

DIJKVERBETERING HANS VAN KRUININGENPOLDER

Ontwerpnota

Versie 2

MAART jiii

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	1
1. INLEIDING	2
1.1 Achtergrond	2
1.2 Doelstelling Ontwerpnota	2
1.3 Leeswijzer	3
2. SITUATIEBESCHRIJVING	4
3. ONTWERP-CONDITIES	5
3.1 Uitgangspunten	5
3.2 Golfvandvoorwaarden	5
4. TOETSING	6
4.1 Algemeen	6
4.2 Stabiliteit toplaag	6
4.2.1 Betonblokken op klei	7
4.2.2 Zetsteen op granulaire onderlaag	7
4.3 Reststerkte bekleding	8
4.4 Conclusie	8
5. KEUZE BEKLEDING	9
5.1 Algemeen	9
5.2 Toepasbaarheid bekledingstypen	9
5.2.1 Hergebruik betonblokken op geokunststof op klei	9
5.2.2 Hergebruik natuursteen op granulair materiaal	10
5.2.3 Betonzuilen op granulair materiaal	10
5.2.4 Hergebruik betonblokken op granulair materiaal	10
5.3 Keuze	11
6. DIMENSIONERING	12
6.1 Berm	12
6.2 Overgang berm-glooiing	12
6.3 Bekleding	12
6.4 Teenconstructie	14
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 **Hans van Kruiningenpolder**, in het kader van het Project Zeeweringen.

Het dijkvak van de **Hans van Kruiningenpolder** ligt in het beheersgebied van het Waterschap **Het Vrije van Sluis**. De lengte van het vak is ongeveer **1140 m**. Dit ontwerp betreft de glooiing van het buitentalud, vanaf de berm tot aan de teen. Halverwege de glooiing, **rond NAP+3,0 m**, ligt een overgang. Daarboven (de boventafel) bestaat de bekleding uit **betonblokken op klei**, onder de overgang (de ondertafel) ligt bloksteen van graniet op een granulaire laag. De kern van de dijk bestaat **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.

De **golfrandvoorwaarden** voor het ontwerp variëren over het dijkvak. Bij een waterstand van **NAP+6 m** is de **golfhoogte van 2,1 m**, de bijbehorende **golfperiode is 8,2 s**. Ook bij lagere waterstanden zijn maatgevende golfrandvoorwaarden vastgesteld.

Toetsing van de huidige bekleding is uitgevoerd aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid. **De gehele bekleding is 'onvoldoende' uit het oogpunt van stabiliteit van de toplaag.** Ook de reststerkte van de bekleding is beoordeeld als 'onvoldoende'; het eindresultaat van de toetsing is 'onvoldoende' voor de gehele glooiing.

De **keuze van de nieuwe bekledingstypen** wordt bepaald door de vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. **Ten tijde van het maken van het ontwerp was een bekleding van nieuwe betonzuilen de enige mogelijkheid.** In een later stadium, tijdens de uitvoering van het werk, is het inzicht ontstaan dat toepassing van betonblokken op een granulaire laag gunstiger is dan direct op geokunststof op klei. Uit een controle op dat moment bleek, dat voor een smalle strook onderin een deel van het dijkvak ook een bekleding van gekantelde betonblokken mogelijk zou zijn. Vanwege de kleine afmetingen van dit gedeelte is besloten om niet tot een ingrijpende bestekswijziging over te gaan, maar om het lopende bestek (met een bekleding van betonzuilen voor het gehele dijkvak) te handhaven.

De **dimensionering** hangt af van de geldende golfrandvoorwaarden. **Bij de zwaarste randvoorwaarden voldoen betonzuilen met een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2600 kg/m³.** Onder het niveau NAP+2,5 m, onderin de ondertafel, kan een lichter zuiltype worden toegepast: voor dat gedeelte wordt gekozen voor zuilen met een dikte van 0,40 m en een volumieke massa van 2300 kg/m³. Onder de toplaag wordt een uitvullaag aangebracht van steenslag met een laagdikte van 0,1 m, met een sortering van 4/20 mm. Onder deze uitvullaag wordt een vlies (O₉₀ van 100 µm) aangebracht ter voorkoming van erosie van kleideeltjes. Er wordt een nieuwe teenconstructie aangebracht op het niveau **NAP+0,5 m**.

