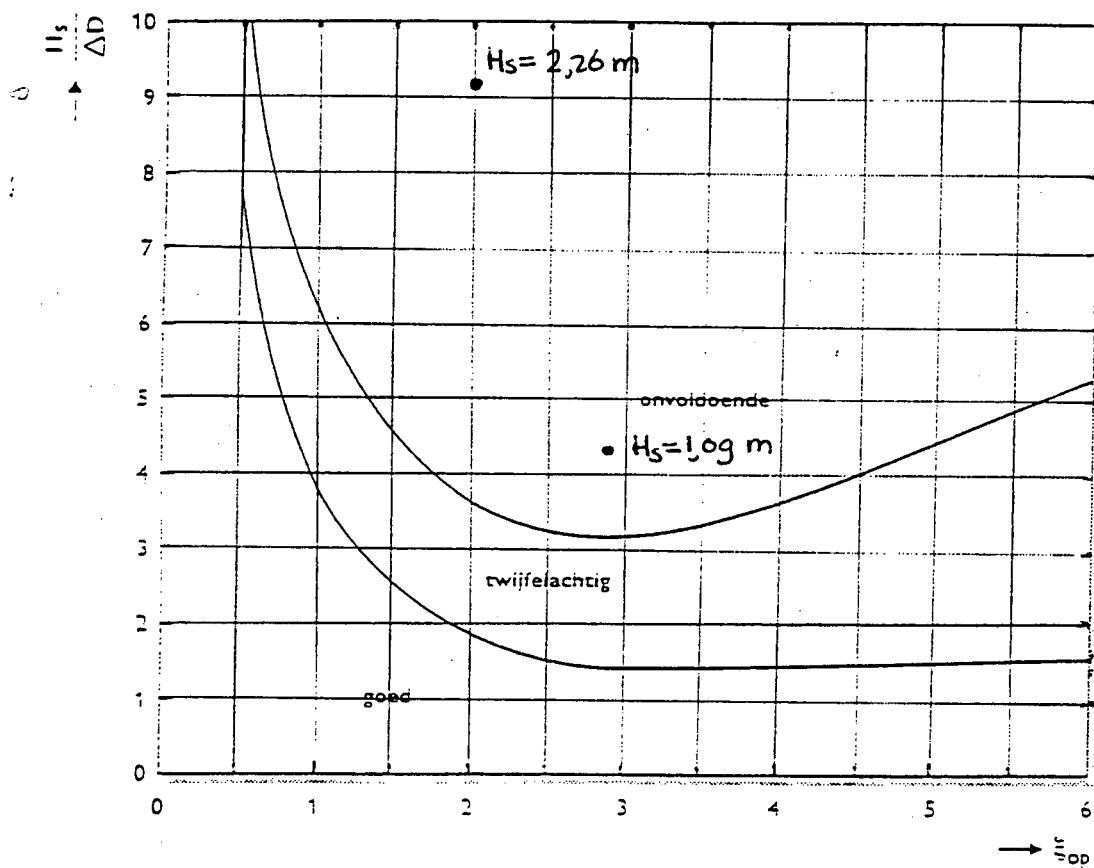
- [1] Project Zeeweringen, Algemene nota dijkvakken 1997 Versie 3, documentnr. PZDT-R-98253, Projectbureau Zeeweringen, maart 1998
- [2] Westerschelde golfmodellering en golfrandvoorwaarden voor de dijkvakken Borsselepolder, Wilhelmus-/Kruispolder, Kleine Huissens-/Eendragtspolder, Hans van Kruiningenpolder, Rijkswaterstaat RIKZ, juli 1997
- [3] Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen, Rijkswaterstaat, Delft, september 1996
- [4] Inventarisatie sterkte gezette taludbekledingen in Zeeland, Grondmechanica Delft, kenmerk 362070/46, Delft, januari 1997
- [5] Leidraad Toetsen op Veiligheid, Groene versie, TAW, Delft, augustus 1996
- [6] Rapport 155, Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen, CUR Gouda, maart 1992
- [7] Taludbekledingen van gezette steen, Vernieuwd Black-Box model, Waterloopkundig Laboratorium, kenmerk H1770, Delft, april 1994

