

Bijlagen

De afstudeeropdracht bevat het gehele onderzoeksproces, het onderzoek naar dijkconstructies specifiek gericht op geotextielen, de eisen waaraan de ontwerpmethodiek aan dient voldoen en de eisen waarop geotextielen moeten worden ontworpen in filterconstructies, het onderzoek naar de Nederlandse rekenregels en Duitse ontwerpvoorschriften, de opgestelde ontwerpmethodiek en de controle op een tweetal al uitgevoerde projecten. De onderbouwing van het tot stand komen van de ontwerprichtlijn en de controle van de opgezette ontwerprichtlijn worden in de volgende bijlagen weergegeven, de ontwerprichtlijn zelf is weergegeven in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding":

- Bijlage 1. Achtergrondinformatie;
- Bijlage 2. Schadegevallen in Nederland;
- Bijlage 3. Eisen ontwerpmethodiek;
- Bijlage 4. Functionele- en uitvoeringseisen;
- Bijlage 5. Controle op het project "Abraham Wissepolder";
- Bijlage 6. Controle op het project "Scherm dijck, IJsselooog";
- Bijlage 7. Tekeningen.

Bijlage 1. Achtergrondinformatie

In tabel 1.1 zijn de toepassingen van geokunststoffen weergegeven.

Tabel 1.1: Toepassingen van geokunststoffen [1]

Functie	Voornaamste eigenschappen	Toepassing	Materiaal
Wapening (geotextiele zand- elementen)	sterk, stijf, grondkerend, weerstand tegen afschuiven, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	bouwen van steile taluds	PET-weefsels
		ophogingen op slappe ondergrond	PP-weefsels, PE of PET geogrids
Filter en scheiding	rekbaar, grondkerend, waterdoorlatend, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	<ul style="list-style-type: none"> - oever- en bodembescherming - bescherming van taluds tegen erosie - grondlichte laag achter constructies - filterconstructies 	PET-, PP-, PE-, PA-weefsel of - vlies
Scherf	rekbaar, ondoorlatend, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	<ul style="list-style-type: none"> - bekleding van vloeistofreservoirs - omhulling van ingegraven constructies - isolatie vuilstortplaatsen en saneringen 	HDPE, LDPE, PVC-P, ECB, CPE
Drainage	waterdoorlatend (richtingsafhankelijk)	waterafvoer	PET-, PP-, PE-, PA-weefsel of - vlies, geocomposiet

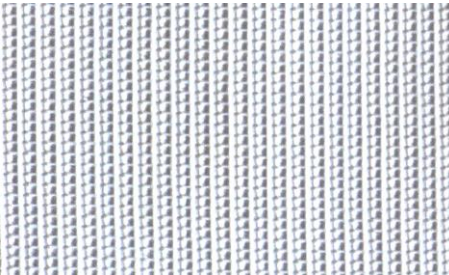



In tabel 1.2 zijn karakteristieke kenmerken van de verschillende polymeren weergegeven.

Tabel 1.2: Eigenschappen van polymeren [2]

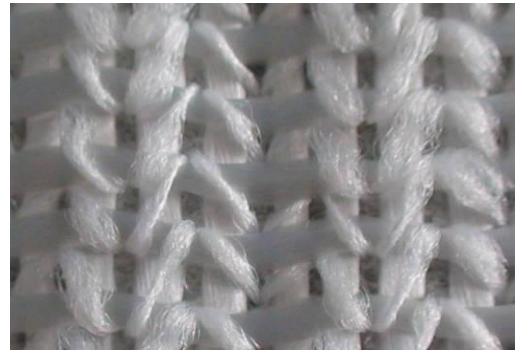
Grondstof	Soortelijke massa [kg/m ³]	Rek bij breuk [%]	Smelt temperatuur [°C]	Hoogste contact temperatuur [°C]
PET	1380	8-15	250-260	200
PP	900	10-40	160-165	130
LDPE	920	20-80	110-120	90
HDPE	950	10-45	125-135	100
PA	1140	15-30	190	190
PVC	1250	50-150	-	-

In de onderstaande tabel 1.3 is een overzicht weergegeven van de verschillende geokunststof eindproducten met, indien van toepassing, informatie over de halffabricaten waaruit het is gemaakt of samengesteld.

Tabel 1.3 Overzicht van de eindproducten [2]

Eindproduct	Beschrijving of definitie	Halffabricaat of Componenten	Foto
Weefsel	Een weefsel is gemaakt uit losse draden die elkaar haaks kruisen en die door de weefselconstructie elkaar vasthouden	Multifilament , meestal PET	
		Bandjesweefsel , meestal PP	
Vlies	Een vlies bestaat uit kortere of langere vezels die willekeurig georiënteerd op mechanische, thermische of chemische wijze aan elkaar gehecht zijn	Vlies uit mechanisch gebonden vezels (genaaldprik)	
		Vlies uit thermisch gebonden vezels (heatbonded)	

Breisel Een breisel is een geotextiel waarbij de draden door breien met elkaar verbonden zijn

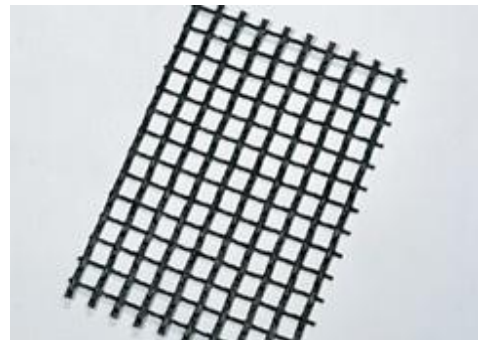


Geogrids Geogrids zijn grofmazige open netwerken van evenwijdig aan elkaar lopende draden of strips, die op de kruispunten aan elkaar verbonden zijn

Geextrudeerd geogrid, met verstrekte strips



Geweven geogrid



Geogrid met aan elkaar verbonden / gelaste strips



Geocell Een Geocell is een ruimtelijke mat die uit aan elkaar gelaste stroken vlies of folie bestaat



Geomat

Een geomat is een geokunststof in een 3 dimensionale vorm, met een duidelijke dikte

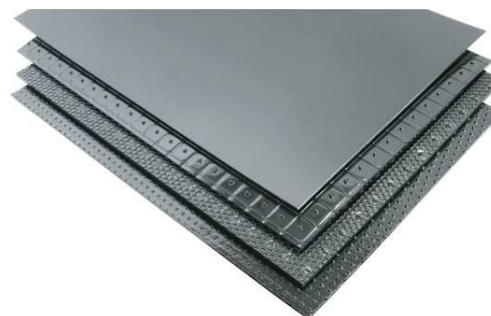
Structuurmat is een ruimtelijke structuur van aan elkaar verbonden draden



Geomembraan

Een geomembraan is een dun kunststof vel of folie of een met bentoniet gevuld composiet dat ook een waterdichte laag kan vormen

Folie, het kan een oppervlaktebehandeling gehad hebben waardoor er een structuur ontstaat



Bentonietmat, een met bentoniet gevuld composiet, tussen 2 vliezen, dat na contact met water zwelt en daardoor een waterdichte laag kan vormen



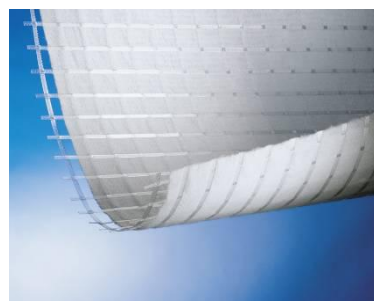
Geocomposiet

Composieten bestaan uit 2 of meer lagen geokunststof en kunnen zo speciale eigenschappen hebben of functies vervullen

Drainage mat, gevormd uit 2 vliezen met daar tussen een structuurmat



Geogrid composiet, bestaande uit een geogrid en een dun vies of weefsel



Geonet

Een geonet is een mat, bestaande uit 2 lagen parallel aan elkaar geextrudeerde polymeerstrengen die elkaar onder een hoek kruisen



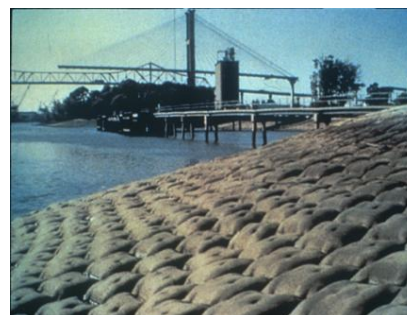
Geotextiele zandelementen

Geotextiele zandelementen zijn ruimtelijke elementen, gefabriceerd uit weefsels of vliezen die gevuld worden met zand, grond of eventueel een zand-cement mengsel

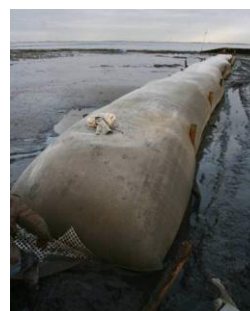
Geotextiele bag, een zandzak met een inhoud van 0,3 tot 2 m³, geprefabriceerd in de fabriek en gevuld op de bouwplaats



Een **Geotextiele mat** bestaat uit 2 lagen geotextiel, die op regelmatige afstanden aan elkaar verbonden zijn en zo een mat bestaande uit parallelle cylinders of compartimenten gevuld met zand of beton vormen



Een **Geotextiele tube** bestaat uit een geotextiel dat samengesteld is tot een ovale buis met een lengte van 25 tot 100 m en een diameter van 0,5 – 4 m



Een **Geotextiele container** is een groot, langwerpig zandelement, dat in de fabriek geprefabriceerd wordt en in de beun van een splijtbak gevuld en gesloten wordt. Hierna wordt het afgezonken

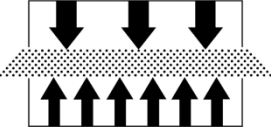



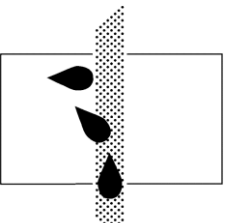

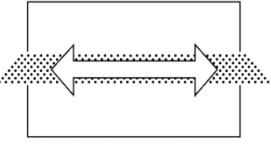



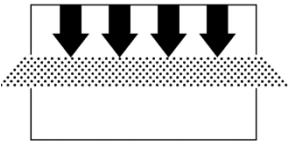

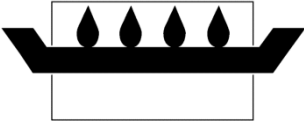

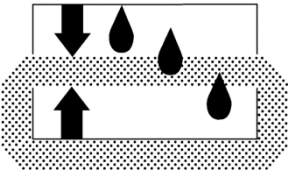



In tabel 1.4 zijn de globale waarden weergegeven van enkele eigenschappen van de gangbare eindproducten in de Nederlandse kust- en oeververdediging.

Tabel 1.4 Eigenschappen van geokunststoffen [2]

Eigenschap	Eenheid	Vlies	Bandjesweefse I	Multifilament weefsel	Geogrid
Polymeer		PP,PE	PP	PET	HDPE, PET
Massa per eenheid van oppervlak	g/m ²	100 – 500	100 – 500	120 – 1000	200 – 1000
Doorlatendheid permittiviteit	s- 1	0,5 – 2,0	0,1 – 2,0	0,1 – 2,0	n.v.t.
Openingsgrootte O ₉₀	mm	0,02 – 0,2	0,05 – 0,6	0,1 – 0,3	n.v.t.
Weerstand tegen UV (afgedekt)	t	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt	Onbeperkt
Weerstand tegen UV (onafgedekt)	t	Afhankelijk van polymeer	Afhankelijk van polymeer	Afhankelijk van polymeer	Afhankelijk van polymeer
Temperatuurgevoeligheid bij verwerking	°C	90 – 110	110	190	90 – 130
Treksterkte bij korte duur belasting	kN/m	20 – 40	50 – 200	100 – 1000	20 – 600
Rek bij breuk	%	20 – 40	10 – 20	10 – 20	10 – 30
Milieuvriendelijkheid (afvalfase)		Matig tot goed	goed	Matig tot goed	Goed

In figuur 1.1 is een overzicht weergegeven van de eisen aan een geokunststof en de producten die voor het vervullen van een bepaalde functie worden gebruikt.

Functie	Omschrijving	Symbool	Belangrijkste eis	Andere minimale eigenschappen	Meest gebruikte producten	Foto toepassing
scheiden	het gebruik van een geokunststof om vermenging van twee grondlagen te voorkomen.		Gronddichtheid	Voldoende sterkte en robuustheid om schade door installatie van de afdeklaag te weerstaan	Vliezen, lichte weefsels	
filteren	het gebruik van een geokunststof om water uit de grond door te laten terwijl een ongecontroleerde doorgang van kleine gronddeeltjes wordt voorkomen.		Gronddichtheid samen met goede waterdoorlatendheid	Voldoende installatie sterkte Voldoende wrijving bij toepassing op een helling Voldoende robuustheid tegen schade door installatie van afdeklaag van stenen	Vliezen, lichte weefsels	
draineren	het gebruik van een geokunststof om water of gas op te vangen en af te voeren.		Afvoervermogen in het vlak	Voldoende dikte onder druk en samendrukkingskruip Voldoende drukweerstand bij belastingen Voldoende filtervermogen	Drainagemat, composiet van vliezen en kern	
wapenen	het benutten van de trek-/rekeigenschappen van een geokunststof om spanningen te weerstaan of om vervormingen te beheersen.		Voldoende treksterkte	Voldoende lange duur treksterkte bij lage rek. Lage kruip Voldoende wrijving en voldoende lange duureigenschappen	Geogrid, sterk weefsel	

Functie	Omschrijving	Symbol	Belangrijkste eis	Andere minimale eigenschappen	Meest gebruikte producten	Foto toepassing
beschermen	het gebruik van een geokunststof als een spanning- reducerende laag om beschadigingen op een object of laag te voorkomen		Beschermen	Voldoende dikte en flexibiliteit tegen vervormingen	Dikke vliezen, composieten	
afdichten	het gebruik van een geokunststof om de doorgang van vloeistoffen of gasen te voorkomen.		Vloeistofdichtheid	Goede installatie uitvoering Drainage laag op membraan kan nodig zijn Afschuiving / wrijving met andere lagen Voldoende sterkte- en doordrukeigenschappen	Folies, bentonietmatten (laag bentoniet tussen 2 vliezen of weefsels	
verpakken	het permanent omhullen van granulair materiaal in een geokunststof, om zo een constructie element te vormen		Voldoende treksterkte en gronddichtheid	Voldoende treksterkte en rek tijdens installatie en gebruiksomstandigheden, voldoende naadsterkte, voldoende filtereigenschappen	Weefsels, zware vliezen	
erosiebeheersing	het gebruik van een geokunststof om oppervlakte erosie door stromend water of wind te voorkomen.		Bescherming van helling tegen oppervlakte erosie	Voldoende stabiliteit, filter, sterkte eigenschappen	Structuurmat	

Figuur 1.4: Eisen aan geokunststoffen [2]

Literatuur

1. CUR publicatie 174. (2009). *Geokunststoffen in de waterbouw*. Gouda: Stichting CURNET.
2. CURNET. (2011). *CUR- rapport 115: 'Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw'*. Gouda: Stichting CUR.

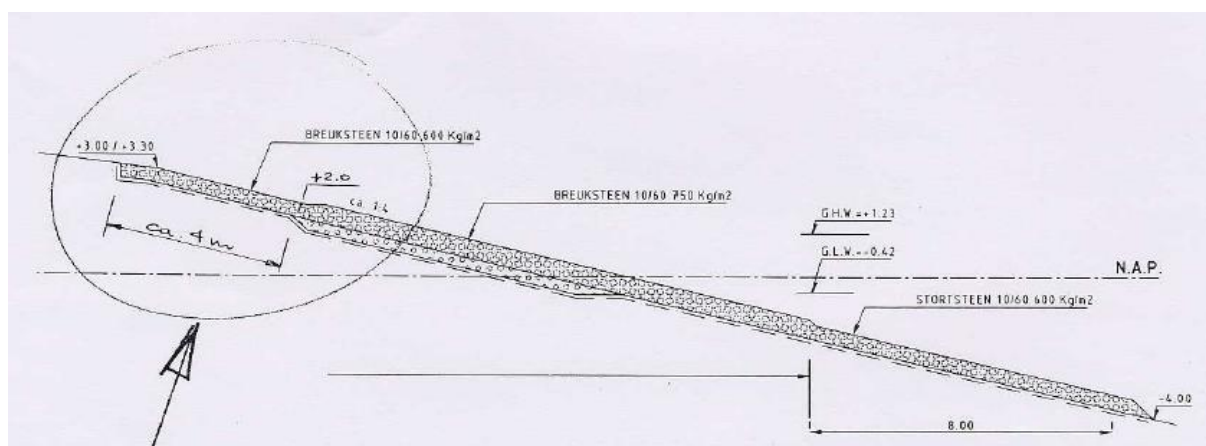
Bijlage 2. Schadegevallen in Nederland

In de huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften voor filterconstructies in de kust- en oeververdedigingen wordt onvoldoende rekening gehouden met de uitvoeringsaspecten. Dit heeft afgelopen jaren een aantal schadegevallen opgeleverd aan de geotextielen. Deze schades ontstaan door aanbrengen van de steenbestorting, door materieel en door onnauwkeurige uitvoering. De schadegevallen zijn afkomstig uit het rapport "schade aan geotextielen onder dijkbekleding van steenbestorting" [1].

2.1 Schade door aanbrengen steenbestorting

Één van de schadegevallen die is voorgekomen in de afgelopen jaren, is schade aan het geotextiel door het aanbrengen van stortsteen direct op het geotextiel. Dit schadegeval is geconstateerd bij de Brielse Maasdijk, die een functie heeft als oeververdediging van het Hartelkanaal. Hier is over een lengte van ca. 4 meter stortsteen (10/60 kg) direct op het geotextiel geplaatst (zie figuur 2.1 voor een doorsnede van de dijk), waarbij scheuren zijn ontstaan. Een aantal kenmerken van het schadegeval op de Brielse Maasdijk zijn:

- Schade in het deel waar de stortsteen (10/60 kg) direct op het geotextiel geplaatst is. Gewicht van de bestorting 600 – 750 kg/m²;
- Gewicht van het Polypropyleen weefsel 180 gr/m²;
- Geen schade waar een tussenlaag van gravel (30-80 mm) is aangebracht;
- Is door 6 aannemers uitgevoerd, in alle stukken schades;
- Gemiddelde lengte van de scheuren per m² bedraagt 0,35 meter.



Figuur 2.1: Schade Brielse maasdijk, Hartelkanaal

2.1.1 Oorzaak

Het ontstaan van de scheuren in het geotextiel kan meerdere oorzaken hebben. Er kan hier dan ook naar twee aspecten worden gekeken, dit zijn de ontwerpaspecten en de uitvoeringsaspecten. Bij de ontwerpaspecten wordt gesteld, dat er een te licht geotextiel is ontworpen dat niet bestand is tegen de krachten die geleverd worden gedurende de uitvoering. Voor de uitvoeringsaspecten kan worden gesteld, dat er een te grote storthoogte is gehanteerd voor het storten van de breuksteen.

2.2.2 Gevolg

Als gevolg van een te licht ontwerp van het geotextiel of een te grote storthoogte zijn er scheuren ontstaan in het geotextiel. Deze scheuren hebben geleid tot minder functionaliteit van het geotextiel als filterconstructie gedurende de gebruiksfase. Het geotextiel zal tijdens de gebruiksfase een minder zanddichtheid hebben dan dat er is ontworpen. Tevens treedt er bij grote hydraulische belastingen erosie van de onderliggende lagen op.

2.2.3 Conclusie

Hieruit kan geconcludeerd dat de huidige voorschriften die in Nederland van toepassing zijn niet voldoen. Tevens is de eis dat de aannemer moet aantonen dat zijn werkmethode geen schade oplevert aan het geotextiel niet reëel (zie figuur 2.2 voor toetsing tijdens uitvoering). De conditie in het werk is namelijk altijd anders dan tijdens de test, er is geen garantie dat de valhoogte niet in de praktijk overschreden wordt. Er dienen duidelijke en onderbouwde ontwerpvoorschriften te worden opgesteld voor het minimale vereiste gewicht en/of de minimaal vereiste sterkte van het geotextiel dat wordt toegepast onder een boven water aan te brengen bestorting van breuksteen.

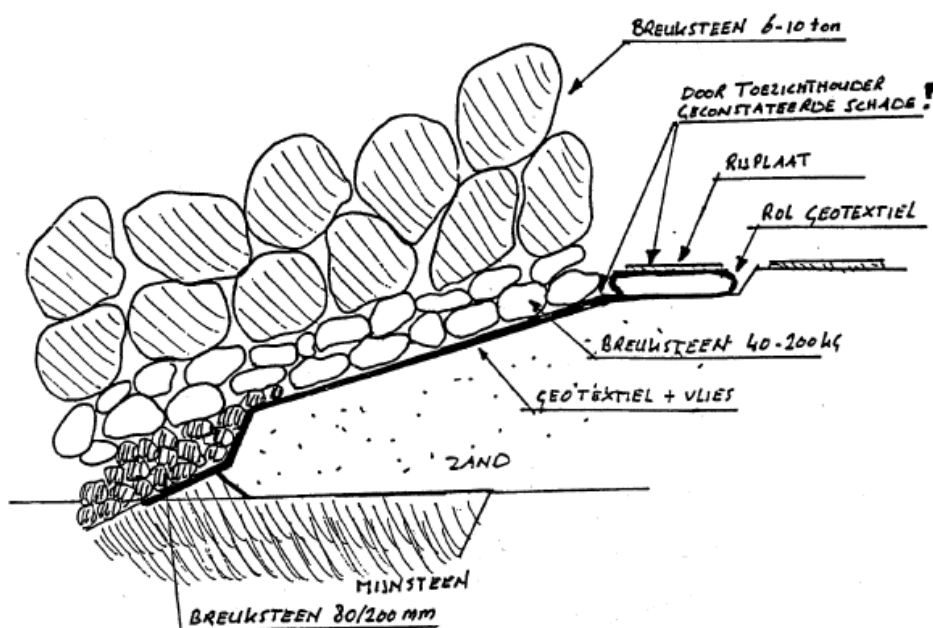


Figuur 2.2: Test tijdens uitvoering of kwaliteit van het geotextiel voldoet

2.2 Schade door materieel

Een ander veel voorkomend schadegeval is schade door het manoeuvreren van het groot materieel op het werkterrein. Dit schadegeval is geconstateerd bij de kustverdediging van Maasvlakte 1. Hier is schade ontstaan tijdens aanbrengen van de filterconstructie en tijdens bestorten op de tussenlaag (zie figuur 2.3 voor een dijk detail). Een aantal kenmerken van het schadegeval op de Maasvlakte 1 zijn:

- Materiaal is een compositief weefsel/vlies met 550 gr/m² weefsel en 150 gr/m² vlies;
- Tussenlaag 40 – 200 kg;
- Toplaag 6 – 10 ton;
- Schade tijdens inbrengen en bestorten op de tussenlaag van 0,60 m dik.