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 vak van de **Hans van Kruiningenpolder**. 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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.**, terwijl de specifieke aspecten voor elk dijkvak in aparte ontwerpnota's worden vastgelegd. De voorliggende nota is de specifieke ontwerpnota voor de **Hans van Kruiningenpolder**.

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 **Hans van Kruiningenpolder**;
- toetsings- en ontwerpberoeeningen;
- 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 tenslotte wordt de dimensionering van de bekledingen beschreven.

2. SITUATIEBESCHRIJVING

Het dijkvak van de Hans van Kruijningepolder ligt in Zeeuws-Vlaanderen, in het beheersgebied van het Waterschap Het Vrije van Sluis, ten oosten van Breskens. De locatie is weergegeven in Figuur 1. Het gedeelte dat is geselecteerd voor verbetering heeft een lengte van ongeveer 1140 m en ligt tussen dp 4,12 bij Nummer Een (oostgrens) en dp 18,46 in de Elisabethpolder (westgrens). De geometrie van de glooiing van dit hele dijkvak kan globaal worden beschreven door één karakteristiek dwarsprofiel. Dit is weergegeven in Figuur 2.

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

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 is opgebouwd uit zand

De huidige bekleding van de glooiing is aangebracht rond 1966. Verticaal gezien bestaat de bekleding uit twee gedeelten, met een overgang rond NAP+3 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 in het vervolg van deze nota de **boventafel** genoemd. De taludhelling is circa 1:4, de bekleding bestaat uit betonblokken van 0,5 m bij 0,5 m met een dikte van 0,20 m (boven NAP+4,5 m) en 0,25 m (onder NAP+4,5 m). Het basismateriaal van de boventafel bestaat uit klei, met een dikte van 0,8 m.

Het gedeelte van de steenbekleding onder NAP+3 m wordt de **ondertafel** genoemd. De taludhelling is circa 1:4. De bekleding bestaat uit bloksteen van graniet met een dikte tussen 0,25 en 0,30 m. Onder de toplaag ligt een granulaire laag (steenslag) met sortering 20/40 mm, met een dikte van 0,10 m. Het basismateriaal van de ondertafel bestaat uit mijnsteen

3. ONTWERP-CONDITIES

3.1 Uitgangspunten

In de Algemene nota **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.** voor de dijkvakken van 1997 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.

Voor de Hans van Kruiningenpolder gelden geen specifieke uitgangspunten.

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. Voor het ontwerp zijn de maatgevende golfvelden bij verschillende waterstanden met behulp van modelberekeningen vastgesteld door RIKZ **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 1.

GOLFRANDVOORWAARDEN					
waterstand NAP+6 m		waterstand NAP+4 m		waterstand NAP+2 m	
H _s	T _p	H _s	T _p	H _s	T _p
2,1	8,2	1,8	7,5	1,6	6,8

Tabel 1: Golfrandvoorwaarden

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 geïnventariseerd **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** Deze inventarisatie was de directe aanleiding tot het Project Zeeweringen. Ook de bekleding van het dijkvak van de **Hans van Kruiningenpolder** is in dat kader globaal getoetst aan de hand van de Leidraad Toetsen op Veiligheid **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.; 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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** Deze toetsing wordt in dit Hoofdstuk beschreven.

In de Algemene Nota 1997 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.** 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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.**). Beide methoden worden nader beschreven in de Appendix.

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

4.2.1 Betonblokken op klei

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

In het dijkvak komt dit bekledingstype in de gehele boventafel voor.

Voor de blokken gelden de golfrandvoorwaarden bij NAP+6 m (zie Tabel 1). Voor de berekening zijn de volgende gegevens gebruikt:

H_s	=	2,1 m
T_p	=	8,2 s
α	=	1:4
ρ_{beton}	=	2300 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,20 m - 0,25 m

Voor het gedeelte boven NAP+4,5 m (met $D=0,20$ m) geldt:

- ξ_{op} (belastingparameter) = 1,77
- $H_s/\Delta D$ (sterkteparameter) = 8,44

Voor het gedeelte beneden NAP+4,5 m (met $D=0,25$ m) geldt:

- ξ_{op} (belastingparameter) = 1,77
- $H_s/\Delta D$ (sterkteparameter) = 6,75

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.

4.2.2 Zetsteen op granulaire onderlaag

De bekleding van de ondertafel bestaat uit granieten blokken op een granulaire uitvullaag.