BIJLAGEN

- Bijlage 1: Berekeningsresultaten toetsing
- Bijlage 2: Berekeningsresultaten keuze bekleding
- Bijlage 3: Berekeningsresultaten dimensionering
- Bijlage 4: Berekeningsresultaten toetsing meerwerk
- Bijlage 5: Berekeningsresultaten keuze bekleding meerwerk
- Bijlage 6: Berekeningsresultaten dimensionering meerwerk

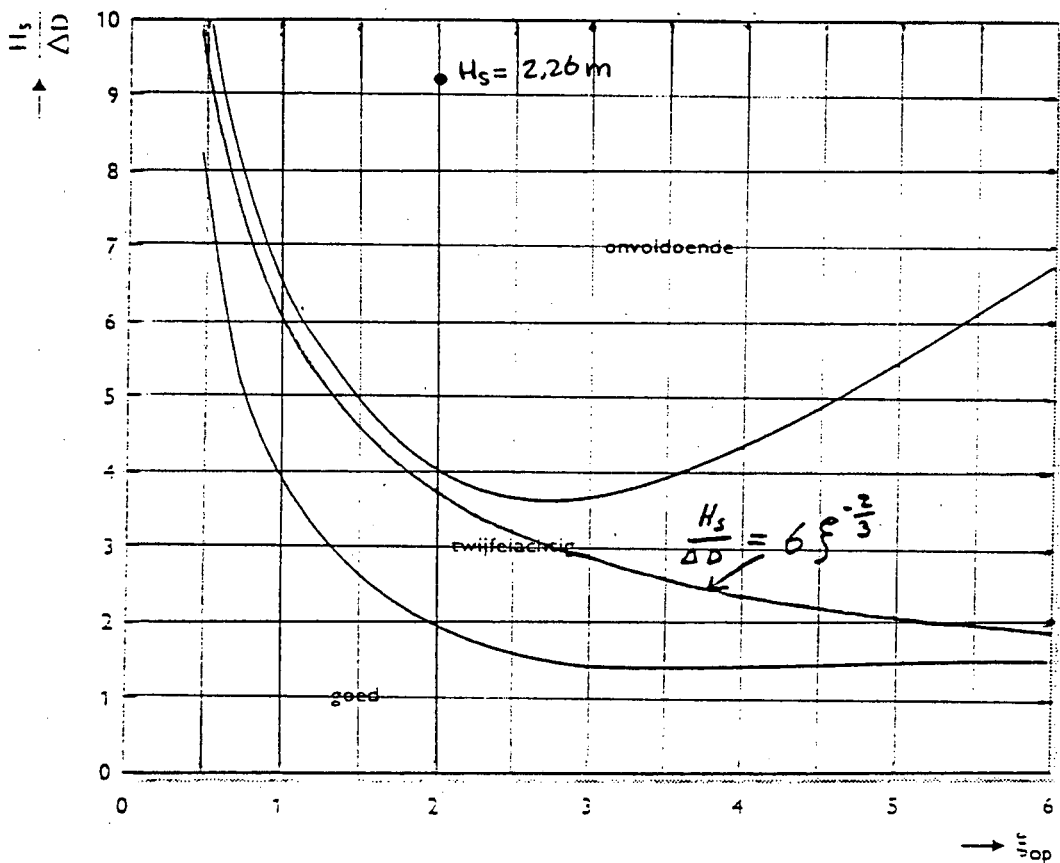
BIJLAGE 1: BEREKENINGSRESULTATEN TOETSING

- Betonblokken op klei
- Haringmanblokken op granulaire onderlaag



Bijlage 1;
Betonblokken op klei

Toetsing van steenzetting op goede klei (type 2)	juni 1997	H3167 002
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 3167	FIG. 2