Figuur 2.3: Detail opbouw dijk

2.2.1 Oorzaak

De oorzaak van de schade die is ontstaan aan het geotextiel is door de gekozen uitvoeringsmethode, waarbij tijdens het ontwerp van het geotextiel geen rekening is gehouden. Er zijn een aantal oorzaken van toepassing op dit schadegeval. Zo is er met het materieel over de afdeklaag die op het geotextiel is aangebracht gereden en met de kranen hierop gedraaid (figuur 2.4a) . Daarnaast is er schade ontstaan door het uitvlakken van de tussenlaag met de bak van een hydraulische kraan (figuur 2.4b). Bij een verkeerde handeling van de kraanmachinist waarbij de bak van de kraan het geotextiel raakt, resulteert dit direct in schade aan het geotextiel.



Figuur 2.4a: Manoeuvreren over toplaag



Figuur 2.4b: Uitvlakken tussenlaag met hydraulische kraan

2.2.2 Gevolg

Als gevolg van de gekozen uitvoeringsmethode ontstaat er schade aan het geotextiel. Tijdens beweging van het materieel op de deklaag wat zich op het geotextiel bevindt, spreekt het voor zich dat er enorme krachten werken op de deklaag, die het weer overbrengen naar het geotextiel. Hierdoor kan er perforatie van het geotextiel optreden, wat resulteert in een mindere zanddichtheid tijdens de gebruiksfase.

Bij een verkeerde handeling van de kraanmachinist waarbij de bak van de kraan het geotextiel raakt tijdens het uitvlakken, zullen er scheuren in het geotextiel ontstaan. Deze scheuren hebben een nadelige invloed op het functioneren van het geotextiel in de gebruiksfase, met name op de zanddichtheid.

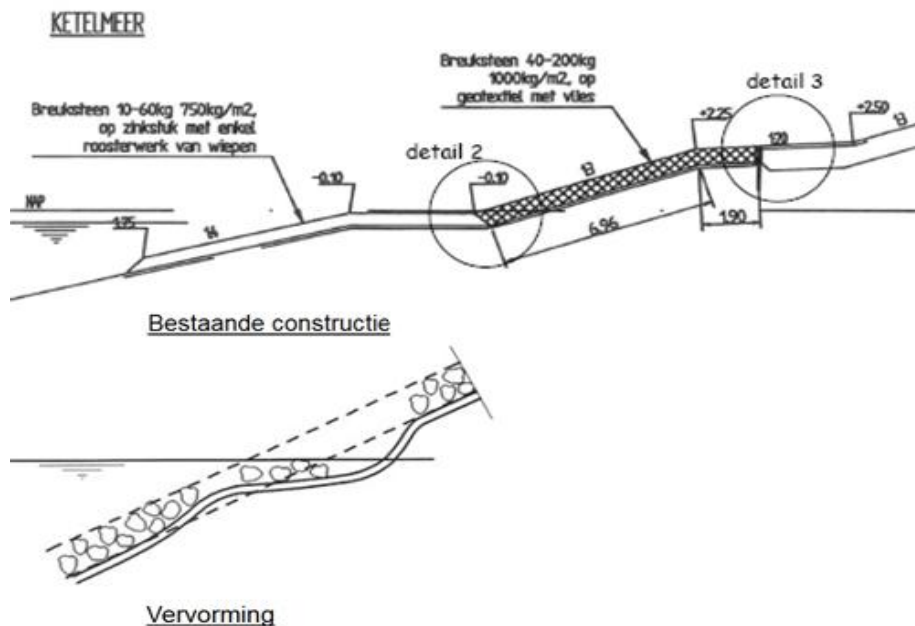
2.2.3 Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de huidige voorschriften die in Nederland van toepassing zijn niet voldoen. De huidige ontwerpvoorschriften houden niet voldoende rekening met de schadegevallen die op kunnen treden tijdens de uitvoeringsmethode. Er dienen nieuwe duidelijke en onderbouwde ontwerpvoorschriften te worden opgesteld die specifiek gericht zijn op de relatie tussen het storten van granulair materiaal (zowel boven als onder water) en de vereiste sterkte van geotextielen.

2.3 Schade door spanningen in geotextiel

Naast schade door het aanbrengen van stortsteen direct op het geotextiel en schade door het materieel kan er ook schade ontstaan door spanningen in geotextiel. Dit schadegeval is geconstateerd bij het baggerdepot IJsselooog. Hier is schade ontstaan in de naden van het geotextiel door het aanbrengen van zware stortsteen direct op het geotextiel (zie figuur 2.5 voor constructie en detail baggerdepot). Een aantal kenmerken van het schadegeval bij het baggerdepot IJsselooog zijn:

- Onderwater is er een niet verdicht zandlichaam aangebracht;
- Composiet weefsel/vlies boven aan het talud verbonden met houten afscheiding, onderaan een overlapping met het kraagstuk;
- Breuksteen 40 – 200 kg, 1000 kg/m², met een dikte van 0,60 meter direct op het geotextiel.



Figuur 2.5: Bestaande constructie en latere vervorming baggerdepot IJsselooq

2.3.1 Oorzaak

Het aanbrengen van zware stortsteen direct op het geotextiel in combinatie met uitvoeringsfouten, zoals niet verdicht zandlichaam of foute overgangen (overgangen waar onvoldoende overlapping aanwezig is of een foutieve verbinding van de naainaden), is de oorzaak van de schade die is ontstaan aan het geotextiel. Doordat de aangebracht zware stortsteen gaten in de onderlaag veroorzaakt en het geotextiel zijn functie als filterconstructie het best kan garanderen als het in contact is met de ondergrond, dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond. Hierdoor treden er spanningen op in het geotextiel met name in de naden, wat heeft geleid tot scheuren in de naden. Waar vervolgens aan de hand van de hydraulische belastingen zand is uitgespoeld, dat vervorming van het talud heeft veroorzaakt.

2.3.2 Gevolg

Als gevolg van het aanbrengen van zware stortsteen direct op het geotextiel in combinatie met uitvoeringsfouten, treden er schades op aan het geotextiel wat resulteert tot gevaar voor de gehele constructie. Door de spanningen die optreden in het geotextiel en de naden is 25 % van de overgangen bezweken (zie figuur 2.6), tevens komt hierdoor het geotextiel bloot te liggen. Het bezwijken van de overgangen heeft als gevolg dat over lengte van 600 meter het talud uitzakt onder de granulaire bestorting.



Figuur 2.6: Bezwijken van naainaden

2.3.3 Conclusie

Hieruit kan geconcludeerd worden dat huidige ontwerpvoorschriften die in Nederland van toepassing zijn niet voldoen. De huidige ontwerpvoorschriften houden niet voldoende rekening met de schadegevallen die op kunnen treden tijdens de uitvoeringsmethode. Er dienen richtlijnen opgesteld te worden die zowel ontwerp- en uitvoeringsfouten belet.

Literatuur

1. Fugro Ingenieurs B.V. (2004). *Schade aan geotextiel onder dijkbekleding van steenbestorting*. Leidschendam.

Bijlage 3. Eisen ontwerpmethodiek

Het opzetten van een ontwerpmethodiek voor het toepassen van geokunststoffen in de waterbouw is een onderwerp dat al jaren speelt. In de afgelopen jaren hebben er al meerdere malen workshops plaats gevonden of zijn er vergaderingen gehouden. Uit deze workshops en vergaderingen zijn een aantal hoofdeisen naar voren gekomen, die de leidraad vormen voor het opzetten van een ontwerpmethodiek voor het toepassen van geokunststoffen in de waterbouw. De eisen zijn:

- Kijkend naar de functionele eisen aan kust- en oeververdedigingen is het noodzakelijk dat ontwerp en uitvoering van het geotextiel in de constructie voldoet aan de levensduur van de gehele constructie;
- De ontwerpmethodiek moet zowel toepasbaar zijn voor onder- als bovenwater, toepasbaar voor zowel dijken als vooroevers, toepasbaar voor in-situ aangelegd als on-site gefabriceerd;
- De ontwerpmethodiek moet niet alleen het ontwerp beslaan, maar ook de beproevingsmethodieken er bij betrekken die nodig zijn om de benodigde kwaliteit van de uiteindelijke gekozen producten aan te tonen;
- Er dient een robuuste, eenduidige ontwerpmethodiek te worden opgesteld waaruit een geotextiel volgt dat van toepassing is voor de waterbouw;
- Er dient duidelijkheid te komen hoe om te gaan met de tegenstrijdige eisen uit de uitvoering en gebruiksfase (bijvoorbeeld geokunststof in een zinkstuk ,kracht en rek, tijdens transport en afzinken en de situatie tijdens het aanbrengen van de ballast/steen bestorting);
- De opgezette ontwerpmethodiek zal bestaan uit drie niveaus:
 - Niveau 1: Eenvoudige methode op basis van grove aannames;
 - Niveau 2: Een gedetailleerde methode op basis van rekenregels;
 - Niveau 3: Een geavanceerde methode op basis van expertmening eventueel geavanceerde rekenmodellen en proeven of labtesten;
- Er dient een classificatiesysteem met grondsoorten, steen groottes en de daarbij horende eisen aan de geokunststof te worden ontworpen (zoals bijv. het Duitse systeem van “Regelwerk”), dit wordt de 1^e stap van het 3-traps raket;
- De ontwerpmethodiek wordt ontworpen voor het toepassen van geokunststoffen voor filterconstructies in de Nederlandse kust- en oeverbescherming. Het gaat hierbij over het toepassen bij dijkversterkingen en oeververdedigingen en niet over het toepassen bij kadeconstructies, grond kerende constructies, het toepassen van Geotubes en blokkenmatten, etc.
- De ontwerpmethodiek gaat specifiek in op het ontwerp van geotextielen en niet op het toetsen tijdens de gebruiksduur, er is immers gebleken dat de eisen die gelden betreffende het ontwerp zwaarder wegen dan de eisen die gelden voor het toetsen. De geokunststoffen dienen namelijk de gehele gebruiksduur hun functie te kunnen waarborgen en dit wordt aangetoond doormiddel van een ontwerpvoorschrift.
- De concept inhoudsopgave van de ontwerpmethodiek is:
 - Voorwoord;
 - Samenvatting;
 - Summary;
 - Verklarende woordenlijst;
 - Notaties;
 - 1) Ontwerpfilosofie;
 - 2) Functionele aspecten geokunststoffen;
 - 3) Methoden van uitvoering;
 - 4) Eisen t.a.v. geokunststoffen;
 - 5) Verificatie;
 - 6) Conclusies en aanbevelingen;
 - Literatuur;
 - Bijlagen.

Bijlage 4. Functionele- en uitvoeringseisen

Een geotextiel wat toegepast wordt in de kust- en oeververdediging dient zowel tijdens de gebruiksduur als tijdens de uitvoering bestand te zijn tegen werkende belastingen. Zo zullen de eigenschappen van het geotextiel moeten voldoen aan functionele eisen en eisen gedurende de uitvoering.

1. Functionele eisen

De gebruiksfase treedt in nadat de filterconstructie, waar het geotextiel deel van uitmaakt, is aangebracht. Tijdens deze fase is het van belang dat de constructie van een dijk, dam of onderdelen hiervan stabiel worden gehouden. Door de belastingen die tijdens deze fase optreden kunnen faalmechanismen optreden waardoor de constructie kan bezwijken. Om het bezwijken van de constructie te voorkomen dient onder andere het geotextiel juist te worden ontworpen. Op basis van de belastingen en faalmechanismen kunnen er randvoorwaarden worden geformuleerd waar eisen aan het geotextiel tijdens het gebruik uit voortkomen.

De geotextielen worden over een groot deel van de bescherming van de dijk toegepast. In het toepassingsgebied zijn er binnen deze studie drie hoofdconstructies te onderscheiden, namelijk:

- Gloomingsconstructies;
- Kreukelbermconstructies;
- Vooroeverconstructies.

De eisen die gesteld zijn aan het geotextiel naar aanleiding van de gebruiksfunctie, gloomingsconstructies, Kreukelbermconstructies en vooroeverconstructies zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.1.

Tabel 4.1: Totstandkoming eisen n.a.v. gebruik

Toepassingsgebied	Optredende belastingen	Faalmechanismen	Randvoorwaarden	Eisen
Glooiings-constructies	- Hydraulische belastingen (golfploop, golfslag, grondwaterstroming, etc.).	- Instabiliteit; - Opdrijven geotextiel; - Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging); - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek; - Doorpons als gevolg van golfslag.	- Hydraulische belastingen (golfploop, golfslag, etc.); - Type ondergrond.	- Gronddichtheid; - Waterdoorlatendheid; - Levensduur; - Doorpons weerstand.
	- Geotechnische belastingen (zetting, afschuiving, etc.).	- Doorpons als gevolg van gewichtsdruk; - Afschuiven van toplaag of toplaag en geotextiel; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek; - Verandering openingsgrootte o.i. van trekbelasting.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, doorlatendheid, etc.); - Dijk/dam constructie (taludhelling, de filterconstructie, de beschermende toplaag, etc.).	- Rekvermogen; - Treksterkte; - Levensduur; - Doorpons weerstand; - Slijtsterkte;
	Overige belastingen (belasting door gewicht toplaag, etc.).	- Slijtage als gevolg van schuren; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Dijk/damconstructie (taludhelling, filterconstructie, beschermende toplaag, etc.).	- Treksterkte; - Rekvermogen; - Slijtsterkte.
Kreukelberm-constructies	- Hydraulische belastingen (golfploop, golfslag, grondwaterstroming, etc.).	- Instabiliteit; - Opdrijven geotextiel; - Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging); - Doorpons als gevolg van golfslag.	- Hydraulische belastingen (golfploop, golfslag, etc.); - Type ondergrond.	- Gronddichtheid; - Waterdoorlatendheid; - Levensduur; - Doorpons weerstand.
	- Geotechnische belastingen (zetting, afschuiving, etc.).	- Verandering openingsgrootte o.i. van trekbelasting; - Afschuiven van toplaag of toplaag en geotextiel.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, doorlatendheid, etc.); - Dijk/dam constructie (de filterconstructie, de beschermende toplaag, etc.).	- Rekvermogen; - Treksterkte; - Levensduur;
	Overige belastingen (belasting door gewicht toplaag, etc.).	- Slijtage als gevolg van schuren; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Dijk/damconstructie (taludhelling, filterconstructie, beschermende toplaag, etc.).	- Treksterkte; - Reksterkte; - Slijtsterkte.
Vooroever-constructies	- Hydraulische belastingen (grondwaterstroming, etc.).	- Instabiliteit; - Opdrijven geotextiel; - Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging).	- Hydraulische belastingen (golfstroming, etc.).	- Gronddichtheid; - Waterdoorlatendheid; - Levensduur;
	- Geotechnische belastingen (zetting, afschuiving, etc.).	- Afschuiven van toplaag of toplaag en geotextiel; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, doorlatendheid, etc.); - Dijk/dam constructie (taludhelling, de filterconstructie, de beschermende toplaag, etc.).	- Rekvermogen; - Treksterkte; - Levensduur; - Slijtsterkte.

1.1 Gloomingsconstructies

Het deel van de dijk- of damconstructie vanaf de kreukelberm tot aan de kruin wordt beschouwd als de glooiingsconstructie. Deze constructie is bij locaties met stilstaand water onderhevig aan een constant waterpeil terwijl locaties met getijden water onderhevig zijn aan druk verschillen die door eb en vloed ontstaan. Daarnaast spelen ook de golven, veroorzaakt door scheepvaart en wind, vaak een maatgevende rol op het gebied van belastingen. De hydraulische invloeden kunnen, afhankelijk van de locatie, aanzienlijk verschillen waardoor verschillende eisen worden gesteld aan de constructie die het water dient te keren. In dit onderzoek wordt voornamelijk gekeken naar de geotextielen die deel uitmaken van de filterconstructie waarbij tevens rekening wordt gehouden met geotechnische en overige belastingen .

Eisen die worden gesteld aan het geotextiel in de glooiingsconstructies zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.1. In deze tabel worden eisen bepaald uit de randvoorwaarden die gelden bij de faalmechanismen die veroorzaakt worden door de optredende belastingen op de constructie.

1.1.1 Optredende belastingen

Volgend uit de werkende belastingen kunnen de faalmechanismen worden opgesteld waarbij uit de hierbij geldende randvoorwaarden de eisen kunnen worden opgesteld. Op de glooiingsconstructies werken verschillende belastingen die in de volgende drie soorten kunnen worden onderscheiden:

- *Hydraulische belastingen:*
Afhankelijk van de locatie zijn de hydraulische invloeden die op de constructie werken groter of kleiner, waardoor deze wel of niet maatgevend kunnen zijn. Bij de hydraulische belastingen valt te denken aan golfoploop, golfklappen, hoogwaterstand, laagwaterstand, etc. Voor de glooiingsconstructies is het gevaar op afschuiving groot wanneer sprake is van invloeden door getijdenwater. Daarnaast zijn ook de golfklappen vaak maatgevend door de grote hydraulische invloeden die op het geotextiel komen.
- *Geotechnische belastingen:*
Bij de geotechnische belastingen valt te denken aan zetting van het dijk- of damlichaam maar ook inklinking van de ondergrond, afschuiving en in het minst voorkomende geval aardschokken en aardbevingen. Door hiervoor genoemde aspecten van de geotechnische belastingen kan de waterkerende constructie zoals een dijk of dam worden aangetast zoals afschuiven van het talud, ontstaan van gaten en scheuren, verandering van openingsgrootte, etc. Voor de glooiingsconstructies geldt dat geotechnische invloeden zoals zettingen het meest herkenbaar zijn bij deze constructies.
- *Overige belastingen:*
Als gevolg van de aangebrachte toplaag is er een belasting door het gewicht hiervan op de onderliggende constructie. Daarbij kan in combinatie met de hydraulische invloeden beweging van de toplaag ontstaan wat leidt tot schuring. Belastingen als deze worden beschouwd als overige belastingen en zijn vaak niet maatgevend voor het ontwerp van het geotextiel.

1.1.2 Faalmechanismen

Uit het verleden is gebleken dat wanneer een dijk of dam bezwijkt, dit vaak niet het geval is omdat de optredende belastingen zijn onderschat, maar omdat faalmechanismen niet goed in beeld zijn gebracht. Naar aanleiding van de optredende belastingen in de gebruiksfase zijn de mogelijke faalmechanismen van de glooiingsconstructie van beschreven. Er is onderscheid gemaakt in hydraulische, geotechnische en overige belastingen. Voor de faalmechanismen geldt vaak dat een combinatie van belastingen de oorzaak is.

Faalmechanismen ten gevolge van de hydraulische belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Instabiliteit:*
Elke gloopingsconstructie is onderhevig aan hydraulische belastingen zoals golven, stromingen, etc. De grootte van deze belastingen is afhankelijk van de locatie van de constructie. Echter over alle locaties zijn invloeden als golven en stromingen aanwezig door scheepvaart, windgolven, etc. Door deze invloeden is uitspoeling van het basismateriaal mogelijk waardoor de stabiliteit van de constructie afneemt en de kans op falen toeneemt.
- *Opdrijven geotextiel:*
Het opdrijven van het geotextiel is voornamelijk van toepassing op locaties die onder invloed zijn van getijden water. Vanwege de doorlatendheid van het geotextiel vindt er transport van water plaats door de filterconstructie. Bij snel wisselende waterstanden of wanneer sprake is van een gereduceerde waterdoorlatendheid kunnen er drukken ontstaan die ervoor zorgen dat het geotextiel op gaat drijven. Dit kan worden voorkomen door de waterdoorlatendheid groter te maken en de grond dichtheid van het geotextiel te behouden.
- *Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging):*
Wanneer het basismateriaal over een brede korrelgradering beschikt zijn er altijd deeltjes aanwezig die kleiner zijn dan de openingsgroottes van het geotextiel waardoor materiaaltransport op kan treden door voornamelijk hydraulische invloeden. Hierdoor is het mogelijk dat de kleine deeltjes na verloop van tijd in het geotextiel dringen waardoor dit dichtslibt (clogging). De grotere deeltjes blokkeren de openingen van het geotextiel (blocking). Door de grotere deeltjes worden tevens de fijnere deeltjes tegen gehouden waardoor een slecht doorlatende laag onder het geotextiel wordt opgebouwd (blinding). Hierdoor neemt het filtratievermogen van het geotextiel af wat tevens een oorzaak kan zijn voor het ontstaan van over- en onderdrukken wat afschuiving en opdrijving als gevolg kan hebben. De gloopingsconstructie is constant onderhevig aan hydraulische invloeden zoals waterstromingen en golfklappen waardoor dit faalmechanisme vaak bij deze constructies voorkomt.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
In de gebruiksfase is het geotextiel onderhevig aan de hydraulische belastingen. Deze zorgen in combinatie met de geotechnische belastingen ervoor dat het geotextiel tijdens de gebruiksfase zich gaat vormen naar de ondergrond. Dit wordt mede veroorzaakt door het gewicht van het bekledingsmateriaal wat op het geotextiel drukt. Door het vervormen van het doek gelijk aan de ondergrond treedt er rek op wat kan leiden tot het scheuren en bezwijken van het geotextiel. Hiervoor moeten eisen worden gesteld aan de rek van het geotextiele doek.
- *Doorpons als gevolg van golfslag:*
Als gevolg van schepen of wind worden golven geproduceerd die een belasting uitoefenen op de gloopingsconstructie. Het bekledingsmateriaal wat gevestigd is op het geotextiele doek is onderhevig aan deze golfbelastingen. De golven leveren een druk op de steen en kan gezien worden als een duw om de steen door het geotextiel heen te drukken. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het geotextiel onderhevig is aan doorponsbelastingen waarop het ontwerp dient te worden

Faalmechanismen ten gevolge van de geotechnische belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Doorpons als gevolg van gewichtsdruk:*
Als gevolg van het gewicht van de gebruikte harde materialen kan doorpons van het bekledingsmateriaal op het geotextiel optreden. Geotechnische belastingen zoals zettingen en afschuiving zijn het gevolg van een niet cohesieve ondergrond of andere belastingen zoals verkeersbelasting. Door geotechnische belastingen zoals zettingen en afschuiving kan een deformatie van de harde materialen plaatsvinden waarbij deze materialen vallen of doorgeponst worden waardoor perforatie kan ontstaan. Door de hellingshoek en hoogteniveaus treedt dit voornamelijk op bij gloopingsconstructies.