Voor de toetsing zijn de golfrandvoorwaarden gebruikt voor het niveau NAP+4 m.

De volgende gegevens zijn gebruikt.

H_s	=	1,8 m
T_p	=	7,5 s
α	=	1:4
ρ_{basalt}	=	2600 kg/m ³
ρ_{water}	=	1025 kg/m ³
D	=	0,22 m

Dit resulteert in de volgende parameters:

- $\xi_{op} = 1,75$
- $H_s/\Delta D = 5,33$

Uit het diagram van het 'black-box'-model voor 'toetsing van steenzetting op filter (normale constructie)' (type 3b) volgt, dat de bekleding als 'onvoldoende' moet worden 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 ontwerpgolfhoogte H_s duidelijk kleiner is dan 2 m.

Zoals aangegeven in Figuur 3a bestaat de kern uit zand. De beoordeling van de reststerkte is direct 'onvoldoende'.

4.4 Conclusie

Vanwege de afwezigheid van reststerkte wordt het toetsingsresultaat bepaald door de stabiliteit van de toplaag. De stabiliteit van de toplaag is volledig beoordeeld als 'onvoldoende', zodat de gehele bekleding in het kader van het Project Zeeweringen moet worden verbeterd. 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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.** 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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie.** 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.

Na een bespreking van de toepasbaarheid van de vier mogelijke bekledingstypen wordt voor boventafel en ondertafel de keuze beschreven.

5.2 Toepasbaarheid bekledingstypen

Voor de vier besproken bekledingstypen wordt de toepasbaarheid vastgesteld. Ten eerste worden de drie bekledingstypen beschreven die bij het maken van het ontwerp beschouwd zijn, vervolgens wordt de latere controle van de toepasbaarheid van betonblokken op granulair materiaal besproken. De berekeningsresultaten zijn opgenomen in Bijlage 2.

5.2.1 Hergebruik betonblokken op geokunststof op klei

De eerste beschikbare oplossing 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, de volumieke massa is 2300 kg/m³. Dit bekledingstype kan alleen buiten de getijdezone worden toegepast.

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 § 4.2.1.

Voor de gehele boventafel geldt:

$$\xi_{op} = 1,77 \Rightarrow H_s/\Delta D < 2,55 \Rightarrow D > 0,67 \text{ m.}$$

Dit is groter dan de beschikbare dikte. 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.

5.2.2 Hergebruik natuursteen op granulair materiaal

De enige beschikbare en toepasbare natuursteen betreft de graniet die uit de bestaande bekleding komt. Hergebruik van deze granietblokken in dit ontwerp wordt niet overwogen: de bestaande bekleding is beoordeeld als 'onvoldoende' en tegen het uitsorteren van een zwaardere fractie en vervolgens herzetten bestaan voor dit ontwerp uitvoeringstechnische bezwaren met het oog op voortgang en kosten.

5.2.3 Betonzuilen op granulair materiaal

Het belangrijkste voordeel van betonzuilen is, dat er vrijheid is in het kiezen van dikte en volumieke massa. Betonzuilen zijn dus voor het hele dijkvak toepasbaar.

Voor dit dijkvak gelden geen specifieke randvoorwaarden ten aanzien van natuurontwikkeling. Toepassing van ecotops heeft voor dit dijkvak daarom geen meerwaarde.

5.2.4 Hergebruik betonblokken op granulair materiaal

De toepasbaarheid van gekantelde blokken op granulair materiaal kan worden bepaald met ANAMOS. Behalve de dikte van de toplaag is voor deze berekeningen ook het relatieve open oppervlak van belang; voor gekantelde blokken wordt deze parameter bepaald door de breedte van de blokken in gekantelde vorm, ofwel de dikte in liggende vorm. De breedte (in gekantelde vorm) van alle beschikbare blokken is deels 0,20 m en deels 0,25 m. Bij de berekeningen is uitgegaan van ontwerpwaarden zoals beschreven in Hoofdstuk 6. Voor de taludhellingen is uitgegaan van 1:4.