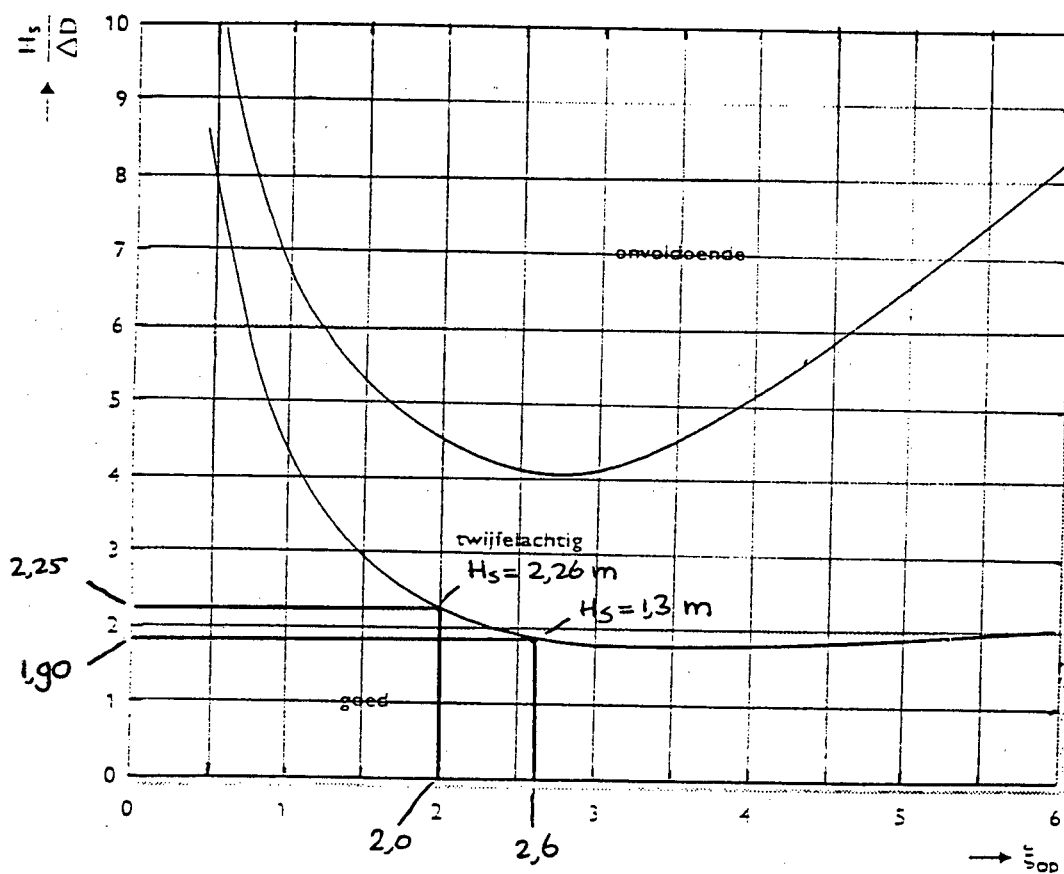


Bijlage 1;
 Haringmanblokken op
 granulaire onderlaag

Toetsing van steenzetting op filter (normale constructie) (type 3b)	juni 1997	H3167 004
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 3167	FIG. 4

BIJLAGE 2: BEREKENINGSRESULTATEN KEUZE BEKLEDING

- Betonblokken op geotextiel op klei



Bijlage 2;
 Betonblokken op
 geotextiel op klei

Toetsing van steenzetting op geotextiel op zand of klei (type 1)	juni-1997	H3167 001
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 3167	FIG. I