- *Afschuiven van de toplaag of de toplaag en het geotextiel:*
Ook dit faalmechanisme is een combinatie van de geotechnische- en hydraulische belastingen die van invloed zijn op het geotextiel. Door grondzettingen, golfslag en stromingen kan de toplaag gaan bewegen waardoor deze over het geotextiel afschuift. Het kan ook voorkomen dat het geotextiel met de toplaag mee afschuift. Wanneer dit gebeurt is de beschermingsconstructie weg en neemt de bezwijkkans van de dam of dijk aanzienlijk toe.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
Door zettingen in de ondergrond kan het voorkomen dat er geen contact is tussen de ondergrond en het geotextiel. Hierdoor kan, in combinatie met de hydraulische belastingen, het deel waar geen contact is sterke vervormingen optreden. Het geotextiel heeft hiervoor een hoog rekvermogen voor nodig.
- *Verandering openingsgrootte o.i. van trekbelasting:*
Als gevolg van de geotechnische belastingen zoals zettingen en afschuiving kan scheurvorming ontstaan. Bij het niet scheuren van het geotextiel wordt het geotextiel wel zodanig uit elkaar getrokken dat de openingsgrootte van het geotextiel verandert waardoor effecten als blocking, blinding en clogging kunnen optreden. Hierdoor wordt het filtratievermogen gereduceerd waardoor over- en onderdrukken kunnen ontstaan. Verandering van de openingsgrootte kan ook leiden tot het toenemen van de grootte wat erosie van de onderliggende laag tot gevolg kan hebben.

Faalmechanismen ten gevolge van de overige belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Slijtage als gevolg van schuren:*
Afhankelijk van de toegepaste toplaag zal er meer of minder wrijving van het materiaal op het geotextiel plaatsvinden. Wrijving kan leiden tot het ontstaan van gaten in het geotextiel, overigens is dit faalmechanisme vaak niet maatgevend.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
De vervorming treedt op als gevolg van het gewicht van het bekledingsmateriaal wat is toegepast. In combinatie met geotechnische en hydraulische belastingen zal het geotextiel vervormen waardoor rekspanningen in het geotextiel optreden. Hiermee moet tijdens het ontwerp rekening mee moeten worden gehouden.

1.1.3 Randvoorwaarden

In tabel 4.1 is aangegeven dat in de gebruiksfase alleen hydraulische en geotechnische invloeden van toepassing zijn op de constructie die kunnen zorgen voor het falen van deze constructie. Aan de hand van de belastingen en faalmechanismen kunnen er randvoorwaarden opgesteld worden die van invloed zijn op het ontwerp. De randvoorwaarden zullen leiden tot de eisen aan een geschikt ontwerp van het geotextiel, waaraan het toe te passen geotextiel dient te voldoen. De randvoorwaarden dienen door middel van onderzoek op de projectlocatie te worden bepaald. Randvoorwaarden ten gevolge van de faalmechanismen en hydraulische belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Hydraulische belastingen (golfoploop, golfklappen, etc.):*
De hydraulische belastingen zijn in tabel 4.1 tevens vermeldt als optredende belastingen. De hydraulische belastingen zijn onderdeel van de optredende belastingen waardoor faalmechanismen van de constructie ontstaan. Voor het opstellen van eisen moeten er randvoorwaarden worden gesteld aan de hydraulische belastingen. Hierbij moet gedacht worden aan golfklappen, aanwezige stromen, golfoploop etc.

Randvoorwaarden ten gevolge van de faalmechanismen en geotechnische belastingen op glooiingsconstructies zijn:

- *Bodemgesteldheid (korrelgrootte, draagkracht, korrelverdeling, doorlatendheid, etc.):*
Op basis van de geotechnische belastingen en de faalmechanismen die daarbij kunnen optreden kunnen er randvoorwaarden worden gesteld voor het opstellen van eisen. Om onder andere zettingen en afschuivingen te voorkomen dient de ondergrond goed te worden verdicht. De korrelgrootte speelt een grote rol bij het ponsen en de draagkracht is van invloed op het optreden van scheuren. Daarnaast is in combinatie met de hydraulische belastingen eveneens de doorlatendheid van de grond van groot belang voor het voorkomen van onder- en overdrukken. De bodemgesteldheid van de ondergrond is van invloed op het ontwerp waardoor deze als een randvoorwaarde kan worden gezien.
- *De constructie van de dijk of dam (taludhelling, opbouw filterconstructie, opbouw van de beschermende toplaag, etc.):*
Voor het ontwerp van het geotextiel en de daarbij behorende eisen die aan het geotextiel worden opgesteld is ook de constructie van de dijk of dam zeer belangrijk. Rekening moet worden gehouden met de opbouw van constructie waaronder de hellingen.

Randvoorwaarden ten gevolge van de faalmechanismen en de overige belastingen op glooiingsconstructies zijn:

- *De constructie van de dijk of dam (taludhelling, opbouw filterconstructie, opbouw van de beschermende toplaag, etc.):*
Voor het ontwerp van het geotextiel en de daarbij behorende eisen die aan het geotextiel worden opgesteld is, naast de randvoorwaarden hydraulische belastingen en bodemgesteldheid, ook de constructie van de dijk of dam zeer belangrijk. Rekening moet worden gehouden met de opbouw van constructie en onder welke hellingen deze worden aangebracht.

1.1.4 Eisen

Het geotextiel dat zal moeten worden toegepast als filterconstructie in een dijk of dam, dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn volgens de werkende belastingen en faalmechanismen van de glooiingsconstructie. De eisen die zijn opgesteld aan de hand van de glooiingsconstructie in de eindfase zijn hieronder weergegeven.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van de hydraulische belastingen op glooiingsconstructies zijn:

- *Gronddichtheid:*
Het geotextiel in de filterconstructie heeft als uitgangspunt dat slechts een zeer klein deel van het basismateriaal mag uitspoelen, hiervoor dient de vereiste poriegrootte (O_{90}) te worden bepaald.
- *Waterdoorlatendheid:*
Het geotextiel dient een zodanige waterdoorlatendheid te bevatten dat het geen belemmering vormt voor de stroming door de constructie. Is er echter onvoldoende doorlatendheid voor het uittredend water, zal dit instabiliteit van het talud veroorzaken.
- *Levensduur:*
De levensduur van het geotextiel wordt voornamelijk bepaald door de duurzaamheid. De eigenschappen van het geotextiel kunnen in de loop der jaren veranderen. Duurzaamheid van het geotextiel houdt in dat het geotextiel voldoende bestand dient te zijn tegen externe invloeden gedurende gebruiksfase, zodanig dat de functie in tact blijft. De externe invloeden zijn oxidatie, hydrolyse, chemische en bacteriologische aantasting, mechanische beschadiging en kruip en/of relaxatie.
- *Doorponsweerstand:*
Het geotextiel dient bestand te zijn tegen doorponsbelastingen als gevolg van de hydraulische belastingen.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van de geotechnische belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Rekvermogen:*
Tijdens de gebruiksfase dient de gronddichtheid en waterdoorlatendheid van het geotextiel te worden gewaarborgd. Het geotextiel zal hierdoor voldoende rekbaar moeten zijn om vervorming te kunnen aanvaarden zonder te grote veranderingen van de openingsgrootte en zonder te grote beschadigingen.
- *Treksterkte:*
Om ontoelaatbare vervormingen te voorkomen, voornamelijk bij steilere taluds, dient het geotextiel voldoende stijfheid en sterkte te bevatten. Het gaat hier met name om veranderingen van de openingsgrootte van het geotextiel.
- *Levensduur:*
Zie eisen gesteld ten gevolge van de hydraulische belastingen.
- *Doorponsweerstand:*
Ten gevolge van zettingen en deformatie van de harde toplaag is doorpons mogelijk, bijvoorbeeld door doorponsing van de toplaag. Het geotextiel dient hier tegen bestand te zijn.
- *Slijtsterkte:*
Het geotextiel dient bestand te zijn tegen schuring als gevolg van geotechnische invloeden.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van de overige belastingen op gloopingsconstructies zijn:

- *Treksterkte:*
Als gevolg van het gewicht van de toplaag kunnen op de helling van de gloopingsconstructie verscheidene trekspanningen ontstaan waartegen het geotextiel bestand dient te zijn.
- *Rekvermogen:*
Als gevolg van het gewicht van de toplaag en een niet goed verdichte ondergrond kunnen er vervormingen van de ondergrond optreden. Het geotextiel dient voldoende rekvermogen te hebben om deze vervormingen aan te nemen zonder te scheuren.
- *Slijtsterkte:*
Bij toepassing van een toplaag waarvan het materiaal een kleine wrijvingsweerstand heeft kan deze, afhankelijk van de toegepaste helling in het ontwerp, gaan schuiven waardoor schuring met het geotextiel optreedt. Het geotextiel dient voldoende bestand te zijn tegen deze schuring.
- *Doorponsweerstand:*
Bij toepassing van een toplaag waarvan het materiaal een kleine wrijvingsweerstand heeft kan deze afhankelijk, van de toegepaste helling in het ontwerp, gaan schuiven waardoor doorpons als gevolg van vallende stenen optreedt. Het geotextiel dient voldoende bestand te zijn tegen doorpons.

1.2 Kreukelbermconstructies

Het deel van de dijk- of damconstructie vanaf de vooroeverconstructie tot aan de gloopingsconstructie wordt beschouwd als de kreukelbermconstructie. Deze constructie is bij locaties met stilstaand water onderhevig aan een constant waterpeil en bij getijde wateren aan druk verschillen die door eb en vloed ontstaan. Daarnaast spelen ook de golven, veroorzaakt door onder andere scheepvaart, vaak een maatgevende rol op het gebied van belastingen. De hydraulische invloeden kunnen, afhankelijk van de locatie, aanzienlijk verschillen waardoor verschillende eisen worden gesteld aan de constructie.

Eisen die worden gesteld aan het geotextiel in de kreukelbermconstructies zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.1. In deze tabel worden eisen bepaald uit de randvoorwaarden die gelden bij de faalmechanismen die veroorzaakt worden door de optredende belastingen op de constructie.

1.2.1 Optredende belastingen

Aan de hand van de optredende belastingen kunnen de faalmechanismen worden bepaald waarbij uit de hierbij geldende randvoorwaarden de eisen kunnen worden opgesteld. Op de glooiingsconstructies werken verschillende belastingen die in de volgende drie soorten kunnen worden onderscheiden:

- *Hydraulische belastingen:*
Afhankelijk van de locatie zijn de hydraulische invloeden die op de constructie werken groter of kleiner, waardoor deze wel of niet maatgevend kunnen zijn. Bij de hydraulische belastingen valt te denken aan golfoploop, golfklappen, hoogwater, laagwater, etc.
- *Geotechnische belastingen:*
Bij de geotechnische belastingen valt te denken aan zetting van het dijk- of damlichaam maar ook inklinking van de ondergrond, afschuiving en in het minst voorkomende geval aardbevingen. Door hiervoor genoemde aspecten van de geotechnische belastingen kan de waterkerende constructie zoals een dijk of dam worden aangetast zoals het ontstaan van gaten en scheuren, verandering van openingsgrootte, etc. Voor de kreukelbermconstructie geldt dat geotechnische invloeden zoals zettingen vaak niet maatgevend zijn.
- *Overige belastingen:*
Als gevolg van de aangebrachte top laag is er een belasting door het gewicht hiervan op de onderliggende constructie. Deze belasting kan voor kreukelbermconstructies maatgevend zijn wanneer sprake is van bijvoorbeeld een slappe ondergrond. Voor het ontwerp van het geotextiel dient met aspecten als deze rekening te worden gehouden.

1.2.2 Faalmechanismen

Uit het verleden is gebleken dat wanneer een dijk of dam bezwijkt, dit vaak niet het geval is omdat de optredende belastingen zijn onderschat, maar omdat de faalmechanismen niet goed in beeld zijn gebracht. Naar aanleiding van de optredende belastingen in de gebruiksfase zijn de mogelijke faalmechanismen van de kreukelbermconstructie beschreven. Er is onderscheid gemaakt in hydraulische, geotechnische en overige belastingen. Voor de faalmechanismen geldt vaak dat een combinatie van belastingen de oorzaak is.

Faalmechanismen ten gevolge van de hydraulische belastingen op kreukelbermconstructies zijn:

- *Instabiliteit:*
Een kreukelbermconstructie is vaak onderhevig aan hydraulische belastingen zoals golven, stromingen, etc. De grootte van deze belastingen is afhankelijk van de locatie van de constructie. Op alle locaties zijn invloeden als golven en stromingen aanwezig door scheepvaart, windgolven, etc. Door deze invloeden is uitspoeling van het basismateriaal mogelijk waardoor de stabiliteit van de constructie afneemt en de kans op falen toeneemt.
- *Opdrijven geotextiel:*
Het opdrijven van het geotextiel is voornamelijk van toepassing op locaties die onder invloed zijn van getij. Vanwege de doorlatendheid van het geotextiel vindt er transport van water plaats door de filterconstructie. Bij snel wisselende waterstanden of wanneer sprake is van een gereduceerde waterdoorlatendheid kunnen er drukken ontstaan die ervoor zorgen dat het geotextiel op gaat drijven. Dit kan worden voorkomen door de waterdoorlatendheid groter te maken en de grond dichtheid van het geotextiel te behouden. Tevens bevindt het geotextiel t.b.v. de kreukelbermconstructie zich, bij hoog of een constant water, geheel onder water waardoor opdrijving van het geotextiel voor kan komen.

- *Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging):*
Wanneer het basismateriaal over een brede korrelgradering beschikt zijn er altijd deeltjes aanwezig die kleiner zijn dan de openingsgroottes van het geotextiel waardoor materiaaltransport op kan treden door voornamelijk hydraulische invloeden. Hierdoor is het mogelijk dat de kleine deeltjes na verloop van tijd in het geotextiel dringen waardoor dit dichtslibt (clogging). De grotere deeltjes blokkeren de openingen van het geotextiel (blocking). Door de grotere deeltjes worden tevens de fijnere deeltjes tegen gehouden waardoor een slecht doorlatende laag onder het geotextiel wordt opgebouwd (blinding). Hierdoor neemt het filtratievermogen van het geotextiel af wat tevens een oorzaak kan zijn voor het ontstaan van over- en onderdrukken wat afschuiving en opdrijving als gevolg kan hebben. De glooiingsconstructie is constant onderhevig aan hydraulische invloeden zoals waterstromingen en golfklappen waardoor dit faalmechanisme vaak bij deze constructies voorkomt.
- *Doorpons als gevolg van golfslag:*
Als gevolg van de hydraulische belastingen is het bekledingsmateriaal op het geotextiel onderhevig aan golfstromingen en golfslag. Deze belastingen geven als het ware een duw tegen de steenbekleding waardoor het doorponsen van het bekledingsmateriaal door het geotextiel mogelijk is.

Faalmechanismen ten gevolge van de geotechnische belastingen op kreukelbermconstructies zijn:

- *Verandering openingsgrootte o.i. van trekbelasting:*
Als gevolg van de geotechnische belastingen zoals zettingen kan scheurvorming van het geotextiel ontstaan. Bij het niet scheuren van het geotextiel wordt het geotextiel wel zodanig uit elkaar getrokken dat de openingsgrootte van het geotextiel verandert waardoor effecten als blocking, blinding en clogging kunnen optreden. Hierdoor wordt het filtratievermogen gereduceerd waardoor over- en onderdrukken kunnen ontstaan. Verandering van de openingsgrootte kan ook leiden tot het toenemen van de grootte wat erosie van de onderliggende laag tot gevolg kan hebben.
- *Afschuiven van de toplaag of de toplaag en het geotextiel:*
Ook dit faalmechanisme is een combinatie van de geotechnische- en hydraulische belastingen die van invloed zijn op het geotextiel. Door grondzettingen, golfslag en stromingen kan de toplaag gaan bewegen waardoor deze over het geotextiel afschuift. Het kan ook voorkomen dat het geotextiel met de toplaag mee afschuift. Wanneer dit gebeurt is de beschermingsconstructie weg en neemt de bezwijkkans van de dam of dijk aanzienlijk toe.

Faalmechanismen ten gevolge van de overige belastingen op glooiingsconstructies zijn:

- *Slijtage als gevolg van schuren*
Afhankelijk van de toegepaste toplaag zal er meer of minder wrijving van het materiaal op het geotextiel plaatsvinden. Wrijving kan leiden tot het ontstaan van gaten in het geotextiel, echter is dit faalmechanisme vaak niet maatgevend.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
De vervorming treedt op als gevolg van het gewicht van het bekledingsmateriaal wat is toegepast. In combinatie met geotechnische en hydraulische belastingen zal het geotextiel vervormen waardoor rekspanningen in het geotextiel optreden. Hiermee moet tijdens het ontwerp rekening mee moeten worden gehouden.

1.2.3 Randvoorwaarden

In tabel 4.1 is aangegeven dat in de gebruiksfase alleen hydraulische en geotechnische invloeden van toepassing zijn op de constructie die kunnen zorgen voor het falen van deze constructie. Aan de hand van de belastingen en faalmechanismen kunnen er randvoorwaarden opgesteld worden die van invloed zijn op het ontwerp. De randvoorwaarden zullen leiden tot de eisen van een geschikt

ontwerp van het geotextiel, waaraan het toe te passen geotextiel aan dient te voldoen. De randvoorwaarden dienen door middel van onderzoek op de projectlocatie te worden bepaald. Voor de beschrijving van de randvoorwaarden wordt verwezen naar paragraaf 1.1.3.

1.2.4 Eisen

Het geotextiel dat zal moeten worden toegepast als filterconstructie in een dijk of dam, dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn volgens de werkende belastingen en faalmechanismen van de kreukelbermconstructie. De eisen die zijn opgesteld aan de hand van de kreukelbermconstructie in de eindfase zijn hieronder weergegeven.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van hydraulische belastingen op kreukelbermconstructies zijn:

- *Gronddichtheid:*
Het geotextiel in de filterconstructie heeft als uitgangspunt dat slechts een zeer klein deel van het basismateriaal mag uitspoelen, hiervoor dient de vereiste poriegrootte (O_{90}) te worden bepaald.
- *Waterdoorlatendheid:*
Het geotextiel dient een zodanige waterdoorlatendheid te bevatten dat het geen belemmering vormt voor de stroming door de constructie. Is er echter onvoldoende doorlatendheid voor het uittredend water, zal dit instabiliteit van het talud veroorzaken.
- *Levensduur:*
De levensduur van geotextiel wordt voornamelijk bepaald door de duurzaamheid. De eigenschappen van het geotextiel kunnen in de loop der jaren veranderen. Duurzaamheid van het geotextiel houdt in dat het geotextiel voldoende bestand dient te zijn tegen externe invloeden gedurende gebruiksfase, zodanig dat de functie in tact blijft. De externe invloeden zijn oxidatie, hydrolyse, chemische en bacteriologische aantasting, mechanische beschadiging en kruip en/of relaxatie.
- *Doorponsweerstand:*
Het geotextiel dient bestand te zijn tegen doorponsbelastingen als gevolg van de hydraulische belastingen.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van geotechnische belastingen op kreukelbermconstructies zijn:

- *Rekvermogen:*
Tijdens de gebruiksfase dient de gronddichtheid en waterdoorlatendheid van het geotextiel te worden gewaarborgd. Het geotextiel zal hierdoor voldoende rekbaar moeten zijn om vervorming te kunnen aanvaarden zonder te grote veranderingen van de openingsgrootte en zonder te grote beschadigingen.
- *Treksterkte:*
Om ontoelaatbare vervormingen te voorkomen, voornamelijk bij steilere taluds, dient het geotextiel voldoende stijfheid en sterkte te bevatten. Het gaat hier met name om veranderingen van de openingsgrootte van het geotextiel.
- *Levensduur:*
Zie eisen gesteld ten gevolge van de hydraulische belastingen.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van de overige belastingen op kreukelbermconstructies zijn:

- *Treksterkte:*
Als gevolg van het gewicht van de toplaag en een niet goed verdichte ondergrond kunnen er vervormingen van de ondergrond optreden waardoor verscheidene trekspanningen ontstaan waartegen het geotextiel bestand dient te zijn.

- *Rekvermogen:*
 Als gevolg van het gewicht van de toplaag en een niet goed verdichte ondergrond kunnen er vervormingen van de ondergrond optreden. Het geotextiel dient voldoende rekvermogen te hebben om deze vervormingen aan te nemen zonder te scheuren.
- *Slijtsterkte:*
 Bij toepassing van een toplaag waarvan het materiaal een kleine wrijvingsweerstand heeft kan deze, afhankelijk van de toegepaste helling in het ontwerp, gaan schuiven waardoor schuring met het geotextiel optreedt. Het geotextiel dient voldoende bestand te zijn tegen deze schuring.
- *Doorponsweerstand:*
 Bij toepassing van een toplaag waarvan het materiaal een kleine wrijvingsweerstand heeft kan deze afhankelijk, van de toegepaste helling in het ontwerp, gaan schuiven waardoor doorpons als gevolg van vallende stenen optreedt. Het geotextiel dient voldoende bestand te zijn tegen doorpons.

1.3 Vooroeverconstructies

Het deel van de dijk- of damconstructie vanaf de kreukelbermconstructie tot in de geul wordt beschouwd als de vooroeverconstructie. Deze constructie is bij locaties met stilstaand water onderhevig aan een constant waterpeil en bij getijde wateren aan druk verschillen die door eb en vloed ontstaan. Daarnaast spelen ook de golven, veroorzaakt door onder andere scheepvaart, vaak een maatgevende rol op het gebied van belastingen. De hydraulische invloeden kunnen, afhankelijk van de locatie, aanzienlijk verschillen waardoor verschillende eisen worden gesteld aan de constructie.

Eisen die worden gesteld aan het geotextiel in de vooroeverconstructies zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.1. In deze tabel worden eisen bepaald uit de randvoorwaarden die gelden bij de faalmechanismen die veroorzaakt worden door de optredende belastingen op de constructie.