Uit de berekeningen blijkt voor beide bloktypen, dat de zwaarste randvoorwaarde uit Tabel 1 waarbij gekantelde blokken op een granulaire laag kunnen worden toegepast, die bij een waterstand van NAP+4 m zijn. Het zwaarst belaste punt ligt ongeveer 1,6 m onder de stilwaterstand; het maximale niveau tot waar gekantelde blokken kunnen worden toegepast ligt dus rond NAP+2,4 m. Uit dit berekeningsresultaat blijkt, dat het in constructieve zin mogelijk is om in het onderste deel van de ondertafel een bekleding van gekantelde betonblokken aan te brengen.

5.3 Keuze

Ten tijde van het maken van het ontwerp was een bekleding van betonzuilen voor het gehele dijkvak de enige mogelijkheid. Op dat moment is daar dan ook voor gekozen. Bij de latere controle bleek, dat betonblokken op een granulaire laag toepasbaar zijn in het onderste deel van de glooiing. Een aanpassing van het ontwerp op dat moment zou een ingrijpende bestekwijziging hebben betekend; vanwege de kleine afmetingen van het mogelijke vak met betonblokken is gekozen om het lopende bestek te handhaven. Voor de gehele glooiing bestaat het ontwerp dus uit een bekleding van betonzuilen.

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. Het resulterende dwarsprofiel is weergegeven in Figuur 5.

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 0,3 m dikke laag ongebonden steenmengsel met sortering 0-40 mm. Onder de onderhoudsstrook wordt geokunststof aangebracht. Na voltooiing van het werk zal het steenmengsel worden overlaagd met een wegdek van 60 mm dik asfaltbeton.

6.2 Overgang berm-glooiing

Tussen onderhoudsstrook en betonzuilen wordt een betonnen band aangebracht op grond van het uitgangspunt dat rekening wordt gehouden met eventueel recreatief medegebruik: de band dient als markering voor weggebruikers.

Tussen de betonnen band 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 glooiing. De dimensionering daarvan wordt besproken in § 6.3.

6.3 Bekleding

Toplaag

De dimensionering van een toplaag met zuilen op een uitvullaag wordt uitgevoerd met de 'analytische methode' zoals beschreven in het Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** De analytische ontwerpmethode komt overeen met de 'gedetailleerde methode' voor Toetsing volgens de Leidraad **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** De methode wordt beschreven in de Appendix.

Zoals besproken moet de gehele glooiing bekleed worden met betonzuilen. In het ontwerp is onderscheid gemaakt tussen twee delen: het bovenste deel, dat berekend moet zijn op de vastgestelde golfrandvoorwaarden bij een waterstand van NAP+6 m, en het onderste deel, waarvoor de golfrandvoorwaarden bij NAP+4 m gelden. De grens tussen deze twee delen ligt op het niveau NAP+2,5 m. De bijbehorende golfrandvoorwaarden zijn weergegeven in Tabel 1.

Voor beide delen zijn de volgende invoergegevens gebruikt:

- taludhelling: 1:4

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

Voor beide delen zijn verschillende combinaties van volumieke massa en dikte mogelijk. Voor het deel boven NAP+2,5 m is gekozen voor zuilen met een dikte van 0,35 m en een volumieke massa van 2600 kg/m³, voor het deel onder NAP+2,5 m zuilen met een dikte van 0,40 m en een volumieke massa van 2300 kg/m³. De rekenresultaten van ANAMOS bij beide combinaties zijn 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 μm . 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 μm 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 μm . In deze proeven was de resulterende werkelijke doorlatendheid kleiner dan 64 μm .

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 μm . De resultaten van dit onderzoek zullen kunnen worden toegepast bij het ontwerp van de dijkvakken die na 1997 zullen worden aangepakt.