BIJLAGE 3: BEREKENINGSRESULTATEN DIMENSIONERING

- Betonzuilen

Bijlage 3: Dimensionering betonzuilen

INVOERGEGEVENS

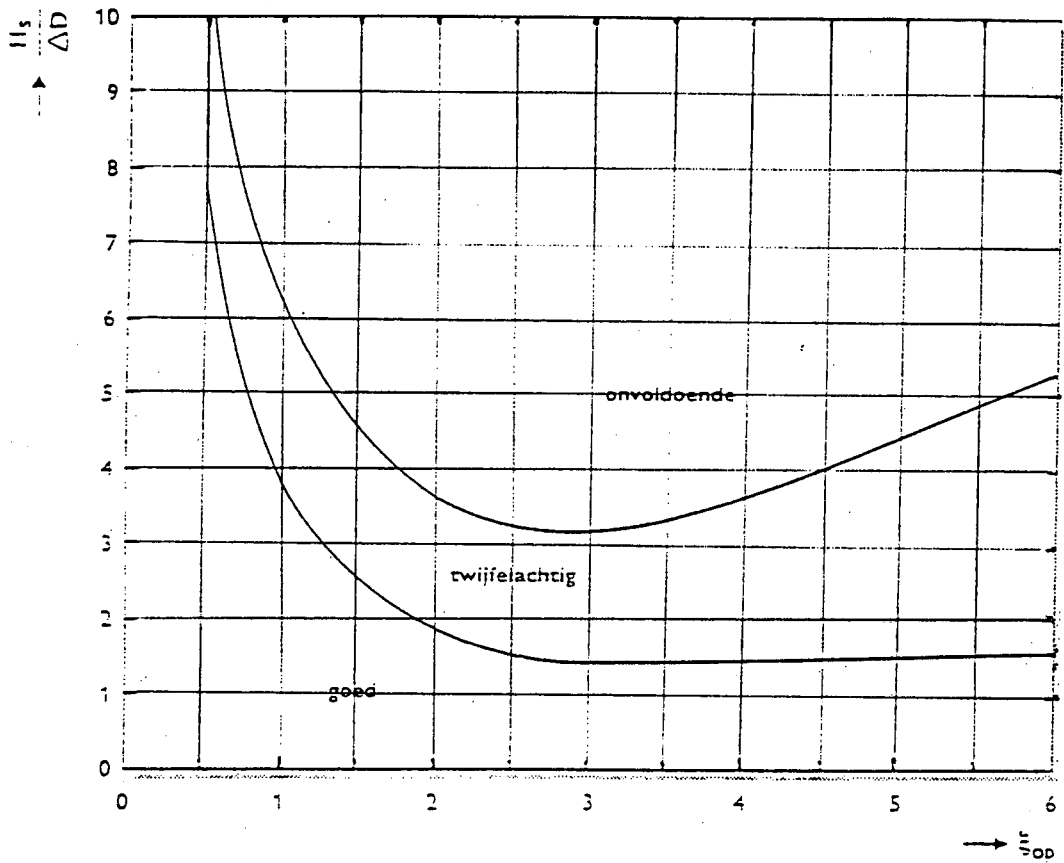
PARAMETER / BEREKENING	dp 0-13	dp 13-19	dp 19-25	dp 25-32
Golven				
H _s [m]	2,26	2,02	1,31	1,87
T _p [s]	8,4	8,4	8,4	8,4
h ₁ [m]	6,0	6,0	6,0	6,0
Talud				
cot(α) [-]	3,5	3,5	3,5	3,5
ft [-]	0,5	0,5	0,5	0,5
h ₂ [m]	0,0	0,0	0,0	0,0
h ₃ [m]	7,75	7,75	7,75	7,75
Constructietype niet ingewassen zuilen filter geotextiel basis				
Zuilen				
A _z [m ²]	0,09	0,09	0,09	0,09
A _{zo} [%]	10	10	10	10
D _z [m]	0,35	0,35	0,30	0,35
sm [kg/m ³]	2700	2600	2300	2600
fwz [-]	0,5	0,5	0,5	0,5
Filter				
b [m]	0,15	0,15	0,15	0,15
D ₁₅ [mm]	20	20	20	20
n [-]	0,35	0,35	0,35	0,35
Geotextiel				
T _g [mm]	2	2	2	2
O ₉₀ [mm]	1	1	1	1
k [mm/s]	10	10	10	10
m [-]	0,5	0,5	0,5	0,5
Basis				
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel

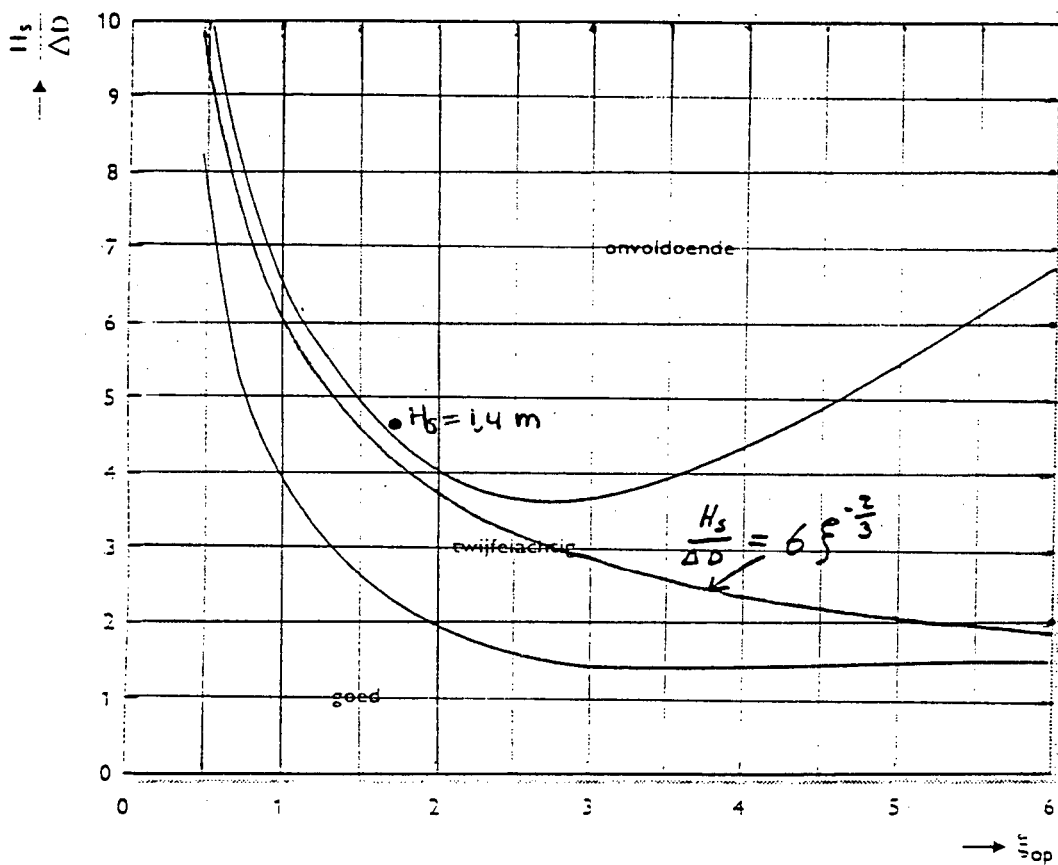
BIJLAGE 4 BEREKENINGSRESULTATEN TOETSING MEERWERK

- Betonblokken op klei
- Doornikse bloksteen



Bylage 4;
Betonblokken op klei

Toetsing van steenzetting op goede klei (type 2)	juni 1997	H3167 002
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	H 3167	FIG. 2



Bijlage 4j
Doornikse bloksteen

Toetsing van steenzetting op filter
(normale constructie) (type 3b)