1.3.1 Optredende belastingen

Aan de hand van de optredende belastingen kunnen de faalmechanismen worden bepaald waarbij uit de hierbij geldende randvoorwaarden de eisen kunnen worden opgesteld. Op de vooroeverconstructies werken verschillende belastingen die in de volgende drie soorten kunnen worden onderscheiden:

- *Hydraulische belastingen:*
 Afhankelijk van de locatie zijn de hydraulische invloeden die op de constructie werken groter of kleiner, waardoor deze wel of niet maatgevend kunnen zijn. Bij de hydraulische belastingen valt te denken aan hoogwater, laagwater en stroming. Voor de vooroeverconstructies is het gevaar van materiaaltransport waardoor instabiliteit ontstaat groot wanneer sprake is van invloeden door getijdenwater.
- *Geotechnische belastingen:*
 Bij de geotechnische belastingen valt te denken aan zetting van het dijk- of damlichaam maar ook inklinking van de ondergrond, afschuiving en in het minst voorkomende geval aardschokken en aardbevingen. Door hiervoor genoemde aspecten van de geotechnische belastingen kan de waterkerende constructie zoals een dijk of dam worden aangetast zoals het ontstaan van gaten en scheuren, afschuiven geulwand, verandering van openingsgrootte, etc. Voor de vooroeverconstructie geldt dat geotechnische invloeden zoals zettingen vaak niet maatgevend zijn.

1.3.2 Faalmechanismen

Uit het verleden is gebleken dat wanneer een dijk of dam bezwijkt, dit vaak niet het geval is omdat de optredende belastingen zijn onderschat, maar omdat de faalmechanismen niet goed in beeld zijn gebracht. Naar aanleiding van de optredende belastingen in de gebruiksfase zijn de mogelijke faalmechanismen van de vooroeverconstructie beschreven. Er is onderscheid gemaakt in hydraulische, geotechnische en overige belastingen. Voor de faalmechanismen geldt vaak dat een combinatie van belastingen de oorzaak is.

Faalmechanismen ten gevolge van de hydraulische belastingen op vooroeverconstructies zijn:

- **Instabiliteit:**
Een vooroeverconstructie is vaak onderhevig aan hydraulische belastingen zoals golven, stromingen, etc. De grootte van deze belastingen is afhankelijk van de locatie van de constructie. Op alle locaties zijn invloeden als golven en stromingen aanwezig door scheepvaart, windgolven, etc. Door deze invloeden is uitspoeling van het basismateriaal mogelijk waardoor de stabiliteit van de constructie afneemt en de kans op falen toeneemt.
- **Opdrijven geotextiel:**
Het opdrijven van het geotextiel is voornamelijk van toepassing op locaties die onder invloed zijn van getijden water. Vanwege de doorlatendheid van het geotextiel vindt er transport van water plaats door de filterconstructie. Bij snel wisselende waterstanden of wanneer sprake is van een gereduceerde waterdoorlatendheid kunnen er drukken ontstaan die ervoor zorgen dat het geotextiel op gaat drijven. Dit kan worden voorkomen door de waterdoorlatendheid groter te maken en de gronddichtheid van het geotextiel te behouden. Tevens bevindt het geotextiel t.b.v. de vooroeverconstructie zich, bij hoog of een constant water, geheel onder water waardoor opdrijving van het geotextiel voor kan komen.
- **Verandering doorlatendheid door uitspoeling of dichtslibben (blocking, blinding, clogging):**
Wanneer het basismateriaal over een brede korrelgradering beschikt zijn er altijd deeltjes aanwezig die kleiner zijn dan de openingsgroottes van het geotextiel waardoor materiaaltransport op kan treden door voornamelijk hydraulische invloeden. Hierdoor is het mogelijk dat de kleine deeltjes na verloop van tijd in het geotextiel dringen waardoor dit dichtslibt (clogging). De grotere deeltjes blokkeren de openingen van het geotextiel (blocking). Door de grotere deeltjes worden tevens de fijnere deeltjes tegen gehouden waardoor een slecht doorlatende laag onder het geotextiel wordt opgebouwd (blinding). Hierdoor neemt het filtratievermogen van het geotextiel af wat tevens een oorzaak kan zijn voor het ontstaan van over- en onderdrukken wat afschuiving en opdrijving als gevolg kan hebben. De glooiingsconstructie is constant onderhevig aan hydraulische invloeden zoals waterstromingen en golfklappen waardoor dit faalmechanisme vaak bij deze constructies voorkomt.

Faalmechanismen ten gevolge van de geotechnische belastingen op vooroeverconstructies zijn:

- **Afschuiven van de toplaag of de toplaag en het geotextiel:**
Ook dit faalmechanisme is een combinatie van de geotechnische- en hydraulische belastingen die van invloed zijn op het geotextiel. Door zettingen, golfslag en –stromingen kan de toplaag gaan bewegen waardoor deze over het geotextiel afschuift. Het kan ook voorkomen dat het geotextiel met de toplaag mee afschuift. Wanneer dit gebeurt is de beschermingsconstructie weg en neemt de bezwijkkans van de dam of dijk aanzienlijk toe.
- **Verandering openingsgrootte o.i. van trekbelasting:**
Als gevolg van de geotechnische belastingen zoals zettingen kan scheurvorming van het geotextiel ontstaan. Bij het niet scheuren van het geotextiel wordt het geotextiel wel zodanig uit elkaar getrokken dat de openingsgrootte van het geotextiel verandert waardoor effecten als blocking, blinding en clogging kunnen optreden. Hierdoor wordt het filtratievermogen gereduceerd waardoor over- en onderdrukken kunnen ontstaan. Verandering van de openingsgrootte kan ook leiden tot het toenemen van de grootte wat erosie van de onderliggende laag tot gevolg kan hebben.

1.3.3 Randvoorwaarden

In tabel 4.1 is aangegeven dat in de gebruiksfase alleen hydraulische en geotechnische invloeden van toepassing zijn op de constructie die kunnen zorgen voor het falen van deze constructie. Aan de hand van de belastingen en faalmechanismen kunnen er randvoorwaarden opgesteld worden die van invloed zijn op het ontwerp. De randvoorwaarden zullen leiden tot de eisen van een geschikt ontwerp van het geotextiel, waaraan het toe te passen geotextiel aan dient te voldoen. De randvoorwaarden dienen door middel van onderzoek op de projectlocatie te worden bepaald. Voor de beschrijving van de randvoorwaarden wordt verwezen naar paragraaf 1.1.3.

1.3.4 Eisen

Het geotextiel wat zal moeten worden toegepast als filterconstructie in een dijk of dam, dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn volgens de werkende belastingen en faalmechanismen van de vooroeverconstructie. De eisen die zijn opgesteld aan de hand van de vooroeverconstructie in de eindfase voor de eigenschappen van het geotextiel zijn hieronder weergegeven.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van hydraulische belastingen op vooroeverconstructies zijn:

- **Gronddichtheid:**
Het geotextiel in de filterconstructie heeft als uitgangspunt dat slechts een zeer klein deel van het basismateriaal mag uitspoelen, hiervoor dient de vereiste poriegrootte (O_{90}) te worden bepaald.
- **Waterdoorlatendheid:**
Het geotextiel dient een zodanige waterdoorlatendheid te bevatten dat het geen belemmering vormt voor de stroming door de constructie. Is er echter onvoldoende doorlatendheid voor het uittredend water, zal dit instabiliteit van het talud veroorzaken.
- **Levensduur:**
De levensduur van geotextiel wordt voornamelijk bepaald door de duurzaamheid. De eigenschappen van het geotextiel kunnen in de loop der jaren veranderen. Duurzaamheid van het geotextiel houdt in dat het geotextiel voldoende bestand dient te zijn tegen externe invloeden gedurende gebruiksfase, zodanig dat de functie in tact blijft. De externe invloeden zijn oxidatie, hydrolyse, chemische en bacteriologische aantasting, mechanische beschadiging en kruip en/of relaxatie.

Eisen ten gevolge van de randvoorwaarden met betrekking van geotechnische belastingen op vooroeverconstructies zijn:

- **Rekvermogen:**
Tijdens de gebruiksfase dient de gronddichtheid en waterdoorlatendheid van het geotextiel te worden gewaarborgd. Het geotextiel zal hierdoor voldoende rekbaar moeten zijn om vervorming te kunnen aanvaarden zonder te grote veranderingen van de openingsgrootte en zonder te grote beschadigingen.
- **Treksterkte:**
Om ontoelaatbare vervormingen te voorkomen, voornamelijk bij steilere taluds, dient het geotextiel voldoende stijfheid en sterkte te bevatten. Het gaat hier met name om veranderingen van de openingsgrootte van het geotextiel.
- **Levensduur:**
Zie eisen gesteld ten gevolge van de hydraulische belastingen.
- **Doorponsweerstand:**
Ten gevolge van zettingen en deformatie van de harde toplaag is doorponsing mogelijk, bijvoorbeeld door doorponsing van de toplaag. Het geotextiel dient hier tegen bestand te zijn.
- **Slijtsterkte:**
Het geotextiel dient bestand te zijn tegen schuring als gevolg van geotechnische invloeden.

2. Eisen n.a.v. uitvoering

Voor het aanbrengen van geotextielen in de kust- en oeververdediging zijn een tweetal uitvoeringsmethodes toepasbaar, dit betreft uitvoering in den natte en uitvoering in den droge. De eisen die gesteld zijn aan het geotextiel gedurende de uitvoering in den natte en in den droge zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.2.

Tabel 4.2: Totstandkoming eisen uit uitvoering

Uitvoeringsmethode	Optredende belastingen	Faalmechanismen	Randvoorwaarden	Eisen
Uitvoering in den natte	- Belastingen tijdens transport.	- Het bezwijken van het geotextiel tijdens trekken van de zate; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens transport over water;	- Transport condities (vaarsnelheid, bevestiging zinkstuk aan sleepboot, golfrichting, windrichting, het te waterlaten, etc.);	- Treksterkte; - Opslag- en transportaspecten.
	- Belastingen tijdens installatie (geotextiel en steenbekleding gezamenlijk aanbrengen).	- Perforatie van het geotextiel; - Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten; - Beschadiging tijdens installatie; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, verdichtingsgraad, verzadiging ondergrond, etc.); - Aan te brengen beschermende toplaag (gewicht en vorm van steen, valhoogte, etc.); - Installatie condities (diepte water, methode van installatie, etc.)	- Perforatie weerstand; - Treksterkte; - Rekvermogen; - Slijtsterkte; - Uitvoeringsaspecten.
Uitvoering in den droge	- Belastingen tijdens transport en opslag.	- Het bezwijken van het geotextiel door handelen materieel.	- Aspecten op bouwlocatie (vlakke opslag, juiste transport wijzen, UV-straling).	- Opslag- en transportaspecten.
	- Belastingen tijdens installatie geotextiel.	- Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten; - Bezwijken tijdens installatie (door handelen van de kraan, etc); - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, verdichtingsgraad, verzadiging ondergrond, etc.) - Aan te brengen beschermende toplaag (gewicht en vorm van steen, valhoogte, etc.) - Installatie condities (methode van installatie, toepassingsgebied, etc.)	- Doorpons weerstand; - Treksterkte; - Rekvermogen; - Slijtsterkte; - Uitvoeringsaspecten.
	- Belastingen tijdens aanbrengen steen bekleding.	- Perforatie van het geotextiel; - Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten; - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek. - Bezwijken tijdens installatie (door handelen van de kraan, etc);	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, verdichtingsgraad, verzadiging ondergrond, etc.); - Aan te brengen beschermende toplaag (gewicht en vorm van steen, valhoogte, etc.); - Installatie condities (methode van installatie, toepassingsgebied, etc.).	- Perforatie weerstand; - Doorpons weerstand; - Treksterkte; - Rekvermogen; - Slijtsterkte; - Uitvoeringsaspecten.
	- Belasting tijdens overige werkzaamheden (bouwverkeer)	- Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten; - Bezwijken tijdens installatie (door handelen van de kraan, etc); - Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek.	- Bodemgesteldheid (korrelverdeling, verdichtingsgraad, verzadiging ondergrond, etc.); - Belastingen van overig materieel (massa's bouwverkeer, grootte en massa's funderingsconstructies bij aanbrengen damwand, etc).	- Doorpons weerstand; - Treksterkte; - Rekvermogen; - Slijtsterkte; - Uitvoeringsaspecten.

2.1 Uitvoering in den natte

Uitvoering in den natte wordt voornamelijk toegepast bij het aanbrengen van geotextielen op een vooroeverconstructie, er wordt een zinkstuk geprefabriceerd waarna deze getransporteerd wordt over het water naar plaats van verwerking en vervolgens wordt afgezonken. Eisen die worden gesteld aan het geotextiel tijdens uitvoering in den natte zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.2. In deze tabel worden eisen bepaald uit de randvoorwaarden die gelden bij de faalmechanismen die veroorzaakt worden door de optredende belastingen op de constructie.

2.1.1 Optredende belastingen

De optredende belastingen die van werking zijn tijdens de uitvoering in den natte zijn belastingen die optreden tijdens het transport van een zinkstuk en belastingen die optreden tijdens de installatie van het zinkstuk. De optredende belastingen zijn hieronder weergegeven.

- *Belastingen tijdens transport:*
 Het zinkstuk wordt geprefabriceerd op een zate, waarna het vervolgens naar de plaats van verwerking wordt getransporteerd. Echter zal gedurende het transport het zinkstuk onderhevig worden aan optredende belastingen. Het zinkstuk zal na prefabricage van de zate af moeten worden gesleept, hierbij zal het zinkstuk of van een vlakke ondergrond of van een ondergrond onder een helling worden getrokken wat wrijvingskrachten voortbrengt. Vervolgens dient het zinkstuk door het water naar plaats van verwerking worden getransporteerd waarbij het zinkstuk weerstand moet bieden tegen waterverplaatsing. De belastingen gedurende het transport hebben een grote impact op de eigenschappen en de condities van het geotextiel.
- *Belastingen tijdens installatie:*
 Na transport van het zinkstuk, dient het geotextiel geïnstalleerd te worden op de toegewezen plaats van verwerking. Het zinkstuk wordt afgezonken door bestorting van waterbouwsteen vanaf het water, onder begeleiding van lieren. Gedurende dit proces is het zinkstuk onderhevig aan verschillende belastingen, zoals de krachten afkomstig van het te storten waterbouwsteen. De belastingen gedurende de installatie hebben een grote invloed op de eigenschappen en condities van het geotextiel.

2.1.2 Faalmechanismen

Om een geotextiel toe te passen dat niet zal falen tijdens de uitvoering, zal het geotextiel bestand moeten zijn tegen de mogelijke faalmechanismen. De faalmechanismen die in beeld zijn gebracht, worden veroorzaakt door de belastingen die optreden tijdens de uitvoering in den natte. De faalmechanismen die gelden voor de uitvoering in den natte zijn hieronder beschreven:

- *Het bezwijken van het zinkstuk (geotextiel) tijdens trekken van de zate;*
 Na prefabricage van het zinkstuk op een zate, dient het zinkstuk van de zate te worden getrokken in het water. Tijdens het te water trekken komen dusdanige trekkrachten vrij, om het zinkstuk onder invloed van een wrijvingscoëfficiënt te water te laten, dat kan leiden tot bezwijken van het zinkstuk.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens transport over water;*
 Nadat het zinkstuk van de zate in het water is verplaatst zal deze over het water naar de locatie van verwerking worden getransporteerd. Tijdens het transport ondervindt het zinkstuk dusdanig grote trekkrachten, dat kan leiden tot bezwijken van het zinkstuk.
- *Perforatie van het geotextiel:*
 Het afzinken van het zinkstuk op een vooroeververdediging geschiedt meestal door op een gecontroleerde wijze waterbouwsteen op het zinkstuk te storten, bij niet gecontroleerd storten van het waterbouwsteen op het zinkstuk kan perforatie van het geotextiel optreden. Ook kan het waterbouwsteen dat wordt toegepast een scherphoekige vorm bevatten, dat leidt tot perforatie van het geotextiel.

- *Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten:*
Zowel tijdens de installatie als het transport van het zinkstuk, kan het geotextiel aan dusdanige trekkrachten worden ondervonden dat het geotextiel na een aanzienlijke tijd zal bezwijken. Dit kan ontstaan bij hoge trekkrachten tijdens transport of bij ongecontroleerd storten zoals bulk storten wat zal leiden tot scheuren van het geotextiel.
- *Beschadiging tijdens installatie:*
Gedurende de installatie van het zinkstuk kunnen er zodanige verkeerde handelingen worden uitgevoerd, wat leidt tot beschadiging van het geotextiel. Bijvoorbeeld bij niet gecontroleerd storten, waardoor het zinkstuk knikt en het zal dubbelklappen.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
Tijdens het storten van het stortsteen, zal er indrukking van ondergrond door waterbouwsteen ontstaan. Tijdens dit proces dient het zinkstuk mee te vervormen met de ondergrond, om zo in contact te blijven met de onderliggende basislaag. Indien het niet voldoende kan mee vervormen zal het geotextiel scheuren en dus bezwijken.

2.1.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn van invloed op het ontwerp, die gebaseerd zijn op de mogelijke faalmechanismen van het geotextiel tijdens de uitvoering. De randvoorwaarden voor de uitvoering in den natte voor het opstellen van eisen ten behoeve van geotextiel zijn.

Belastingen tijdens transport:

- *Transport condities:*
Gedurende het transport van het zinkstuk naar de plaats van installatie, ondergaat het geotextiel een aantal handelingen. Tijdens de verplaatsing is het zinkstuk onderhevig aan stroming, vaarsnelheid, de overbrenging van de krachten van de sleepboot naar het zinkstuk, etc.

Belastingen tijdens installatie:

- *Bodemgesteldheid:*
Zo is de weerstand tegen perforatie van het geotextiel afhankelijk van de verdichtingsgraad van de ondergrond, de vlakheid en de oneffenheden (zoals oude bestortingen).
- *Aan te brengen beschermende toplaag:*
Voor het ontwerpen van het geotextiel en de daarbij behorende eisen die opgesteld worden aan de eigenschappen van het geotextiel is de aan te brengen beschermende toplaag ofwel het te storten granulaire materiaal op het zinkstuk zeer belangrijk. Het geotextiel kan bezwijken onder de krachten die geleverd worden tijdens het afzinkproces.
- *Installatie condities:*
Naast de randvoorwaarden bodemgesteldheid en de aan te brengen beschermende toplaag zijn de installatie condities van invloed op de eisen betreffende de eigenschappen van de geotextielen. De belastingen op het geotextiel zijn namelijk afhankelijk van de methode van uitvoering; moet het geotextiel een op een grote diepte worden aangebracht of wordt het aangebracht op een geringe diepte.

2.1.4 Eisen uitvoering

Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in een dijk of dam, dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn tijdens de uitvoering in den natte. Deze eisen houden rekening met de optredende belastingen en faalmechanismen en zijn tot stand gekomen op basis van randvoorwaarden. De eisen die zijn opgesteld op basis van uitvoering in den natte voor de eigenschappen van het geotextiel zijn hieronder weergegeven.

Eisen tijdens het transport:

- *Treksterkte:*
Het zinkstuk dient een dusdanige trek te ondergaan dat er gedurende het te water trekken vanaf de zate en het transport naar de plaats van verwerking geen schade ontstaat en dat de eigenschappen niet verslechteren.
- *Opslag- en transportaspecten:*
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van het transport van het zinkstuk, worden opgesteld op basis van de opslag- en transportaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

Voor eisen tijdens de installatie:

- *Perforatie weerstand:*
Tijdens het afzinken van het zinkstuk op een vooroever moet er gecontroleerd waterbouwsteen op het zinstuk worden gestort, indien er ongecontroleerd waterbouwsteen op het zinkstuk wordt gestort (bulk storten) is er een grote kans op perforeren. Ook wanneer het waterbouwsteen een dusdanige scherphoekige vorm bevat kan dit een gat veroorzaken in het geotextiel, er dient een eis te worden gesteld aan de valenergie die vrijkomt bij het treffen van het zinkstuk.
- *Treksterkte:*
Het zinkstuk dient een dusdanige treksterkte te hebben dat het tijdens de installatie van het zinkstuk weerstand kan bieden tegen de krachten afkomstig van het te storten waterbouwsteen.
- *Rekvermogen:*
Het zinkstuk dient een zodanig rek op te kunnen nemen, dat het gedurende het aanbrengen van waterbouwsteen kan mee vervormen met de ondergrond.
- *Slijtsterkte:*
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen schuring tijdens het bestorten van het zinkstuk met granulaair materiaal.
- *Uitvoeringsaspecten:*
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van de installatie van het zinkstuk, worden opgesteld op basis van de opslag- en transportaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

2.2 Uitvoering in den droge

Bij uitvoering in den droge wordt het geotextiel direct vanaf de rol op de plaats van verwerking geïnstalleerd en vervolgens aangevuld met de steenbekleding. Eisen die worden gesteld aan het geotextiel tijdens uitvoering in den droge zijn opgesteld aan de hand van tabel 4.2. In deze tabel worden eisen bepaald uit de randvoorwaarden die gelden bij de faalmechanismen die veroorzaakt worden door de optredende belastingen op de constructie.

2.2.1 Optredende belastingen

De belastingen tijdens de uitvoering in den droge zijn belastingen die optreden tijdens het transport en opslag van de rollen geotextiel, belastingen die optreden tijdens de installatie van het geotextiel en belastingen die optreden tijdens het aanbrengen van de steenbekleding. De optredende belastingen zijn hieronder weergegeven.

- *Belastingen tijdens transport en opslag:*
Tijdens het transport en opslag dient er op de juiste wijze te worden gehandeld met betrekking tot de waarborging van de eigenschappen van het geotextiel. Een op een rol gewikkeld geotextiel kan op een aantal manieren worden getransporteerd, de te kiezen manier van transporteren tijdens de uitvoering is de beslissing van de uitvoerder. Dit geldt ook voor de opslag van de rollen geotextiel. In de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen

in de waterbouw" [1] zijn de uitvoeringsaspecten beschreven met de juiste manier van handelen waarbij de kwaliteit van het geotextiel wordt gewaarborgd tijdens transport en opslag. De belastingen tijdens transport en opslag stellen geen specifieke eisen aan het geotextiel, hier dient echter wel rekening mee te worden gehouden tijdens de uitvoering. Wanneer er tijdens transport en opslag niet volgens de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1] wordt gehandeld zal de levensduur van het geotextiel afnemen en kunnen er beschadigingen optreden.