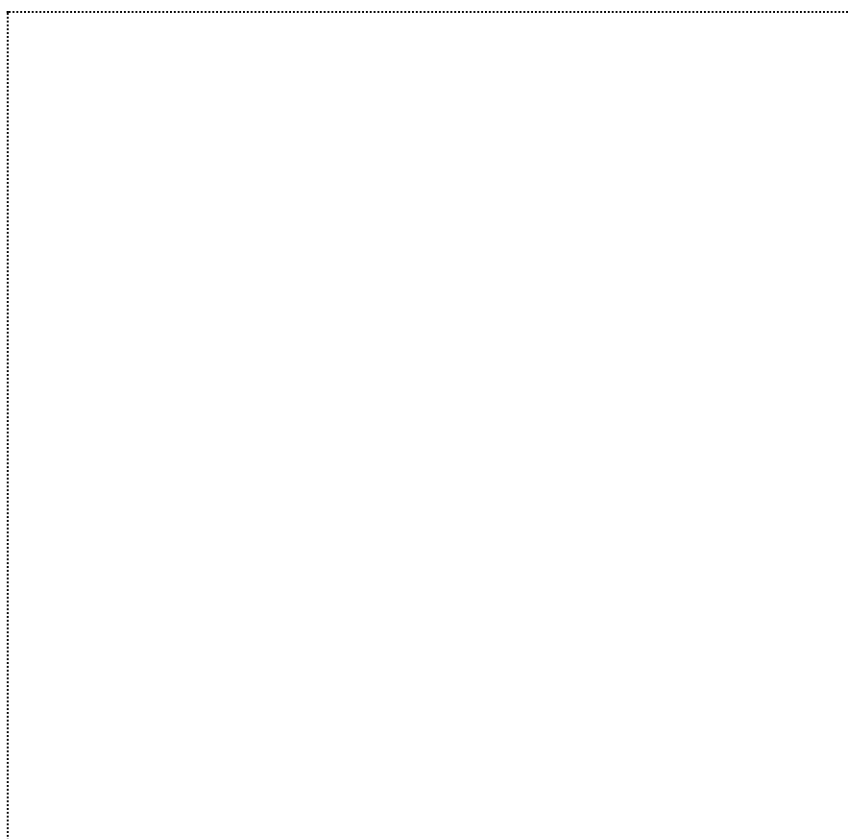
Op grond van deze overwegingen is gekozen voor de toepassing van een vlies met een maximale maaswijdte (O_{90}) van 100 μm .

6.4 **Teenconstructie**

De perkoenpalen van de bestaande teenconstructie worden opnieuw gericht. Aan de teenconstructie wordt een betonband met afmetingen 0,50 m bij 0,08 m toegevoegd. De bekleding van betonzuilen wordt op deze betonband aangesloten. De bovenkant van de teenconstructie wordt aangebracht op het niveau NAP+0,5 m.

FIGUREN

- Figuur 1: Locatie projectgebied
- Figuur 2: Algemeen dwarsprofiel
- Figuur 3a: Huidige situatie
- Figuur 3b: Toetsingsresultaten
- Figuur 4: Ontwerp
- Figuur 5: Dwarsprofiel ontwerp



Figuur 1: Locatie projectgebied

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 1: BEREKENINGSRESULTATEN TOETSING

- Betonblokken op klei
- Graniet bloksteen

BIJLAGE 2: BEREKENINGSRESULTATEN KEUZE BEKLEDING

- Betonblokken op geotextiel op klei
- Betonblokken op geotextiel op granulair materiaal

Bijlage 2: Keuze bekleding, betonblokken op geotextiel op granulair materiaal

INVOERGEGEVENS

PARAMETER/ BEREKENING	b=0,20 m	b=0,25 m
Golven		
H _s [m]	1,8	1,8
T _p [s]	7,5	7,5
h ₁ [m]	4,0	4,0
Talud		
cot(α) [-]	4,0	4,0
ft [-]	0,5	0,5
h ₂ [m]	0	0
h ₃ [m]	6,0	6,0
Constructietype	niet ingewassen dichte blokken filter geotextiel basis	
Dichte blokken		
B [m]	0,20	0,25
L [m]	0,50	0,50
D [m]	0,50	0,50
s [mm]	1	1
sm [kg/m ³]	2300	2300
fwg [-]	0,5	0,5
Filter		
b [m]	0,15	0,15
D ₁₅ [mm]	5	5
n [-]	0,35	0,35
Geotextiel onder filter		
T _g [mm]	2	2
O ₉₀ [mm]	1	1
k [mm/s]	10	10
m [-]	0,5	0,5
Basis		
D ₅₀ [mm]	0,15	0,15
D ₉₀ [mm]	0,25	0,25
nb [-]	0,35	0,35

EINDRESULTATEN

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

BIJLAGE 3: BEREKENINGSRESULTATEN DIMENSIONERING

- Betonzuilen

Bijlage 3: Dimensionering betonzuilen

INVOERGEGEVENS

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

EINDRESULTATEN

Stabiliteit toplaag conclusie ANAMOS	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 **Fout! Onbekende schakeloptie-instructie..** 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.