juni 1997

H3167 004

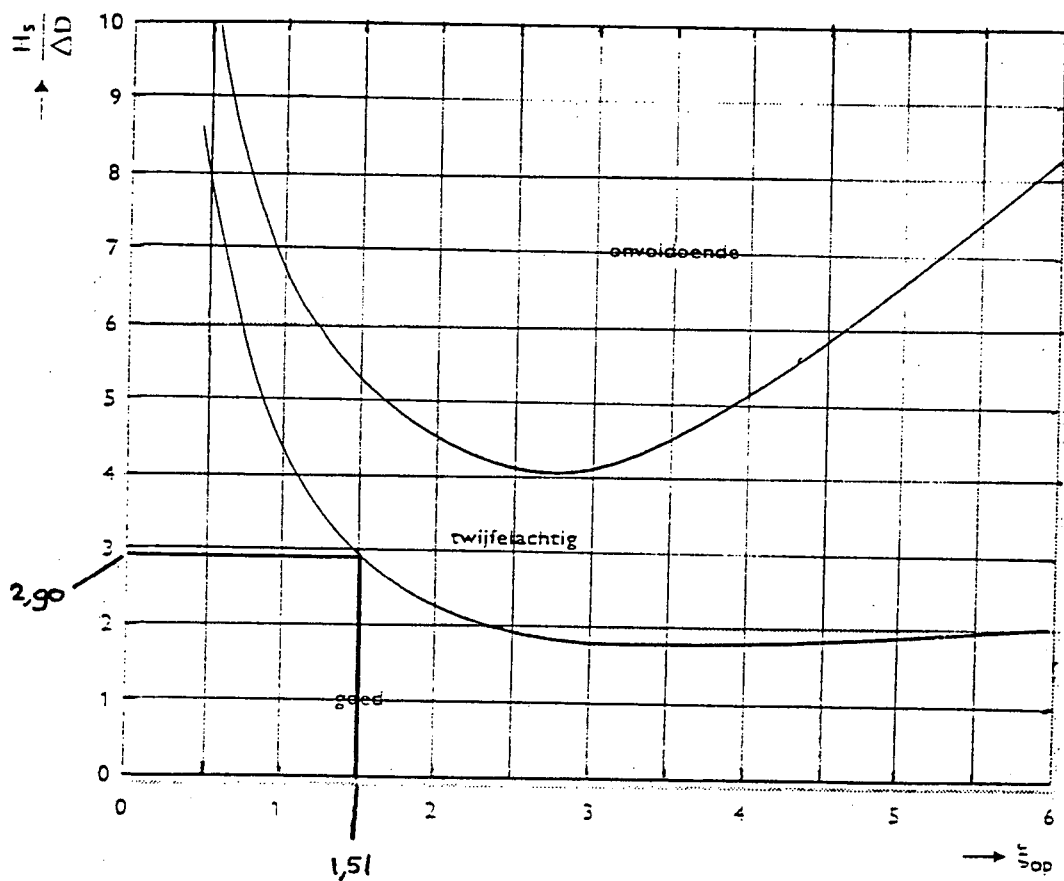
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 3167

FIG. 4

BIJLAGE 5: BEREKENINGSRESULTATEN KEUZE BEKLEDING MEERWERK

- Betonblokken op geotextiel op klei



Bijlage 5;
 Betonblokken op
 geotextiel op klei

Toetsing van steenzetting op geotextiel
 op zand of klei (type 1)

juni-1997

H3167 001

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H 3167

FIG. I

BIJLAGE 6: BEREKENINGSRESULTATEN DIMENSIONERING MEERWERK

- Betonzuilen

Bijlage 6: Dimensionering betonzuilen meerwerk

INVOERGEGEVENS

PARAMETER / BEREKENING	boven NAP+2,7 m	boven NAP+2,7 m, Hydroblock	onder NAP+2,7 m
Golven			
H _s [m]	2,8	2,8	2,4
T _p [s]	7,5	7,5	6,2
h ₁ [m]	6,0	6,0	4,0
Talud			
cot(α) [-]	3,75	3,75	3,75
ft [-]	0,5	0,5	0,5
h ₂ [m]	0,0	0,0	0,0
h ₃ [m]	5,6	5,6	3,0
Constructietype niet ingewassen zuilen filter geotextiel basis			
Zuilen			
A _z [m ²]	0,09	0,09	0,09
A _{zo} [%]	10	10	10
D _z [m]	0,35	0,38	0,35
sm [kg/m ³]	2900	2700	2700
fwz [-]	0,5	0,5	0,5
Filter			
b [m]	0,15	0,15	0,15
D ₁₅ [mm]	20	20	20
n [-]	0,35	0,35	0,35
Geotextiel			
T _g [mm]	2	2	2
O ₉₀ [mm]	1	1	1
k [mm/s]	10	10	10
m [-]	0,5	0,5	0,5
Basis			
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel	De constructie is stabiel

APPENDIX A: METHODIEK TOETSING EN ONTWERP

Bezwijkmechanismen

Voor de bekleding bestaan volgens de Leidraad Toetsen drie bezwijkmechanismen:

- afschuiving;
- materiaaltransport vanuit de kern;
- stabiliteitsverlies van elementen in de toplaag.