- *Belastingen tijdens installatie:*
Tijdens de installatie van het geotextiel op de plaats van verwerking wordt het geotextiel blootgesteld aan bepaalde belastingen. De verwerking van het geotextiel vindt plaats met een graafmachine en een evenaar, hierbij valt voor te stellen dat een manoeuvre van de kraan grote schade aan kan richten aan het geotextiel. Tijdens de installatie is het geotextiel onderhevig aan verschillende belastingen die van invloed zijn op de eigenschappen van het geotextiel, zo spreekt het voor zich dat als de kraan met zijn bak het geotextiel raakt het geotextiel direct is beschadigd.
- *Belastingen tijdens aanbrengen steenbekleding:*
Gelijktijdig met de installatie van het geotextiel wordt de steenbekleding aangebracht. Tijdens het aanbrengen van de steenbekleding dient het geotextiel bestand te zijn tegen belastingen afkomstig van de steenbekleding. De belastingen gedurende het aanbrengen van de steenbekleding hebben een grote impact op de eigenschappen van het geotextiel.
- *Belastingen tijdens overige werkzaamheden (groot materieel):*
Gedurende de gehele uitvoeringsperiode is er groot materieel aanwezig op de bouwlocatie. Het groot materieel kan door over de aangebrachte steenbekleding te manoeuvreren, een belasting leveren die kan leiden tot bezwijken van het geotextiel. Het geotextiel dient daarom bestand te zijn tegen krachten afkomstig van groot materieel.

2.2.2 Faalmechanismen

Om een geotextiel toe te passen dat niet zal falen tijdens de uitvoering, zal het geotextiel bestand moeten zijn tegen de mogelijke faalmechanismen. De faalmechanismen die gelden voor de uitvoering in den droge zijn hieronder beschreven:

- *Het bezwijken van het geotextiel door handelen materieel:*
Gedurende het transport en opslag van het geotextiel, kan het geotextiel onderworpen worden aan dusdanige ruwe omgang dat het geotextiel niet de functie kan waarborgen waarvoor het is bedoeld.
- *Het bezwijken van het geotextiel door trekkrachten:*
Tijdens de installatie van het geotextiel, kan het geotextiel aan dusdanige trekkrachten worden ondervonden dat het geotextiel na een aanzienlijke tijd zal bezwijken. Trekkrachten kunnen ontstaan tijdens het op de juiste plaats aanbrengen van het geotextiel
- *Bezwijken tijdens installatie (door handelen van de kraan):*
Tijdens de installatie van het geotextiel kunnen er zondanige verkeerde handelingen worden uitgevoerd dat het geotextiel beschadigd.
- *Het bezwijken van het geotextiel tijdens vervorming, door rek:*
Tijdens het aanbrengen van de steenbekleding, wordt er indrukking van de ondergrond veroorzaakt door de steenbekleding zelf en door manoeuvreren van de kraan over de steenbekleding. Tijdens dit proces dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond, om zo in contact te blijven met de onderliggende basislaag. Indien het niet voldoende kan mee vervormen zal het geotextiel scheuren en dus bezwijken.
- *Perforatie van het geotextiel:*
Gelijktijdig met de installatie van het geotextiel wordt de steenbekleding aangebracht. De steenbekleding kan uit materiaal bestaan met een scherphoekige vorm of aangebracht worden met een dusdanige valhoogte dat leidt tot perforatie van het geotextiel.

2.2.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn van invloed op het ontwerp, dat gebaseerd is op de mogelijk optredende faalmechanismen van het geotextiel tijdens de uitvoering. De randvoorwaarden zullen leiden tot de eisen van een robuuste en eenduidige ontwerpmethodiek voor het ontwerp van het geotextiel.

Belastingen tijdens transport:

- *Aspecten op de bouwplaats:*
Gedurende het transport en opslag van het geotextiel op de bouwplaats, wordt het geotextiel aan een aantal uitvoeringsaspecten onderworpen. Bijvoorbeeld een juiste manier van opslaan en een juiste manier van transporteren op de bouwplaats.

Belastingen tijdens uitvoering (zowel bij installatie geotextiel als aanbrengen steenbekleding):

- *Bodemgesteldheid:*
Zo is de weerstand tegen perforatie van het geotextiel afhankelijk van de verdichtingsgraad van de ondergrond, de vlakheid en de oneffenheden (zoals oude bestortingen).
- *Aan te brengen beschermende toplaag:*
Voor het ontwerpen van het geotextiel en de daarbij behorende eisen die opgesteld worden aan de eigenschappen van het geotextiel is de aan te brengen beschermende toplaag zeer belangrijk. Het geotextiel kan bezwijken onder de krachten die geleverd worden tijdens het aanbrengen van de steenbekleding.
- *Installatie condities:*
Naast de randvoorwaarden bodemgesteldheid en de aan te brengen beschermende toplaag zijn de installatiecondities van invloed op de eisen voor de eigenschappen van de geotextielen. De eigenschappen van het geotextiel zijn namelijk afhankelijk van de methode van uitvoering; moet het geotextiel op de glooiingsconstructie of op de kreukelberm worden aangebracht.
- *Belastingen van overig materieel:*
Gedurende de gehele uitvoeringsfase kan het geotextiel onderhevig zijn aan belastingen afkomstig van groot materieel, door bijvoorbeeld over de steenbekleding te manoeuvreren of tijdens handeling waarbij de bak het geotextiel zal raken.

2.2.4 Eisen uitvoering

Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in een dijk of dam, dient te voldoen aan de eisen die gesteld zijn tijdens de uitvoering in den droge. Deze eisen houden rekening met de optredende belastingen en faalmechanismen en zijn tot stand gekomen op basis van de randvoorwaarden, zie tabel 4.2. De eisen die zijn opgesteld op basis van uitvoering in den droge voor de eigenschappen van het geotextiel zijn hieronder weergegeven.

Eisen tijdens het transport:

- *Opslag- en transportaspecten:*
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van het transport en opslag van het geotextiel, worden opgesteld op basis van de opslag- en transportaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

Eisen tijdens de installatie van het geotextiel:

- *Doorpons weerstand:*
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen doorpons krachten afkomstig van het groot materieel die over de steenbekleding manoeuvreren, waardoor het niet gelijk zijn functie verlies.
- *Treksterkte:*
Het geotextiel dient een dusdanige treksterkte te hebben dat het tijdens de installatie weerstand kan bieden tegen de krachten afkomstig van de kraan.

- **Rekvermogen:**
Het geotextiel dient een zodanig rekvermogen te hebben dat het tijdens indrukking van de ondergrond, kan mee vervormen met de ondergrond.
- **Slijtsterkte:**
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen schuring tijdens het aanbrengen van het geotextiel op de plaats van verwerking. Er kan namelijk aan het geotextiel getrokken worden om het op de juiste plaats te krijgen, hierbij mag het geotextiel niet bezwijken.
- **Uitvoeringsaspecten:**
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van de installatie van het geotextiel, worden opgesteld op basis van de uitvoeringsaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

Eisen tijdens het aanbrengen van de steenbekleding:

- **Doorpons weerstand:**
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen doorpons krachten afkomstig van het groot materieel die over de steenbekleding manoeuvreren, waardoor het niet gelijk zijn functie verlies.
- **Perforatieweerstand:**
Tijdens het aanbrengen van de steenbekleding op het geotextiel dient het geotextiel bestand te zijn tegen perforatie door de harde bekleding. Dit kan optreden bij scherphoekige steenbekleding.
- **Treksterkte:**
Het geotextiel dient een dusdanige treksterkte te hebben dat het tijdens het aanbrengen van de steenbekleding het geotextiel weerstand kan bieden tegen de krachten afkomstig van het aanbrengen van de steenbekleding.
- **Rekvermogen:**
Het geotextiel dient een zodanig rekvermogen te hebben dat het tijdens indrukking van de ondergrond, kan mee vervormen met de ondergrond.
- **Slijtsterkte:**
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen schuring tijdens het aanbrengen van de steenbekleding op het geotextiel op de plaats van verwerking. De steenbekleding zal door het gewicht willen afschuiven, wat leidt tot schuring over het geotextiel of het schuurt gezamenlijk met het geotextiel af over de ondergrond. Hierbij mag het geotextiel niet bezwijken.
- **Uitvoeringsaspecten:**
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van het aanbrengen van de steenbekleding op het geotextiel, worden opgesteld op basis van de uitvoeringsaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

Eisen tijdens het aanbrengen van de steenbekleding:

- **Doorpons weerstand:**
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen doorpons krachten afkomstig van het groot materieel die over de steenbekleding manoeuvreren, waardoor het niet gelijk zijn functie verlies.
- **Treksterkte:**
Het geotextiel dient een dusdanige treksterkte te hebben dat het bij een verkeerde handeling van een kraan niet direct zal bezwijken.
- **Rekvermogen:**
Het geotextiel dient een zodanig rekvermogen te hebben dat het tijdens indrukking van de ondergrond door groot materieel, kan mee vervormen met de ondergrond.

- *Slijtsterkte:*
Het geotextiel dient weerstand te bieden tegen schuring tijdens het manoeuvreren van groot materieel over de steenbekleding. De steenbekleding zal namelijk door het gewicht willen afschuiven, dat leidt tot schuring over het geotextiel.
- *Uitvoeringsaspecten:*
De eisen die zijn gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel ten behoeve van het manoeuvreren van het groot materieel op de steenbekleding, worden opgesteld op basis van de uitvoeringsaspecten die staan in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [1].

Literatuur

1. CURNET. (2011). *CUR- rapport 115: 'Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw'*. Gouda: Stichting CUR.

Bijlage 5. Controle op het project "Abraham Wissepolder"

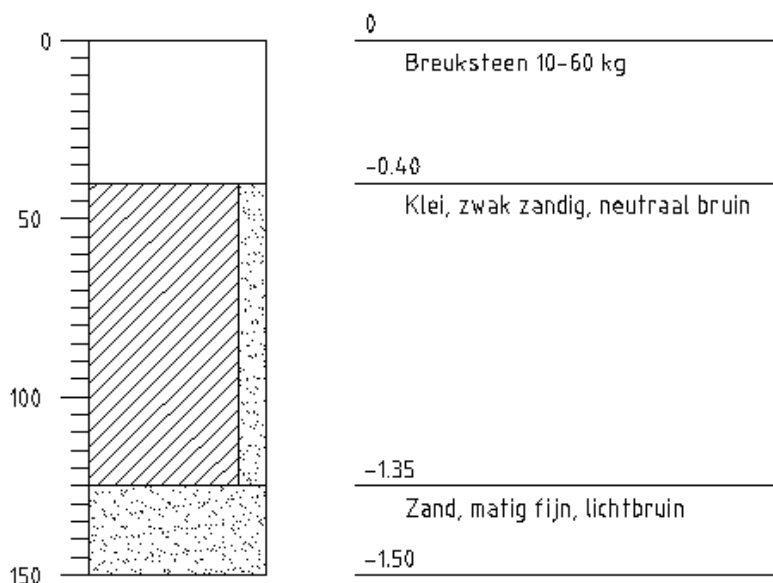
1. Kreukelberm

In dit deel van de bijlage, wordt de controle op de kreukelberm van het project Abraham Wissepolder uitgevoerd. Eerst dient hier met behulp van de nieuwe ontwerprichtlijn eisen te worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel, waarop een aantal geotextielen worden gekozen. Vervolgens wordt er ingegaan op de afwegingsaspecten, waarop de verschillende geotextielen op worden afgewogen. Hierna zal er ingegaan worden op de eigenschappen van de geotextielen en de eisen die gesteld zijn, waarop de score kan worden gebaseerd. De scores van de geotextielen en de afwegingsaspecten worden vervolgens in een Multicriteria analyse ingevuld, waaruit het meest geschikte geotextiel uit volgt. Tot slot volgt er een conclusie waarin wordt aangegeven bij welke omstandigheden of belastingen het geotextiel zal voldoen tijdens de uitvoering.

1.1 Ontwerp geotextiel

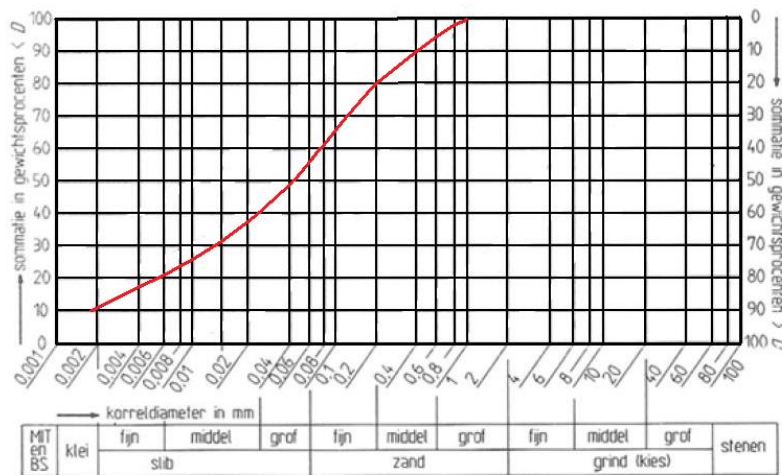
De kreukelberm bestaat uit breuksteen dat wordt aangebracht op een geokunststof. Dit beschermt de teen van de bekleding tegen erosie en ondersteunt de bekleding. Het geotextiel dat wordt toegepast dient op basis van robuustheid bestand te zijn tegen perforatie en doorpons en zal moeten beschikken over een rekvermogen om mee te kunnen vervormen met de ondergrond. Tevens dient het geotextiel ook over een treksterkte te beschikken die tijdens afschuiving van de steenbekleding zorg draagt voor het niet bezwijken. Op basis van functionaliteit dient het geotextiel grond dicht te zijn om uitspoeling te voorkomen en waterdoorlatend om wateroverdrukken te vermijden.

Voor het stellen van eisen aan de robuustheid is er een grondonderzoek uitgevoerd, de boorstaat is weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1: Boorstaat klei, sterk zandig

Voor het stellen van eisen aan de functionaliteit is een graderingskromme noodzakelijk, deze is weergegeven in figuur 5.2.



Figuur 5.2: Graderingskromme klei, sterk zandig

1.1.1 Perforatie weerstand

De perforatie weerstand zal bepaald worden voor uitvoering in den droge, de kreukelberm bevindt zich namelijk boven de laagwaterlijn dus is het mogelijk om met behulp van een rupsgraafmachine de waterbouwsteen aan te brengen. De kreukelberm kan echter verdeeld worden in twee delen: het 1^e deel is het laagst gelegen, is vlak aangebracht en bevat breuksteen met sortering 40-200 kg en het 2^e deel is het hoogst gelegen, ligt onder een hellingshoek en bevat breuksteen met een sortering 10-60 kg. Beide situaties zullen worden berekend, waarbij vervolgens de situatie waaruit de grootste val energie volgt maatgevend is. De benodigde gegevens voor het bepalen van de valenergie tijdens het aanbrengen van de waterbouwsteen zijn weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1: Parameters voor het bepalen van de valenergie

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
C_r	Reductie factor ondergrond	1	Omdat er bij het bodemonderzoek geen onderzoek is gedaan naar de CBR waarde. Wordt verondersteld: omdat het gaat om een klei laag, dat de CBR waarde tussen de 0-20 zit, dit geeft een reductiefactor van 1.
C_s	schadefactor bij bulkbestorting	1,2	Geen schade gewenst, hierbij geldt de factor 1,2.
D_{10-60}	Maximale D_{85} van de steen sortering 10-60	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
D_{40-200}	Maximale D_{85} van de steen sortering 40-200	0,53 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
E_N	Valenergie loodrecht op het geotextiel	Nm	Berekenen met behulp van formule
h_{val}	Valhoogte steen	1 m 2 m	<i>Onderste deel:</i> Uitgaande van een valhoogte van 1 meter, een valhoogte van 2 meter zou absurd hoog zijn, de kreukelberm is namelijk vlak en de breuksteen is dusdanig zwaar waarbij 2 meter onrealistisch is. Als eis stellen tijdens uitvoering een max. valhoogte van 1 meter. <i>Bovenste deel:</i> Uitgaande van een valhoogte van 2 meter, dit omdat de constructie onder een helling is aangebracht en de steensortering heeft geen zwaar gewicht.
M_{10-60}	Maximale M_{85} van de steen sortering 10-60	78 kg	Volgens de NEN-EN-ISO-13383, maximale M_{85} van de steen sortering
M_{40-200}	Maximale M_{85} van de steen sortering 40-200	238 kg	Volgens de NEN-EN-ISO-13383, maximale M_{85} van de steen sortering
α	Hellingshoek	1 17,9°	Onderste deel: Kreukelberm is niet onder een hellingshoek, dit geeft voor $\cos(1)=1$. Bovenste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling 17,9°, afgeleid uit tekening.

De valenergie die loodrecht op het geotextiel werkt kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 10-60 kg:

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 78 * 9,81 * 2 * 1 * \cos(17,9) = 1820 \text{ Nm}$$

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 40-200 kg:

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 238 * 9,81 * 1 * 1 * 1 = 2918 \text{ Nm} \rightarrow \text{Maatgevende valenergie}$$

Op dit moment hanteren de leveranciers voor de perforatieweerstand van het geotextiel een maximaal gat diameter. Terwijl de ontwerprichtlijn een eis stelt aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen. Omdat er in Nederland nog nooit eisen zijn gesteld aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen is dit ook een logische benadering. Nu er in deze ontwerprichtlijn een eis is gesteld aan de valenergie, zal dit ook in de loop van de tijd aangetoond moeten gaan worden door de leveranciers om geotextielen te kunnen leveren die voldoen aan deze eis.

Om enige inzicht te krijgen in de perforatieweerstand zal om deze reden de formule van "Lawson" worden gehanteerd, hierbij moet vermeld worden dat deze formule enkel een inschatting geeft maar geen eis stelt. Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte. De minimale massa van het geotextiel is:

Bepalen minimaal benodigd gewicht bij breuksteen sortering van 10-60 kg:

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,37 = 630 \text{ g/m}^2$$

Bepalen minimaal benodigd gewicht bij breuksteen sortering van 40-200 kg:

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 1^{0,5} * 0,53 = 640 \text{ g/m}^2 \rightarrow \text{Maatgevend minimaal gewicht}$$

1.1.2 Doorpons weerstand

De doorpons weerstand van het geotextiel zal bepaald worden voor breuksteen, de kreukelberm is namelijk opgebouwd uit breuksteen met een sortering van 40-200 kg en breuksteen met een sortering van 10-60 kg. De doorpons krachten die hierop werken worden veroorzaakt door de neerwaartse belasting afkomstig van groot materieel en golfslag. De situatie met breuksteen 40-200 is niet onder een helling aangebracht, dit betekent dat hier enkel doorponskracht afkomstig van groot materieel op van werking is. De situatie met breuksteen 10-60 is echter wel onder een helling aangebracht, dit betekent dat hier doorponskracht afkomstig van zowel groot materieel als golfslag invloed uitoefent op de constructie. De drie situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste doorpons kracht is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de doorpons kracht zijn weergegeven in tabel 5.2.

Tabel 5.2: Parameters voor het bepalen van de doorponskracht

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
-	Rupsbreedte	0,5 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]
-	Rupslengte	3,648 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]
C_{golf}	Dempingsfactor golfslag	1	Toplaag direct aangebracht op ondergrond
d	Breedte van de breuksteen sortering 40-200 kg ter plaatse van het grensvlak geotextiel	0,265 m	$d = 0,5 * D$
d	Breedte van de breuksteen sortering 10-60 kg ter plaatse van het grensvlak geotextiel	0,185 m	$d = 0,5 * D$
D_{10-60}	Maximale D_{85} van de steen sortering 10-60	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
D_{40-200}	Maximale D_{85} van de steen sortering 40-200	0,53 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
F_R	Doorponskracht	kN	Berekenen met behulp van formule
F_{rups}	Belastingafdracht graafmachine aan één rupsband	kN	Berekenen met behulp van formule
h	Laagdikte breuksteen	0,7 m	Afgeleid van tekening: zie tekening "Controle project Willempolder, Abraham Wissepolder".
H_s	Significante golfhoogte	1,9 m	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota "Willempolder Abraham Wissepolder") [2]
m	Massa graafmachine	22,500 kg	Afkomstig van liebherr R906 [1], eis stellen aan maximum gewicht van de graafmachine voor het manoeuvreren over de bekleding
$P_{Neerwaarts}$	Bovenbelasting, inclusief gewicht breuksteen	kN/m^2	Berekenen met behulp van formule
$P_{Opwaarts}$	Reactiekracht van de ondergrond	$30 kN/m^2$	$P_{opwaarts} = F_{undr} * 0,75 = 40 * 0,75 = 30$: De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de F_{undr} is aangenomen, als eis wordt gesteld dat de ongedraineerde schuifsterkte van de kleilaag minimaal $40 kN/m^2$ moet zijn (anders zullen er dusdanige doorponskracht uit voorkomen die niet gedragen kunnen worden, door het geotextiel)
T_p	Golfperiode bij de piek van het golfspectrum	5,4 s	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota "Willempolder Abraham Wissepolder") [2]
α	Hellingshoek	$17,9^\circ$	Breksteen 10-60 kg bevindt zich onder een helling $17,9^\circ$, afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Willempolder, Abraham Wissepolder".
γ_s	Volumieke massa breuksteen	$26,5 kN/m^3$	Volgens de NEN-EN-13383, algemene gegevens
ρ_w	massadichtheid water	$1025 kg/m^3$	Massadichtheid van zoutwater

Bepalen doorponskracht afkomstig van groot materieel op breuksteen sortering van 10-60 kg:
De belastingafdracht aan één rupsband kan berekend worden met behulp van de formule:

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 22500 * 9,81 * 10^{-3} = 220,7 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg:

$$P_{N;mat} = \frac{F_{rups}}{rupsbreedte * rupslengte} + \gamma_s * h$$

$$P_{N,mat} = \frac{220,7}{0,5 * 3,648} + 26,5 * 0,4 = 131,6 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\cos(\alpha) * \frac{P_{Neerwaarts} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,185 * \left(\left(\cos(17,9) * \frac{131,6 * 0,37^2}{4 * 0,185} \right) - \left(\frac{30 * 0,185}{4} \right) \right) = 12,7 \text{ kN} \rightarrow \text{Maatgevende doorponskracht}$$

De trekkkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{Neerwaarts} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(17,9) * \left(\frac{131,6 * \pi * 0,37^2}{4} \right) = 4,35 \text{ kN}$$

Bepalen doorponskracht afkomstig van groot materieel op breuksteen sortering van 40-200 kg:

De belastingafdracht aan één rupsband kan berekend worden met behulp van de formule:

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 22500 * 9,81 * 10^{-3} = 220,7 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg:

$$P_{N,mat} = \frac{F_{rups}}{\text{rupsbreedte} * \text{rups lengte}} + \gamma_s * h$$

$$P_{N,mat} = \frac{220,7}{0,5 * 3,648} + 26,5 * 0,7 = 139,5 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\cos(\alpha) * \frac{P_{Neerwaarts} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,265 * \left(\left(\cos(0) * \frac{139,5 * 0,53^2}{4 * 0,265} \right) - \left(\frac{30 * 0,265}{4} \right) \right) = 25,8 \text{ kN}$$

De doorponskracht die hieruit voortkomt is zo extreem groot, dat het verstandiger is om een verbod te leggen op het manoeuvreren van groot materieel over de onderste 5 meter kreukelberm, dit is het gedeelte waar breuksteen sortering 40-200 kg is aangebracht.

De trekkkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{Neerwaarts} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(0) * \left(\frac{139,5 * \pi * 0,53^2}{4} \right) = 0 \text{ kN}$$

Bepalen doorponskracht afkomstig van golfslag op breuksteen sortering van 10-60 kg:

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met behulp van de formule:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_p^2}}}$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan(17,9)}{\sqrt{\frac{1,9}{1,561 * 5,4^2}}} = 1,58$$

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden met de volgende formule:

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{c_{golf}}$$

$$A_g = \frac{1,58}{1} = 1,58$$

De bovenbelasting geleverd door golfslag voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is:

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s * 10^{-3}$$

$$P_{golf} = 1,58 * 1025 * 9,81 * 1,9 * 10^{-3} = 30,2 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\frac{(P_{golf} + \gamma_s * h) * D^2}{4d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,185 * \left(\left(\frac{(30,2 + 26,5 * 0,7) * 0,37^2}{4 * 0,185} \right) - \left(\frac{30 * 0,185}{4} \right) \right) = 4,4 \text{ kN}$$

De trekkracht die geleverd wordt ten opzicht van de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{\sin(\alpha) * \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(17,9) * \left(\frac{\sin(17,9) * 26,5 * \frac{0,4}{\cos(17,9)} * \pi * 0,37^2}{4} \right) = 0,11 \text{ kN}$$

1.1.3 Rekvermogen

Het rekvermogen van het geotextiel is afhankelijk van zowel perforatie als doorpons, hierdoor dient te worden ontworpen op het rekvermogen onder invloed van perforatie met daarop komend een doorponskracht. De benodigde rek dient voor twee situaties bepaald te worden, dit zijn voor breuksteen met een sortering 10-60 kg en breuksteen met een sortering van 40-200 kg. Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste benodigde rek is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de benodigde rek zijn weergegeven in tabel 5.3.

Tabel 5.3: Parameters voor het bepalen van de benodigde rek

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
A _{steen}	Oppervlakte steen breuksteen sortering 40-200	0,221 m ²	$\frac{1}{4} * \pi * D^2 = \frac{1}{4} * \pi * 0,53^2 = 0,221 \text{ m}^2$
A _{steen}	Oppervlakte steen breuksteen sortering 10-60	0,108 m ²	$\frac{1}{4} * \pi * D^2 = \frac{1}{4} * \pi * 0,37^2 = 0,108 \text{ m}^2$
D ₁₀₋₆₀	Maximale D ₈₅ van de steen sortering 10-60 kg	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D ₈₅ van de steen sortering
D ₄₀₋₂₀₀	Maximale D ₈₅ van de steen sortering 40-200 kg	0,53 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D ₈₅ van de steen sortering
E _{surface}	Elasticiteitsmodulus van de ondergrond	3,5 * 10 ⁶ N/m ²	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3] waarna vervolgens op basis van NEN 6740 de elasticiteitsmodulus is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt)
F _N	Bovenbelasting gedragen door een enkele steen, inclusief gewicht steenbekleding	N	Berekenen met behulp van formule
P _{Neer}	Bovenbelasting, inclusief gewicht breuksteen sortering 40-200 kg	139,5kN/m ²	Bovenbelasting berekend bij doorpons kracht
P _{Neer}	Bovenbelasting, inclusief gewicht breuksteen sortering 10-60 kg	131,6kN/m ²	Bovenbelasting berekend bij doorpons kracht
Z	Indrukingsdiepte steenbekleding	m	Berekenen met behulp van formule
v _{surface}	Coëfficiënt van Poisson van de ondergrond	0,375	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], hieruit blijkt dat de onderlaag uit klei bestaat. De coëfficiënt van Poisson voor klei ligt tussen 0,3 en 0,45, hier is de gemiddelde waarde aangehouden.

Bepalen benodigde rek onder invloed van perforatie en doorpons ten opzichte van een breuksteen sortering van 10-60 kg:

De bovenbelasting P_{Neer} is berekend per m², omdat het hier gaat om een enkele steen dient de bovenbelasting per steen bepaald te worden, dit kan met behulp van de volgende formule:

$$F_N = P_{Neer} * A_{steen}$$

$$F_N = 131,6 * 0,108 = 14,2 \text{ kN}$$

De indrukking in klei is te bepalen met behulp van de volgende formule:

$$Z = 0,3 * D + \sqrt{\left(\frac{F_N * \pi * (1 - v_{surface}^2)}{2 * E_{surface} * \tan(26,57)}\right)}$$

$$Z = 0,3 * 0,37 + \sqrt{\left(\frac{14,2 * 10^3 * \pi * (1 - 0,375^2)}{2 * 3,5 * 10^6 * \tan(26,57)}\right)} = 0,216 \text{ m}$$

$$\begin{array}{lcl} \text{De verhouding is als volgt:} & \text{Lengte inklemming (0,75 D)} & \geq \text{Indrukking (Z)} \\ & 0,75 * 0,37 = 0,278 & \geq 0,216 \end{array}$$

Hierdoor kan de volgende formule worden aangehouden voor de lengte vervorming van het geotextiel:

$$\Delta L = D * \left(\frac{\pi}{180}\right) * 2 * \sin^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(z^2 + (0,75D)^2)}}{D}\right)$$

$$\Delta L = 0,37 * \left(\frac{\pi}{180}\right) * 2 * \sin^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(0,216^2 + (0,75 * 0,37)^2)}}{0,37}\right) = 0,366 \text{ m}$$

Het oppervlak bij vervorming van het geotextiel:

$$\Delta A = \pi * \Delta L^2 = \pi * 0,366^2 = 0,421 \text{ m}^2$$

Het oppervlak van het geotextiel in vlakke positie:

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi * Diameter^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5D)^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5 * 0,37)^2 = 0,242 \text{ m}^2$$

De rek van het geotextiel:

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% = \left(\frac{0,366}{0,242} - 1 \right) * 100\% = 51,2 \%$$

Bepalen benodigde rek onder invloed van perforatie en doorpons ten opzichte van een breuksteen sortering van 40-200 kg:

De bovenbelasting P_{Neer} is berekend per m^2 , omdat het hier gaat om een enkele steen dient de bovenbelasting per steen bepaald te worden, dit kan met behulp van de volgende formule:

$$F_N = P_{Neer} * A_{steen}$$

$$F_N = 139,5 * 0,221 = 30,8 \text{ kN}$$

De indrukking in klei is te bepalen met behulp van de volgende formule:

$$Z = 0,3 * D + \sqrt{\frac{F_N * \pi * (1 - \nu_{surface}^2)}{2 * E_{surface} * \tan(26,57)}}$$

$$Z = 0,3 * 0,53 + \sqrt{\frac{30,8 * 10^3 * \pi * (1 - 0,375^2)}{2 * 3,5 * 10^6 * \tan(26,57)}} = 0,313 \text{ m}$$

De verhouding is als volgt:	Lengte inklemming (0,75 D)	\geq	Indrukking (Z)
	$0,75 * 0,53 = 0,398$	\geq	0,313

Hierdoor kan de volgende formule worden aangehouden voor de lengte vervorming van het geotextiel:

$$\Delta L = D * \left(\frac{\pi}{180} \right) * 2 * \sin^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(Z^2 + (0,75D)^2)}}{D} \right)$$

$$\Delta L = 0,53 * \left(\frac{\pi}{180} \right) * 2 * \sin^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(0,313^2 + (0,75 * 0,53)^2)}}{0,53} \right) = 0,528 \text{ m}$$

Het oppervlak bij vervorming van het geotextiel:

$$\Delta A = \pi * \Delta L^2 = \pi * 0,528^2 = 0,874 \text{ m}^2$$

Het oppervlak van het geotextiel in vlakke positie:

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi * Diameter^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5D)^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5 * 0,53)^2 = 0,496 \text{ m}^2$$

De rek van het geotextiel:

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% = \left(\frac{0,874}{0,496} - 1 \right) * 100\% = 76,3 \% \rightarrow \text{Maatgevende benodigde rek}$$

1.1.4 Treksterkte

De uitvoeringswijze betreft uitvoering in den droge, gedurende de uitvoering in den droge is het geotextiel onderhevig aan trekkrachten tijdens het uitrollen en het aanbrengen van de breuksteen en tijdens het manoeuvreren van groot materieel op de steenbekleding. De treksterkte dient voor twee situaties bepaald te worden, dit zijn voor breuksteen met een sortering 10-60 kg en voor breuksteen met een sortering van 40-200 kg. Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste trekkracht is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de treksterkte zijn weergegeven in tabel 5.4.

Tabel 5.4: Parameters voor het bepalen van de trekkracht

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
F_{tt}	Totale trekkracht	kN/m^1	Berekenen met behulp van formule
G	Gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak	kN/m^2	Berekenen met behulp van formule
G_{geo}	Gewicht van het geotextiel bij steen sortering 40-200 kg	$0,64 \text{ kg/m}^2$	Met behulp van de formule van Lawson : $G_{geo} = 1,2 * 1^{0,5} * 0,53 = 0,64 \text{ kg/m}^2$
G_{geo}	Gewicht van het geotextiel bij steen sortering 10-60 kg	$0,63 \text{ kg/m}^2$	Met behulp van de formule van Lawson : $G_{geo} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,37 = 0,63 \text{ kg/m}^2$
G_{stort}	Minimale storthoeveelheid van de steen sortering 40-200 kg	800 kg/m^2	Bepaald aan de hand van de tabel "eigenschappen van steenklassen"
G_{stort}	Minimale storthoeveelheid van de steen sortering 10-60 kg	550 kg/m^2	Bepaald aan de hand van de tabel "eigenschappen van steenklassen"
L_{geo}	Lengte geotextiel loodrecht op de glooiing	$6,87 \text{ m}$	Het geotextiel zal enkel een trekkracht ondervinden, waar de kreukelbermconstructie onder een helling is aangebracht. Dit betekent dat de onderste 5 meter niet mee zal worden gerekend, omdat deze vlak wordt aangebracht. De overgebleven afstand is dan 6,87 meter, zie tekening "Controle project Wilempoler, Abraham Wissepolder".
α	hellingshoek	$17,9^\circ$	De hoek waaronder de steenbekleding is aangebracht is $17,9^\circ$, zie tekening "Controle project Wilempoler, Abraham Wissepolder".
δ_w	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond	10°	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de wrijvingshoek is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt) = 30° : omdat klei een halfruw materiaal is wordt hier de factor van $1/3$ over gedaan, dit wordt dan: $1/3 * 30 = 10^\circ$

Eerst dient de eis bepaald te worden of het geotextiel ten opzichte van de basislaag (klei) wilt afschuiven. De veiligheid tegen afschuiven is dan:

$$\frac{\tan(\delta_w)}{\tan(\alpha)} = \frac{\tan 10}{\tan 17,9} = 0,55 < 1$$

Hieruit blijkt dat het geotextiel wil afschuiven, er vinden dus trekkrachten plaats op het geotextiel. Bepalen treksterkte tijdens installatie geotextiel en aanbrengen breuksteen ten opzichte van een breuksteen sortering van 10-60 kg:

Het gewicht van het geotextiel kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$G = (G_{stort} + G_{geo}) * g$$

$$G = (550 + 0,628) * 9,81 = 5402 \text{ N/m}^2 = 5,40 \text{ kN/m}^2$$

De maximale trekkracht die in het geotextiel kan optreden is dan:

$$F_t = G * L_{geo} * (\sin(\alpha) - \tan(\delta) * \cos(\alpha))$$

$$F_t = 5,40 * 6,87 * (\sin(17,9) - \tan(10) * \cos(17,9)) = 5,18 \text{ kN/m}$$

Bepalen treksterkte tijdens installatie geotextiel en aanbrengen breuksteen ten opzichte van een breuksteen sortering van 40-200 kg:

Het gewicht van het geotextiel kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$G = (G_{stort} + G_{geo}) * g$$

$$G = (800 + 0,636) * 9,81 = 7854 \text{ N/m}^2 = 7,85 \text{ kN/m}^2$$

De maximale trekkracht die in het geotextiel kan optreden is dan:

$$F_t = G * L_{geo} * (\sin(\alpha) - \tan(\delta) * \cos(\alpha))$$

$$F_t = 7,85 * 6,87 * (\sin(17,9) - \tan(10) * \cos(17,9)) = 7,52 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Maatgevende trekkracht}$$

Bepalen treksterkte afkomstig van doorponskracht door groot materieel op breuksteen sortering van 10-60 kg:

De trekkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is bepaald in paragraaf 1.1.2:

$$F_t = 4,35 \text{ kN}$$

De geleverde trekkracht zal deels opgenomen worden door het geotextiel en deels door de wrijving tussen het geotextiel en de ondergrond, de totale trekkracht op het geotextiel is dan:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{D}$$

$$F_{tt} = \frac{4,35 - \left(\frac{4,35 \cdot \tan(10)}{\tan(17,9)} \right)}{0,37} = 1,48 \text{ kN/m}$$

Bepalen treksterkte afkomstig van doorponskracht door golfslag op breuksteen sortering van 10-60 kg:

De trekkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is, dit is bepaald in paragraaf 1.1.2:

$$F_t = 0,11 \text{ kN}$$

De geleverde trekkracht zal deels opgenomen worden door het geotextiel en deels door de wrijving tussen het geotextiel en de ondergrond, de totale trekkracht op het geotextiel is dan:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{D}$$

$$F_{tt} = \frac{0,11 - \left(\frac{0,11 \cdot \tan(10)}{\tan(17,9)} \right)}{0,37} = 0,14 \text{ kN/m}$$

1.1.5 Gronddichtheid

De gronddichtheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 5.2. Op basis van deze graderingskromme is tabel 5.5 met omgevingscondities en grondgegevens opgesteld.

Tabel 5.5: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de gronddichtheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Belastingsgeval	Mobiliteit korreldeeltjes
0,0018	0,026	0,043	0,068	0,276	0,407	Dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel	Instabiele grond

Op basis van de grondeigenschappen en het belastingsgeval die van toepassing is op de constructie, kan de criteria die van toepassing is op de constructie bepaald worden. Hieruit komen de volgende criteria waar de gronddichtheid van het geotextiel op bepaald kan worden naar voren.

$$O_{90} < 0,5 * D_{85} = 0,5 * 276 \mu\text{m} = 138 \mu\text{m} \rightarrow \text{Maatgevende openingsgrootte}$$

en

$$O_{95} < 300 \mu\text{m}$$

1.1.6 Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 5.2. Op basis van deze graderingskromme, de pakking van de grond en de stroming van het water, zie tabel 5.6, kan de waterdoorlatendheid van het geotextiel bepaald worden.

Tabel 5.6: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de waterdoorlatendheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Pakking	Stroming	Samenhang
0,0018	0,026	0,043	0,068	0,276	0,407	Middelmatige gepakte grond	Niet-stationaire stroming	Niet cohesieve grond

In eerste instantie dient de uniformiteit van de ondergrond bepaald te worden:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_U = \frac{0,068}{0,0018} = 37,8$$

Op basis van de uniformiteit kan gesteld worden met behulp van de volgende eis of de grond uniform of niet-uniform is:

$$C_u > 5 = 37,8 > 5 \rightarrow \text{Dit betekent dat de grond niet uniform is.}$$

Voor niet-uniforme grondsoorten geldt bepaling van de waterdoorlatendheid op basis van de methode van Beyer.

$$k_p = c_B * (D_{10})^2$$

De C_B kan bepaald worden volgens de figuur van Beyer, hieruit volgt een factor 0,0056. De waterdoorlatendheid van de grond wordt dan:

$$k_p = 0,0056 * (0,0018)^2 = 1,81 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

Vervolgens kan met onderstaande formule de waterdoorlatendheid van het geotextiel worden berekend.

$$k_{\text{geotextiel}} = c_m \cdot k_{\text{grond}}$$

De c_m is een veiligheidsfactor op basis van de stroming van het water en de samenhang van de ondergrond. Op basis van deze gegeven volgt een waarde van c_m van 10. De waterdoorlatendheid van het geotextiel moet dan minimaal zijn:

$$k_{\text{geotextiel}} = 10 * 1,81 * 10^{-8} = 1,81 * 10^{-7} \text{ m/s} = 1,81 * 10^{-4} \text{ mm/s}$$

1.2 Afwegingsaspecten geotextielen

De afweging tussen de geotextielen zal in twee stappen plaats vinden, de eerste afweging is specifiek op de eigenschappen en de tweede afweging is naar de vraag en aanbod van het geotextiel. Het is vanzelfsprekend dat de eigenschappen van het geotextiel moeten voldoen op robuustheid en functionaliteit, om zorg te dragen dat de (dijk)constructie niet zal bezwijken tijdens de gebruiksfase. Daarnaast dient ook naar de verkrijgbaarheid en de kosten van het geotextiel te worden gekeken.

De scores van de geotextielen in de afweging op de verschillende afwegingsaspecten zijn onderverdeeld in een drietal niveaus, dit zijn 3 punten, 1 punt en 0 punten. Deze onderverdeling is gemaakt op basis van of het voldoet, twijfelachtig is of onvoldoende is. Er is geen lineair verloop aangehouden voor de puntenindeling, dit omdat een geotextiel dat twijfelachtig scoort op een aspect niet gelijk is aan de helft van een geotextiel dat voldoende scoort op een project. Een geotextiel dat twijfelachtig is zit dichter tegen een geotextiel aan dat onvoldoende scoort, maar is ook weer niet gelijk aan het geotextiel dat onvoldoende scoort. Daarom is gekozen voor deze middenweg.

1.2.1 Afweging specifiek op de eigenschappen

De afweging specifiek gericht op de eigenschappen gaat in op kwaliteit van het geotextiel gedurende de uitvoering en de gebruiksfase. Hieruit zal blijken wat het meest geschikte geotextiel is volgens de eisen die voortgekomen zijn uit de nieuwe ontwerprichtlijn. De weging specifiek op de eigenschappen is gelijk aan de afweging op vraag en aanbod.

1.2.1.1 Technische aspecten (75%)

De technische aspecten gaan in op de robuuste en functionele eigenschappen van het geotextiel. Dit is de belangrijkste criteria van de afweging, er wordt hier namelijk ingegaan op de kwaliteit van het geotextiel. De kwaliteit van het geotextiel draagt immers zorg voor het niet bezwijken van de (dijk)constructie. De technische aspecten hebben een waarde van 75 % op de afweging “specifiek op de eigenschappen”.

De technische aspecten zijn onderverdeeld in robuustheid en functionaliteit, ofwel de sterkte die het geotextiel moet hebben om niet te bezwijken gedurende de uitvoering en de eigenschappen die het geotextiel moet bevatten om gedurende de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren.

De afweging op technische aspecten gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 1 punt: hierbij zijn de eigenschappen van het geotextiel twijfelachtig, ten opzichte van de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 0 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel niet aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn.

Robuustheid

De robuustheid van het geotextiel gaat in op de sterkte die het geotextiel moet bevatten zodat het geotextiel niet bezwijkt onder extreme uitvoeringsomstandigheden. De robuustheid van het geotextiel wordt aangetoond met de treksterkte en het rekvermogen, de doorponsweerstand en de perforatieweerstand.

In de huidige Nederlandse waterbouw worden geotextielen toegepast, waarbij enkel op basis van functionaliteit is aangetoond dat het geotextiel voldoet. Er is echter onduidelijkheid over de sterkte van het geotextiel gedurende de uitvoering, terwijl dit de maatgevende eigenschappen van het geotextiel zijn. De robuustheid zal 60 % van de afweging op technische aspecten bedragen, zodat er een aantoonbaar goed geotextiel wordt toegepast dat voldoet tijdens de uitvoering. De ontstane problemen zijn namelijk allen ontstaan door schades gedurende de uitvoering.

Treksterkte en rekvermogen (18 %)

Een geotextiel dat wordt toegepast in een filterconstructie onder een breuksteen bekleding en wordt aangebracht door middel van storten in den droge, heeft als maatgevende eis: een kleine trek met een hoge rek. Zodat het tijdens de uitvoering mee kan vervormen met de te storten breuksteen en bij extreme neerwaartse belastingen, waardoor het geotextiel goed in contact is met de ondergrond. Hierdoor zal er gedurende de gebruiksfase geen beweging van de gronddeeltjes direct onder het geotextiel mogelijk zijn en zal er een natuurlijk filter achter het geotextiel gevormd worden. Dit is de meest gunstige situatie ten opzichte van de functionaliteit van het geotextiel. De verhouding tussen treksterkte en rekvermogen zal 18 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Doorponsweerstand (9%)

De doorponsweerstand van het geotextiel toont aan hoe groot de weerstand is tegen een neerwaartse belasting op het geotextiel. De neerwaartse belasting is afkomstig van het groot materieel dat tijdens de uitvoering manoeuvreert over de aangebrachte breuksteen en afkomstig van golfslag dat tijdens de gebruiksfase op de constructie breekt. Het is echter zo dat de maatgevende doorponskracht geleverd wordt door het groot materieel, wat leidt tot extreme krachten tijdens de uitvoering. Er kan echter worden geëist dat gedurende uitvoering niet over de kreukelberm mag worden gemanoeuvreed, dit zal leiden tot een veel lagere doorponskracht. Het is echter niet uit te sluiten dat het groot materieel zich hierover toch zal verplaatsen, maar door hier duidelijk op te letten kan dit vermeden worden. De doorponsweerstand dient wel te worden meegenomen in de afweging, maar door enkele maatregelen kan gesteld worden dat de doorponsweerstand maar 9 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen zal bedragen.

Perforatieweerstand (18%)

Het aanbrengen van een breuksteen bekleding geschiedt altijd door middel van storten vanaf een bepaalde valhoogte. Tijdens dit stortproces wordt er bij het treffen van het geotextiel en de ondergrond door het breuksteen een valenergie geleverd. Hierbij kunnen gaten ontstaan in het geotextiel, waarna bij eventuele verschuiving van de breuksteen het geotextiel de functie gronddichtheid niet kan waarborgen. Dit zal leiden tot uitspoeling van de onderliggende basislaag, dat bezwijken van de (dijk)constructie tot gevolg heeft. Omdat perforatie van het geotextiel niet vermeden kan worden bij een breuksteen bekleding zal de perforatieweerstand 18 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Functionaliteit

De functionaliteit gaat in op de eigenschappen die het geotextiel moet hebben om tijdens de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren. De functionaliteit van het geotextiel wordt aangetoond met de gronddichtheid, waterdoorlatendheid en kans op vermindering van de doorlatendheid.