Onder het bezwijkmechanisme **afschuiving** wordt de situatie verstaan waarin de bekleding afschuift langs een glijvlak dat vlak onder de bekleding ligt. Om dit bezwijkmechanisme te voorkomen moet het geheel van de bekleding plus onderliggende kleilagen voldoende dik zijn. In geval van een kleikern kan het mechanisme niet voorkomen. De vereiste dikte hangt af van de golfhoogte en golfsteilheid, de taludhelling en de korreldiameter van het kernmateriaal.

Als **materiaaltransport vanuit de kern** voorkomt, kunnen holtes ontstaan onder de toplaag. De stabiliteit van de toplaag komt hierdoor in gevaar. Dit mechanisme kan voorkomen als de openinggrootte van geotextiel of granulaire laag te groot is in verhouding tot de korrelafmetingen van het kernmateriaal.

Stabiliteitsverlies van elementen in de toplaag wordt in het algemeen veroorzaakt door het optreden van een opwaartse kracht, die samenhangt met een drukverschil over de toplaag. Dit drukverschil is maximaal op het moment dat een golf zich maximaal heeft teruggetrokken op het talud: terwijl het water onder de toplaag nog druk uitoefent is het water op de toplaag teruggetrokken. Het drukverschil bij vaste golfrandvoorwaarden is het grootst als de doorlatendheid van de onderlaag groot is en van de toplaag juist klein

Toetsing

In de Leidraad Toetsen wordt voor de toetsing van de stabiliteit van de toplaag onderscheid gemaakt tussen drie niveaus: eenvoudig, gedetailleerd en geavanceerd / modelonderzoek. De gedetailleerde methode is alleen toepasbaar voor constructies waarin onder de toplaag een granulaire laag aanwezig is. Het laatste, hoogste niveau wordt in deze fase van het Project Zeeweringen niet toegepast: dit zou zoveel tijd kosten dat de uitvoering te veel vertraagd zou worden. De eenvoudige methode en de gedetailleerde methode worden hierna in meer detail beschreven.

In lijn met de Leidraad wordt elke bekleding ten eerste getoetst met de eenvoudige methode. Als het resultaat van deze eenvoudige toetsing 'onvoldoende' of 'goed' is, is dit tevens het eindresultaat van de toetsing. Als het resultaat 'twijfelachtig' is, hangt het vervolg af van het type constructie: als onder de toplaag een granulaire laag aanwezig is, wordt het eindresultaat bepaald door toetsing met de gedetailleerde methode. Als dit niet het geval is, en de constructie dus niet met de gedetailleerde methode getoetst kan worden, is het eindresultaat 'onvoldoende'.

Eenvoudige methode

Bij de eenvoudige methode wordt gebruik gemaakt van het 'black box'-model zoals dat ontwikkeld is door het Waterloopkundig Laboratorium [7]. Dit model is gebaseerd op fysische modelproeven, waarmee de relatie tussen het golfveld en de eigenschappen van de zetstenen op het moment van bezwijken vastgesteld is. De stabiliteit wordt bepaald door de verhouding tussen enerzijds $H_s/\Delta D$ en anderzijds de brekerparameter ξ_{op} .

Hierin geldt:

H_s	=	significante golfhoogte [m]
	=	verhouding tussen volumieke massa toplaag en water [-]
D	=	dikte elementen toplaag [m]
ξ_{op}	=	brekerparameter, bepaald door de taludhelling α , de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p op diep water [-]

$H_s/\Delta D$ is gedefinieerd als de sterkteparameter, ξ_{op} als de belastingparameter. In diagrammen (onder meer opgenomen in de Leidraad Toetsing) is aangegeven bij welke verhouding tussen belasting en sterkte de stabiliteit 'goed', 'twijfelachtig' of 'onvoldoende' is.