De geotextielen die in de huidige Nederlandse waterbouw worden toegepast, worden enkel op basis van functionaliteit voorgeschreven. Hier is in het verleden door Nederlandse onderzoeksinstituten veelvuldig onderzoek naar gedaan, wat leidt tot een betrouwbaar geotextiel op basis van functionaliteit. De functionaliteit zal daarom 40 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Gronddichtheid (11,25%)

Gedurende de gebruiksfase is het toegestaan dat de kleinste 10% van de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag door het geotextiel uitspoelt. Nadat dit deel is uitgespoeld dient er achter het geotextiel een natuurlijk filter te zijn ontstaan, dat in combinatie met het geotextiel zorg draagt voor een gronddichte constructie. Op deze manier wordt uitgesloten dat de dijkconstructie niet zal uitspoelen en dus ook niet zal bezwijken. De gronddichtheid zal 11,25 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Waterdoorlatendheid (11,25%)

Bij een variërend waterpeil, zal het waterpeil in de dijk moeten mee schommelen om zo waterstand verschillen te voorkomen. Het geotextiel dat dient als filterconstructie zal een waterdoorlatendheid moeten bevatten wat groter is dan de waterdoorlatendheid van de achterliggende basislaag om zo wateroverdrukken en -onderdrukken te voorkomen. Wateroverdruk in de dijk leidt namelijk tot het uitdrukken van de steenbekleding, terwijl wateronderdruk leidt tot extreme drukkrachten op de ondergrond, wat resulteert in verzakking van de dijkbekleding. De waterdoorlatendheid zal 11,25 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Vermindering doorlatendheid (7,5%)

Naast het voorkomen van uitspoeling van de onderliggende laag en het voorkomen van wateroverdrukken en -onderdrukken dient het geotextiel niet dicht te slibben doordat de korreldeeltjes van de onderliggende laag zich ophopen in het geotextiel. Dit leidt namelijk tot stroomafwaarts transportletsel, wat vervolgens wateroverdrukken in de dijk veroorzaakt. De vermindering van de doorlatendheid zal 7,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

1.2.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit (25%)

De aantoonbaarheid van de kwaliteit is enkel van toepassing op de eigenschappen die gedurende de uitvoering van uiterst belang zijn. Dit zijn het rekvermogen en de perforatie weerstand van het geotextiel. De aantoonbaarheid van de kwaliteit van het geotextiel geschiedt doormiddel van testen, het is dus meer een afweging tussen de testen die gebruikt zijn voor huidige toegepaste geotextielen en de testen die toegepast worden volgens de nieuwe ontwerprichtlijn om de kwaliteit van het geotextiel aan te tonen. Hier wordt in feite gekeken naar de geschiktheid van de testen voor de belangrijkste parameters op een specifiek eigenschap.

De afweging op de aantoonbaarheid van de kwaliteit gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef die daadwerkelijk de kwaliteit aantoont van het geotextiel die benodigd is gedurende de uitvoeringsfase;
- 1 punt: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef. Echter uit deze proef volgt niet de daadwerkelijke kwaliteit die gedurende de uitvoeringsfase benodigd is, maar volgt er een eigenschap van het geotextiel die is aangetoond bij belastingen of omstandigheden die niet gelijk zijn aan de daadwerkelijke belastingen of omstandigheden.
- 0 punten: hierbij is er geen proef aanwezig die de kwaliteit van het geotextiel aantoont.

Rek (12,5%)

Het rekvermogen is te bepalen met behulp van de testen “val test” en de “doorpons test”. Hier zal een onderscheidt worden gemaakt tussen de testen die nu gehanteerd worden en de testen die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moeten worden gehanteerd. De test rek zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Perforatie (12,5%)

De perforatieweerstand van het geotextiel is te bepalen met behulp van de test “val test”. Hier zal net als bij de trek -rek proef onderscheidt worden gemaakt tussen de test die nu gehanteerd wordt en de test die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moet worden gehanteerd. De test op perforatie zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

1.2.2 Afweging op vraag en aanbod

Naast de afweging specifiek gericht op de eigenschappen van het geotextiel, dient er een afweging op verkrijgbaarheid en kosten van het geotextiel gemaakt te worden. Indien er nagenoeg geen verschil is tussen de eigenschappen van het geotextiel, kan er op basis van de verkrijgbaarheid of kosten gekozen worden voor het geschikte geotextiel. De weging van vraag en aanbod is gelijk aan de weging die specifiek ingaat op de eigenschappen van het geotextiel.

Verkrijgbaarheid (30%)

De verkrijgbaarheid van het geotextiel gaat voornamelijk over waar het geotextiel is te verkrijgen. Is het geotextiel te verkrijgen bij een leverancier in Nederland waar al meerdere malen producten zijn besteld of is het geotextiel enkel te verkrijgen bij een leverancier in Europa waar andere normen gelden. De verkrijgbaarheid zal 30 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de verkrijgbaarheid van het geotextiel gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij gaat het om een Nederlands bedrijf dat al meerdere malen een geotextiel heeft geleverd;
- 1 punt: hierbij gaat het om een Europees bedrijf dat geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt;
- 0 punten: hierbij gaat het om een leverancier buiten Europa die een specifiek geotextiel kan leveren.

Kosten (70%)

De kosten van het geotextiel geven bij nagenoeg gelijke eigenschappen van een geotextiel de doorslag voor de keuze van het geotextiel. De kosten zal 70 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de kosten van het geotextiel gebeurt op basis van een viertal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: bij een prijs per $m^2 < € 4,00$
- 2 punten: bij een prijs per $m^2 € 4,00 – € 8,00$;
- 1 punt: bij een prijs per $m^2 € 8,00 – € 12,-$;
- 0 punten: bij een prijs per $m^2 < € 12,-$.

1.3 Scores geotextiel

In deze paragraaf worden de scores per geotextiel op de aspecten toegelicht. Op basis van deze scores kunnen de afwegingen tussen de verschillende geotextielen worden gemaakt.

1.3.1 Propex 60-7050

Het geotextiel, dat op basis van de standaard eisen gehanteerd wordt door projectbureau Zeeland, is een propex 60-7050 weefsel + beschermvlies 170 g/m². De eigenschappen van dit composiet met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.7.

Tabel 5.7: Eigenschappen huidig geotextiel met de gestelde eisen

Propex 60-7050, type II + beschermvlies 170 gr/m ²	PP bandjes weefsel			vlies			Maatgevende eigenschappen			Eisen
	ketting	inslag		ketting	inslag		ketting	inslag		
Treksterkte	55	55	kN/m	1,5	1,7	kN/m	55	55	kN/m	≥ 7,52 kN/m
Rekvermogen	11	9	%	78	60	%	11	9	%	≥ 76,3 %
Doorpons	4,5		kN	0,2		kN	4,7		kN	≥ 12,7 kN
Perforatie	10		mm	-		mm	10		mm	≥ 2918 Nm
Gronddichtheid	230		µm	100		µm	100		µm	≤ 138 µm
Waterdoorlatendheid	25		mm/s	25		mm/s	25		mm/s	≥ 1,81 * 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	1,3		mm	1		mm	2,3		mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	220		g/m ²	170		g/m ²	390		g/m ²	≥ 640 g/m ²
Kosten							€ 3,50		per/m ²	n.v.t. per/m ²

1.3.1.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte en een hoog rekvermogen is niet van toepassing. Daarnaast is het rekvermogen van het geotextiel lager dan de minimale vereiste rek. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" gehanteerd, hieruit volgt een grotere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O90 / D15 > 3 \rightarrow 100/3,3 = 30,3 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel zijn er de conus valtest en de doorponstest uitgevoerd, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. De conus valtest wordt echter uitgevoerd met een maximale hoogte van 0,5 meter, terwijl in de praktijk vanaf een hogere hoogte wordt gestort. De doorponstest daarin tegen wordt wel uitgevoerd op basis van de werkelijke belasting tijdens de uitvoering. Hieruit blijkt dat er wel een test wordt uitgevoerd, maar dat de test zelf niet voldoende kwaliteit aantoont.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de conus valtest uitgevoerd, CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. De conus valtest wordt echter uitgevoerd met een maximale hoogte van 0,5 meter, terwijl in de praktijk vanaf een hogere hoogte wordt gestort. Hieruit blijkt dat er wel een test wordt uitgevoerd, maar dat de test zelf niet voldoende kwaliteit aantoont.

1.3.1.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel is al vele malen toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die gehanteerd wordt voor dit geotextiel door projectbureau "Zeeweringen" bedraagt € 3,50.

1.3.2 Geofabrics HPS 14

Het geotextiel dat op basis van de eis: doorpingssterkte volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een geofabrics HPS 14 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.8.

Tabel 5.8: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Geofabrics HPS 14 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	<i>(ketting) (inslag)</i>		
Treksterkte	75	kN/m	≥ 7,52 kN/m
Rekvermogen	80	%	≥ 76,3 %
Doorpons	14	kN	≥ 12,7 kN
Perforatie	0	mm	≥ 2918 Nm
Gronddichtheid	69	µm	≤ 138 µm
Waterdoorlatendheid	25	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	7,8	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	1400	g/m ²	≥ 640 g/m ²
Kosten	€ 15,-	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

1.3.2.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte en een hoog rekvermogen is hier wel aanwezig, maar er kunnen twijfels worden gezet bij extreem hoge treksterkte. Bij een extreme bovenbelasting zal de rek van 76,3 % niet worden gehaald, maar zal er ook een deel worden opgevangen door de treksterkte van het geotextiel. Hier zal het geotextiel niet door bezwijken, maar het geotextiel zal niet meer over het gehele vlak in contact zijn met de ondergrond, waardoor de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag direct onder het geotextiel kunnen bewegen. Dit kan leiden tot geen grond dicht geotextiel. Dit is een twijfelachtige uitkomst.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" gehanteerd, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Grond dichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 69/3,3 = 20,9 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.2.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.2.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een bedrijf in Engeland wat hun geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 15,- per m².

1.3.3 Jogetex NG 40

Het geotextiel dat op basis van de eis: een lage treksterkte en een hoog rekvermogen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een Jogetex NG 40 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.9.

Tabel 5.9: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Jogetex NG 40 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	40	kN/m	≥ 7,52 kN/m
Rekvermogen	80	%	≥ 76,3 %
Doorpons	8,0	kN	≥ 12,7 kN
Perforatie	4	mm	≥ 2918 Nm
Gronddichtheid	70	µm	≤ 138 µm
Waterdoorlatendheid	20	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	6	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	800	g/m ²	≥ 640 g/m ²
Kosten	€ 6,50	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

1.3.3.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte en een hoog rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens zit zowel de treksterkte als het rekvermogen van het geotextiel relatief dicht in de buurt van de eis. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" gehanteerd, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 70/3,3 = 21,2 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.3.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.3.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een Nederlands bedrijf, waar dikwijls geotextielen worden besteld.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 6,50 per m².

1.3.4 TenCate polyfelt F 80

Het geotextiel dat op basis van de eis: een lage treksterkte en een hoog rekvermogen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een TenCate polyfelt F 80 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.10.

Tabel 5.10: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

TenCate polyfelt F 80 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	35	kN/m	≥ 7,52 kN/m
Rekvermogen	85	80 %	≥ 76,3 %
Doorpons	6,5	kN	≥ 12,7 kN
Perforatie	7	mm	≥ 2918 Nm
Gronddichtheid	80	µm	≤ 138 µm
Waterdoorlatendheid	30	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	6,5	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	800	g/m ²	≥ 640 g/m ²
Kosten	€ 12,-	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

1.3.4.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte en een hoog rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens zit zowel de treksterkte als het rekvermogen van het geotextiel relatief dicht in de buurt van de eis. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" gehanteerd, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel voldoet.

Grondichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 80/3,3 = 24,2 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.4.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.4.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een Nederlands bedrijf, waar dikwijls geotextielen worden besteld.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 12,- per m².

1.4 Toetsing

In deze paragraaf worden de Multicriteria analyses specifiek op de eigenschappen en vraag en aanbod weergegeven in tabel vorm, dit geeft een duidelijk beeld van de afweging. De Multicriteria analyses worden weergegeven als blanco en ingevuld.

1.4.1 Blanco Multicriteria analyse

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 5.11. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.11: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen							
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80
Technische aspecten	75%	<i>Robuustheid</i>					
		Trek - rek	18%				
		Doorpons	9%				
		Perforatie	18%				
		<i>Functionaliteit</i>					
		Gronddichtheid	11,25%				
		Waterdoorlatendheid	11,25%				
		Vermindering doorlatendheid	7,5%				
Aantoonbaarheid kwaliteit	25%	Rek	12,5%				
		Perforatie	12,5%				
Totaal	100%						

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 5.12. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.12: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80
Verkrijgbaarheid	30%				
Kosten	70%				
Totaal	100%				

De afweging specifiek op de eigenschappen (50% van de totale afweging) en de afweging vraag en aanbod (50% van de totale afweging), worden samen in een kleine Multicriteria analyse gezet waaruit blijkt welk geotextiel de meest geschikte is op basis technische aspecten, aantoonbaarheid kwaliteit, de verkrijgbaarheid en de kosten, zie tabel 5.13.

Tabel 5.13: Blanco Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80
Specifiek op de eigenschappen	50%				
Vraag & aanbod	50%				
Eind waarde	100%				

1.4.2 Ingevulde Multicriteria analyse

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 5.14. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.14: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen								
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80	
Technische aspecten	75%	<i>Robuustheid</i>						
		Trek - rek	18%	0	1	3	3	
		Doorpons	9%	0	3	0	0	
		Perforatie	18%	0	3	3	3	
		<i>Functionaliteit</i>						
		Gronddichtheid	11,25%	3	3	3	3	
		Waterdoorlatendheid	11,25%	3	3	3	3	
Vermindering doorlatendheid	7,5%	3	3	3	3			
Aantoonbaarheid kwaliteit	25%	Rek	12,5%	2	3	3	3	
		Perforatie	12,5%	2	3	3	3	
Totaal	100%			1,40	2,64	2,73	2,73	

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 5.15. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.15: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80
Verkrijgbaarheid	30%	3	1	3	3
Kosten	70%	3	0	2	1
Totaal	100%	3,00	0,30	2,30	1,60

De ingevulde eind afweging is weergegeven in tabel 5.16. Het geotextiel met de hoogste score is het meest geschikte geotextiel dat in deze constructie kan worden toegepast.

Tabel 5.16: Ingevulde Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 14	Jogetex NG 40	TenCate polyfelt F 80
Specifiek op de eigenschappen	50%	1,40	2,64	2,73	2,73
Vraag & aanbod	50%	3,00	0,30	2,30	1,60
Eind waarde	100%	2,20	1,47	2,52	2,17

1.5 Gevoeligheidsanalyse

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel dat op dit moment als filterconstructie in de kreukelberm wordt toegepast niet voldoet. In deze paragraaf wordt aangegeven bij welke omstandigheden of belastingen het geotextiel wel zal voldoen tijdens de uitvoering. Dit zal gebeuren op de eigenschappen perforatie weerstand en doorpons weerstand.

1.5.1 Perforatieweerstand

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formules van Lawson hanteert, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte: $m_a > C_s \times H^{0,5} \times D_{85}$. Op basis van deze formule kan berekend worden welke valhoogte gehanteerd moet worden bij de maatgevende breuksteen sortering 40-200 kg en een geotextiel met een massa van $0,39 \text{ kg/m}^2$.

$$m_a = C_s \times H^{0,5} \times D_{85} = 1,2 \times 0,376^{0,5} \times 0,53 = 0,39 \text{ kg/m}^2$$

Minimale benodigde gewicht $0,39 \text{ kg/m}^2 \leq \text{Massa geotextiel } 0,39 \text{ kg/m}^2$

VOLDOET

De maximale storthoogte die gehanteerd mag worden is 0,376 meter, hierbij is een geotextiel benodigd met een massa van $0,39 \text{ kg/m}^2$ terwijl het gewicht van het geotextiel $0,39 \text{ kg/m}^2$. Met een maximale storthoogte van 0,38 meter zou het geotextiel voldoen. Dit is ten opzichte van een maximale storthoogte van 1 meter waarop is ontworpen.

1.5.2 Doorponsweerstand

De maximale doorponskracht die op het geotextiel mag werken moet minder zijn dan 4,7 kN, bij de maatgevende breuksteen sortering 10-60 kg. In onderstaande berekening is te zien welke massa de rupsgraafmachine maximaal mag hebben om een doorponskracht te leveren die kleiner of gelijk is aan 4,7 kN.

De belastingafdracht aan één rupsband is:

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 7935 * 9,81 * 10^{-3} = 77,8 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg:

$$P_{N,mat} = \frac{F_{rups}}{\text{rupsbreedte} * \text{rups lengte}} + \gamma_s * h$$

$$P_{N,mat} = \frac{77,8}{0,5 * 3,648} + 26,5 * 0,4 = 53,3 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\cos(\alpha) * \frac{P_{Neerwaarts} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,185 * \left(\left(\cos(17,9) * \frac{53,3 * 0,37^2}{4 * 0,185} \right) - \left(\frac{30 * 0,185}{4} \right) \right) = 4,7 \text{ kN}$$

Doorponskracht $4,7 \text{ kN} \leq \text{Doorponsweerstand geotextiel } 4,7 \text{ kN}$

VOLDOET

Hieruit blijkt dat bij een massa van de graafmachine van 7935 kg een doorponskracht van 4,7 kN wordt geleverd. De doorponskracht is hier gelijk aan de maximale doorponsweerstand van het geotextiel. Dit is ten opzichte van een maximaal gewicht van 22500 kg waarop is ontworpen

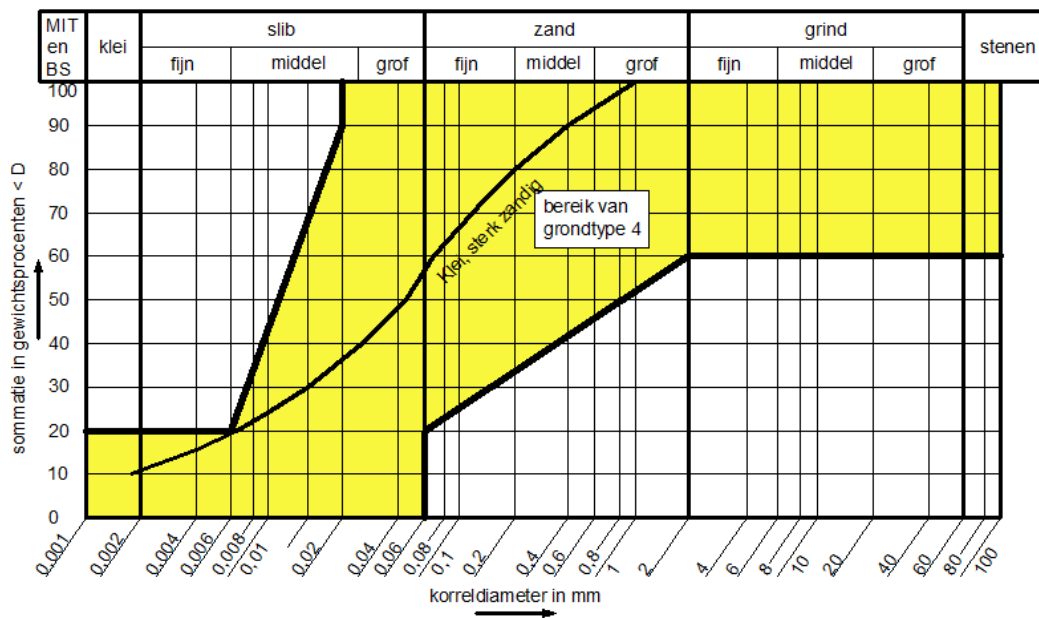
2. Gloopingsconstructie

In dit deel van de bijlage, wordt de controle op de glooping van het project Abraham Wissepolder uitgevoerd. Eerst dient hier met behulp van de nieuwe ontwerprichtlijnen te worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel, waarop een aantal geotextielen worden gekozen. Vervolgens wordt er ingegaan op de afwegingsaspecten, waarop de verschillende geotextielen op worden afgewogen. Hierna zal er ingegaan worden op de eigenschappen van de geotextielen en de eisen die gesteld zijn, waarop de score kan worden gebaseerd. De scores van de geotextielen en de afwegingsaspecten worden vervolgens in een Multicriteria analyse ingevuld, waaruit het meest geschikte geotextiel uit volgt. Tot slot volgt er een conclusie waarin wordt aangegeven bij welke omstandigheden of belastingen het geotextiel zal voldoen tijdens de uitvoering.

2.1 Ontwerp geotextiel eenvoudige methode

2.1.1 Functionaliteit

Om de functionele eisen te bepalen van een geotextiel, dient de ondergrond in een grondklasse te worden ingedeeld. Dit gebeurt op basis van de graderingskromme van de ondergrond. In figuur 5.3 is de graderingskromme van de ondergrond weergegeven in het bereik van het grondklasse waar de graderingskromme onder valt. Hieruit volgt het grondklasse 4 "zandig klei, zandig".



Figuur 5.3: Grondklasse 4 "zandig klei, zandig" met graderingskromme ondergrond

Aan de hand van grondklasse 4 waarin de klei, sterk zandige ondergrond zich bevindt, is met behulp van tabel 5.17 de eisen met betrekking op de functionaliteit van het geotextiel weergegeven.

Tabel 5.17: Ontwerpeisen aan de functionaliteit van het geotextiel

Nr.	Materiaaleigenschap	Ondergrond klasse 4
1	Totaal afgedragen gewicht grond	$M_t \leq 300$ ³⁾
2	Afgedragen gewicht grond	$M_1 \leq 30$
3	K_n waarde van ondergrond	$K_n \geq 5 \cdot 10^{-7}$

2.1.2 Robuustheid

De eisen met betrekking op de robuustheid van het geotextiel, die gelden voor een bekleding van zetsteen en de uitvoeringsmethode in den droge, zijn weergegeven in tabel 5.18.