Gedetailleerde methode

Zoals beschreven wordt de gedetailleerde methode slechts toegepast als het resultaat van toetsing met de eenvoudige methode 'twijfelachtig' is. Bovendien is de gedetailleerde methode slechts toepasbaar voor constructies met een granulaire laag onder de toplaag.

Aan de toepassing van de gedetailleerde methode is nog een extra voorwaarde verbonden. De volgende relatie moet geldig zijn:

$$H_s/\Delta D < 6\xi^{-2/3}$$

Als niet aan deze voorwaarde voldaan wordt, is het resultaat van de gedetailleerde toetsing 'onvoldoende'. Als wel aan de voorwaarde voldaan wordt kan een toetsingsberekening worden uitgevoerd. De gedetailleerde methode is verwerkt in het computerprogramma ANAMOS.

De belasting wordt gekarakteriseerd door het stijghoogteverschil over de toplaag. De weerstand van de toplaag tegen stabiliteitsverlies (de sterkte van de constructie) is groot als de doorlatendheid van de toplaag groot is in verhouding tot de doorlatendheid van het filter. De verhouding tussen de doorlatendheid van het filter en de toplaag wordt de leklengte van de toplaag genoemd. Daarnaast is de zwaarte van de elementen van de toplaag van belang.

Voor de berekening van de belasting moeten de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_p ingevoerd worden. Met betrekking tot de constructie hangen de in te vullen grootheden af van het gekozen constructietype.

In het algemeen is over de verschillende onderdelen de volgende informatie nodig:
algemeen:

- taludhelling;

toplaag:

- doorlatendheid (dikte, relatieve afmetingen openingen);
- zwaarte elementen (dikte, volumiek gewicht);
- onderlinge wrijving (uitgedrukt in een dimensieloze factor, bijna altijd met een waarde van 0,5);

granulaire laag:

- doorlatendheid (dikte, porositeit, korreldiameter).

De eigenschappen van het basismateriaal zijn niet van belang voor de stabiliteit van de toplaag.

Het resultaat van de toetsingsberekening met deze methode is een score 'goed' of 'onvoldoende' voor het aspect 'stabiliteit toplaag'.

Ontwerp

Omdat **stabiliteitsverlies** van de toplaag het belangrijkste bezwijkmechanisme is, wordt het ontwerp van de bekleding hierdoor bepaald. Het resulterende ontwerp wordt vervolgens gecontroleerd op weerstand tegen **afschuiving**. Hiervoor worden grafieken uit de Leidraad Toetsing gebruikt. Met betrekking tot het mechanisme **materiaaltransport** wordt het volgende opgemerkt: één van de aanleidingen van het Project Zeeweringen was de ontdekking dat onder de toplaag van betonblokken geultjes en structuurvorming in de klei voorkwam. Om dit tegen te gaan wordt onder alle nieuwe constructies een vlies aangebracht met een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 μm . Door deze voorziening wordt het mechanisme materiaaltransport in alle gevallen voorkomen. Hieraan wordt daarom verder geen aandacht besteed.

De ontwerpmethode met betrekking tot stabiliteitsverlies hangt af van het type constructie.

Een constructie van blokken direct op een vlies op klei wordt ontworpen aan de hand van het 'black-box'-model, zoals beschreven onder het kopje 'Toetsing'. De vereiste dikte wordt bepaald door de lijn tussen de toetsingsresultaten 'twijfelachtig' en 'goed'.

Voor constructies waarin tussen blokken en vlies een granulaire laag wordt aangebracht, wordt, net als bij de toetsing, gebruik gemaakt van het programma ANAMOS. Ten eerste wordt vastgesteld welke combinatie van volumieke massa en dikte minimaal nodig is om ANAMOS toe te kunnen passen. Vervolgens wordt deze combinatie ingevoerd in ANAMOS om te controleren of de constructie stabiel is. Het ontwerp moet voldoen aan het toepasbaarheids criterium van ANAMOS en bovendien volgens ANAMOS sterk genoeg zijn.