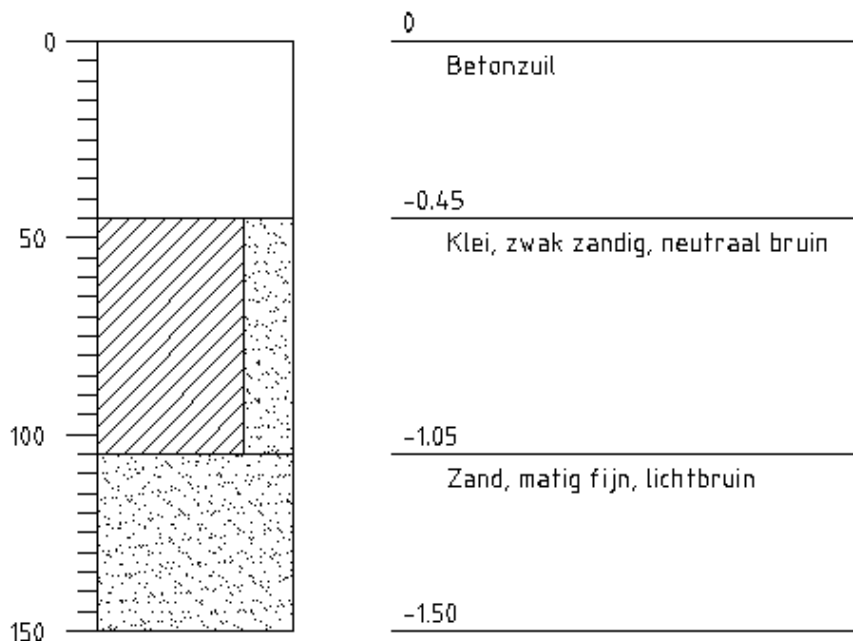
Tabel 5.18: Ontwerpeisen aan de robuustheid van het geotextiel

Nr.	Materiaaleigenschap	Steenzetting
1	Treksterkte volgens DIN EN ISO 10319 in lengte en dwarsrichting (kN/m)	≥ 13,0
2	Doorponsweerstand (kN)	≥ 10,0
3	Rekvermogen (%)	≥ 6,0
4	Slijtsterkte	Afname < 25% van treksterkte

2.2 Ontwerp geotextiel gedetailleerde methode

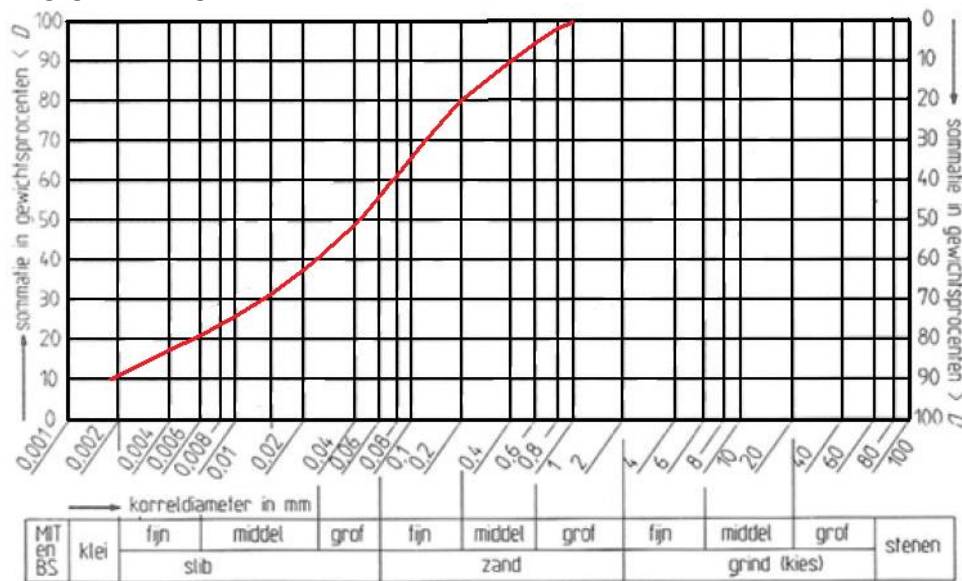
De glooiingsconstructie bestaat uit een uitvullaag met daarop een toplaag van zetsteen. Onder de uitvullaag is een geotextiel aangebracht die als belangrijkste functie heeft het voorkomen van uitspoeling van materiaal uit de onderlaag door de toplaag heen. Het geotextiel dat wordt toegepast dient op basis van robuustheid bestand te zijn tegen doorpons en zal moeten beschikken over een rekvermogen om mee te kunnen vervormen met de ondergrond. Tevens dient het geotextiel ook over een treksterkte te beschikken die tijdens afschuiving van de steenbekleding zorg draagt voor het niet bezwijken. Op basis van functionaliteit dient het geotextiel grond dicht te zijn om uitspoeling te voorkomen en waterdoorlatend om wateroverdrukken te vermijden. Perforatie kan hier buiten beschouwing worden gelaten, dit omdat de steenbekleding niet wordt gestort maar op de uitvullaag wordt neergezet.

Voor het stellen van eisen aan de robuustheid is er een grondonderzoek uitgevoerd, de boorstaat is weergegeven in figuur 5.4.



Figuur 5.4: Boorstaat klei, sterk zandig

Voor het stellen van eisen aan de functionaliteit is een graderingskromme noodzakelijk, deze is weergegeven in figuur 5.5.



Figuur 5.5: Graderingskromme klei, sterk zandig

2.2.1 Doorpons weerstand

De doorpons weerstand van het geotextiel zal bepaald worden voor zetsteen, de gloopingsconstructie bevat een helling van 1:3,4 en is opgebouwd uit betonzuilen met een dikte van 0,45 meter en een volumieke massa van 2300 kg/m³. Met daaronder een 10 centimeter dikke uitvullaag die bestaat uit steenslag 14/32 mm met een volumieke massa van 2650 kg/m³. De doorpons krachten die hierop werken worden veroorzaakt door de neerwaartse belasting afkomstig van groot materieel en golfslag. Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste doorpons kracht is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de doorponskracht zijn weergegeven in tabel 5.19.

Tabel 5.19: Parameters voor het bepalen van de doorponskracht

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
b	breedte van de zetsteen	0,45 m	Zie ontwerpnota "Willempolder Abraham Wissepolder" [2]
C _{golf}	Dempingsfactor golfslag	2	Toplaag en filterlaag (granulair materiaal) op ondergrond, aflezen uit tabel 8
e	Belastingspreidingsfactor	0,30	Afkomstig uit "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding"
F _R	Doorponskracht	kN	Berekenen met behulp van formule
F _{rup}	Belastingafdracht graafmachine aan één rupspand	kN	Berekenen met behulp van formule
H ₁	Laagdikte zetsteen	0,45 m	Afgeleid van tekening: zie tekening "Controle project Wilempolder, Abraham Wissepolder".
H ₂	Laagdikte uitvullaag	0,1 m	Afgeleid van tekening: zie tekening "Controle project Wilempolder, Abraham Wissepolder".
H _s	Significante golfhoogte	1,9 m	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota "Willempolder Abraham Wissepolder" [2])
m	Massa graafmachine	22,500 kg	Afkomstig van liebherr R906 [1], eis stellen aan maximum gewicht van de graafmachine voor het manoeuvreren over de bekleding
m _{steenslag}	Inwasmateriaal: steenslag	0,75 kN/m ²	Gewicht steenslag 75 kg/m ²
P _{Neerwaarts}	Bovenbelasting, inclusief gewicht zetsteen	kN/m ²	Berekenen met behulp van formule

P _{Opwaarts}	Reactiekracht van de ondergrond	90 kN/m ²	$P_{opwaarts} = F_{undr} * 0,75 = 120 \text{ kN/m}^2 * 0,75 = 75$: De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de F_{undr} is aangenomen, als eis wordt gesteld dat de ongedraineerde schuifsterkte van de kleilaag minimaal 40 kN/m ² moet zijn (anders zullen er dusdanige doorponskracht uit voorkomen die niet gedragen kunnen worden, door het geotextiel)
T _p	Golfperiode bij de piek van het golfspectrum	5,4 s	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota "Willempolder Abraham Wissepolder") [2]
α	Hellingshoek	16,4°	De helling bedraagt 1:3,4, dit geeft een hellingshoek van 16,4 °, zie tekening.
γ _{s;1}	volumieke massa zetsteen	23,34 kN/m ³	Massa zetsteen 23 kN/m ³ + massa ingewassen gebroken materiaal 75 kg/m ² * 0,45 (laagdikte) = 0,34 kN/m ³
γ _{s;2}	volumieke massa uitvullaag	26,5 kN/m ³	Volgens de NEN-EN-13383, algemene gegevens
ρ _w	massadichtheid water	1025 kg/m ³	Massadichtheid van zoutwater
-	Rupsbreedte	0,5 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]
-	Rupslengte	3,648 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]

Bepalen doorponskracht afkomstig van groot materieel op zetsteen 0,45*0,45 meter en een laagdikte van 0,45 meter:

De belastingafdracht aan één rupsband kan berekend worden met behulp van de formule:

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 22500 * 9,81 * 10^{-3} = 220,7 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een zetsteen bekleding:

$$P_{N;mat} = \left(\frac{F_{rups}}{(rupsbreedte + h * (\tan(\alpha) - \tan(\alpha - \arctan(e))) + h * (\tan(\arctan(e) + \alpha) - \tan(\alpha))) * (rupslengte + 2 * e * h)} \right) + \gamma_{s;1} * \frac{h_1}{\cos(\alpha)} + \gamma_{s;2} * \frac{h_2}{\cos(\alpha)}$$

$$P_{N;mat} = \left(\frac{220,7}{(0,5 + 0,1 * (\tan(16,4) - \tan(16,4 - \arctan(0,3))) + 0,1 * (\tan(\arctan(0,3) + 16,4) - \tan(16,4))) * (3,648 + 2 * 0,3 * 0,1)} \right) + 23 * \frac{0,45}{\cos(16,4)} + 26,5 * \frac{0,1}{\cos(16,4)} = 118,8 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een zetsteen bekleding is dan:

$$F_R = \cos(\alpha) * P_{Neerwaarts} * b^2 - P_{Opwaarts} * b^2$$

$$F_R = \cos(16,4) * 118,8 * 0,45^2 - 90 * 0,45^2 = 4,9 \text{ kN} \rightarrow \text{Maatgevende doorponskracht}$$

De trekkracht voor de situatie met een zetsteen bekleding is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * P_{Neerwaarts} * b^2$$

$$F_t = \sin(16,4) * 118,8 * 0,45^2 = 6,8 \text{ kN}$$

Bepalen doorponskracht afkomstig van golfslag op zetsteen 0,45*0,45 meter en een laagdikte van 0,45 meter:

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met behulp van de formule:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_p^2}}}$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan(16,4)}{\sqrt{\frac{1,9}{1,561 * 5,4^2}}} = 1,44$$

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden de volgende formule:

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{c_{golf}}$$

$$A_g = \frac{1,44}{2} = 0,72$$

De bovenbelasting geleverd door golfslag voor de situatie met een met een zetsteen bekleding:

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s * 10^{-3}$$

$$P_{golf} = 0,72 * 1025 * 9,81 * 1,9 * 10^{-3} = 13,8 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een zetsteen bekleding is dan:

$$F_R = (P_{golf} + \gamma_{s:1} * h_1 + \gamma_{s:2} * h_2) * b^2 - P_{opwaarts} * b^2$$

$$F_R = (13,8 + 23,34 * 0,45 + 26,5 * 0,1) * 0,45^2 - 90 * 0,45^2 = 0 \text{ kN}$$

De trekkracht die geleverd voor de situatie met een zetsteen bekleding is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * (\gamma_{s:1} * \frac{h_1}{\cos(\alpha)} + \gamma_{s:2} * \frac{h_2}{\cos(\alpha)}) * b^2$$

$$F_t = \sin(16,4) * (23,34 * \frac{0,45}{\cos(17,9)} + 26,5 * \frac{0,1}{\cos(19,7)}) * 0,45^2 = 0,79 \text{ kN}$$

2.2.2 Rekvermogen

Het rekvermogen van het geotextiel is afhankelijk van enkel doorpons, er dient dan ook enkel te worden ontworpen op het rekvermogen onder invloed van een doorponskracht. De benodigde gegevens voor het bepalen van de benodigde rek zijn weergegeven in tabel 5.20.

Tabel 5.20: Parameters voor het bepalen van de benodigde rek

Symbool	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
A_{steen}	Oppervlakte zetsteen	0,203 m ²	0,45* 0,45 =
D_{10-60}	Maximale D_{85} van de steen sortering 10-60 kg	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
$E_{surface}$	Elasticiteitsmodulus van de ondergrond	7,5 *10 ⁶ N/m ²	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de elasticiteitsmodulus is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt)
F_N	Bovenbelasting gedragen door een enkele steen, inclusief gewicht steenbekleding	N	Berekenen met behulp van formule
k	Lengte over indrukking van de steen	m	Berekenen met behulp van formule

P_{Neer}	Bovenbelasting, inclusief gewicht zetsteen	118,8 kN/m ²	Bovenbelasting berekend bij doorpons kracht
R	Straal van de steen, vierkant profiel omzetten naar cirkel	0,254 m	$R = \sqrt{\left(\frac{L*b}{\pi}\right)} = \sqrt{\left(\frac{0,45*0,45}{\pi}\right)} = 0,254 \text{ m}$
ΔL	Lengte vervorming geotextiel	m	Berekenen met behulp van formule
γ	Middelpuntshoek	°	Berekenen met behulp van formule
δ	Indrukkingsdiepte steenbekleding	m	Berekenen met behulp van formule
$\nu_{surface}$	Coëfficiënt van Poisson van de ondergrond	0,375	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], hieruit blijkt dat de onderlaag uit klei bestaat. De coëfficiënt van Poisson voor klei ligt tussen 0,3 en 0,45, hier is de gemiddelde waarde aangehouden.

Bepalen benodigde rek onder invloed van doorpons krachten ten opzichte van zetsteen bekleding:
De bovenbelasting P_{Neer} is berekend per m², omdat het hier gaat om een enkele steen dient de bovenbelasting per steen bepaald te worden, dit kan met behulp van de volgende formule:

$$F_N = P_{Neer} * A_{steen} = 118,8 * 10^3 * 0,45^2 = 24057 \text{ N}$$

$$F_N = 124,4 * 10^3 * 0,45^2 = 25191 \text{ N}$$

De indrukking in klei is te bepalen met behulp van de volgende formule:

$$\delta = \left(\frac{3 * F_N * (1 - \nu_{surface}^2)}{4 * E_{surface} * \sqrt{R}} \right)^{2/3}$$

$$\delta = \left(\frac{3 * 24057 * (1 - 0,375^2)}{4 * 7,5 * 10^6 * \sqrt{0,254}} \right)^{2/3} = 0,0256 \text{ m}$$

Waarna de volgende parameters dienen te worden bepaald:

$$k = 2 * \sqrt{(2R * \delta - \delta^2)}$$

$$k = 2 * \sqrt{(2 * 0,254 * 0,0256 - 0,0256^2)} = 0,222 \text{ m}$$

$$\gamma = 2 * \sin^{-1} \left(\frac{2 * \sqrt{(2R * \delta - \delta^2)}}{2R} \right)$$

$$\gamma = 2 * \sin^{-1} \left(\frac{0,222}{2 * 0,254} \right) = 51,9^\circ$$

Hierdoor kan de volgende formule worden aangehouden voor de lengte vervorming van het geotextiel:

$$\Delta L = R * \frac{\pi}{180} * \gamma + (2R - k) =$$

$$\Delta L = 0,254 * \frac{\pi}{180} * 51,9 + (2 * 0,254 - 0,222) = 0,516$$

Het oppervlak bij vervorming van het geotextiel:

$$\Delta A = \frac{1}{4} \pi * \Delta L^2 = \frac{1}{4} \pi * 0,516^2 = 0,209 \text{ m}$$

Het oppervlak van het geotextiel in vlakke positie:

$$A_0 = \pi * R^2 = \pi * 0,254^2 = 0,203$$

De rek van het geotextiel:

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% = \left(\frac{0,209}{0,203} - 1 \right) * 100\% = 3,2 \%$$

2.2.3 Treksterkte

De uitvoeringswijze betreft uitvoering in den droge, gedurende de uitvoering in den droge is het geotextiel onderhevig aan trekkrachten tijdens het uitrollen en tijdens het aanbrengen van de toplaag. De benodigde gegevens voor het bepalen van de treksterkte zijn weergegeven in tabel 5.21.

Tabel 5.21: Parameters voor het bepalen van de trekkracht

Symbool	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
F_t	Trekkracht	kN/m^1	Berekenen met behulp van formule
F_{tt}	Totale trekkracht	kN/m^1	Berekenen met behulp van formule
G	Gewicht toplaag per eenheid oppervlak	kN/m^2	Berekenen met behulp van formule
G_{geo}	Gewicht van het geotextiel bij steen sortering 40-200 kg	$0,3 \text{ kg/m}^2$	Het gewicht van het geotextiel is niet te bepalen met behulp van de formule van Lawson, maar omdat er als eis geldt dat een geotextiel een minimum massa van 300 g/m^2 moet bevatten om zo tijdens de uitvoering niet te bezwijken. Zal deze waarde worden gehanteerd.
G_{stort}	gewicht van de toplaag per eenheid van het oppervlak	1069 kg/m^2	Gewicht van de zetsteen incl. ingewassen materiaal is 2375 kg/m^3 over een laagdikte van $0,45 \text{ m} = 1069 \text{ kg/m}^2$
L_{geo}	Lengte geotextiel loodrecht op de glooiing	$13,4 \text{ m}$	Over de gehele glooiingsconstructie zal een trekkracht werken op het geotextiel. Deze glooiingsconstructie ligt tussen de $+1,60 \text{ m NAP}$ en $+5,14 \text{ m NAP}$. De afstand bedraagt $13,4 \text{ meter}$, zie tekening "Controle project Wilempoler, Abraham Wissepolder".
α	hellingshoek	$16,4^\circ$	De hoek waaronder de steenbekleding is aangebracht is $16,4^\circ$, zie tekening "Controle project Wilempoler, Abraham Wissepolder".
δ_w	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond	$7,5^\circ$	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van de NEN 6740 de wrijvingshoek is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt) = $22,5^\circ$: omdat klei een halfruw materiaal is wordt hier de factor van $1/3$ over gedaan, dit wordt dan: $1/3 * 22,5 = 7,5^\circ$

Bepalen treksterkte ten opzichte van een zetsteen bekleding:

Eerst dient de eis bepaald te worden of het geotextiel ten opzichte van de basislaag (klei) wilt afschuiven. De veiligheid tegen afschuiven is dan:

$$\frac{\tan(\delta_w)}{\tan(\alpha)} = \frac{\tan 7,5}{\tan 17,9} = 0,41 < 1$$

Hieruit blijkt dat het geotextiel wilt afschuiven, er vinden dus trekkrachten plaats op het geotextiel.

Het gewicht van het geotextiel kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$G = (G_{stort} + G_{geo}) * g$$

$$G = (1069 + 0,3) * 9,81 = 5402 \text{ N/m}^2 = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

De maximale trekkracht die in het geotextiel kan optreden is dan:

$$F_t = G * L_{geo} * (\sin(\alpha) - \tan(\delta) * \cos(\alpha))$$

$$F_t = 10,5 * 13,4 * (\sin(16,4) - \tan(7,5) * \cos(16,4)) = 22 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Maatgevende trekkracht}$$

Bepalen treksterkte afkomstig van doorponskracht door groot materieel op zetsteen bekleding:

De trekkkracht voor de situatie met een zetsteen bekleding is bepaald in paragraaf 2.2.1:

$$F_t = 6,8 \text{ kN}$$

De geleverde trekkkracht zal deels opgenomen worden door het geotextiel en deels door de wrijving tussen het geotextiel en de ondergrond, de totale trekkkracht op het geotextiel is dan:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{b}$$

$$F_{tt} = \frac{6,8 - \left(\frac{6,8 \cdot \tan(7,5)}{\tan(16,4)} \right)}{0,45} = 8,4 \text{ kN/m}$$

Bepalen treksterkte afkomstig van doorponskracht door golfslag op breuksteen sortering van 10-60 kg:

De trekkkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is, dit is bepaald in paragraaf 1.1.2:

$$F_t = 0,86 \text{ kN}$$

De geleverde trekkkracht zal deels opgenomen worden door het geotextiel en deels door de wrijving tussen het geotextiel en de ondergrond, de totale trekkkracht op het geotextiel is dan:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{D}$$

$$F_{tt} = \frac{0,86 - \left(\frac{0,86 \cdot \tan(7,5)}{\tan(16,4)} \right)}{0,45} = 1,1 \text{ kN/m}$$

2.2.4 Gronddichtheid

De gronddichtheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in tabel 5.22. Op basis van deze graderingskromme

Tabel 5.22: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de gronddichtheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Belastingsgeval	Mobiliteit korreldeeltjes
0,0018	0,026	0,043	0,068	0,276	0,407	Dynamische belasting	Stabiele grond

Op basis van de grondeigenschappen en het belastingsgeval die van toepassing is op de constructie, kan de criteria die van toepassing is op de constructie bepaald worden. Hieruit komen de volgende criteria waar de gronddichtheid van het geotextiel op bepaald kan worden naar voren.

$$O_{90} < D_{90} = 407 \mu\text{m}$$

en

$$O_{90} < 300 \mu\text{m}$$

2.2.5 Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 5.5. Op basis van deze graderingskromme, de pakking van de grond en de stroming van het water, zie tabel 5.23, kan de waterdoorlatendheid van het geotextiel bepaald worden.

Tabel 5.23: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de waterdoorlatendheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Pakking	Stroming	Samenhang
0,0018	0,026	0,043	0,068	0,276	0,407	Middelmatige gepakte grond	Niet-stationaire stroming	Niet cohesieve grond

In eerste instantie dient de uniformiteit van de ondergrond bepaald te worden:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_U = \frac{0,068}{0,0018} = 37,8$$

Op basis van de uniformiteit kan gesteld worden met behulp van de volgende eis of de grond uniform of niet-uniform is:

$C_u > 5 = 37,8 > 5 \rightarrow$ Dit betekent dat de grond niet uniform is.

Voor niet-uniforme grondsoorten geldt bepaling van de waterdoorlatendheid op basis van de methode van Beyer.

$$k_p = c_B * (D_{10})^2$$

De C_B kan bepaald worden volgens de figuur van Beyer, hieruit volgt een factor 0,0056. De waterdoorlatendheid van de grond wordt dan:

$$k_p = 0,0056 * (0,0018)^2 = 1,81 * 10^{-8} \text{ m/s}$$

Vervolgens kan met onderstaande formule de waterdoorlatendheid van het geotextiel worden berekend.

$$k_{\text{geotextiel}} = c_m \cdot k_{\text{grond}}$$

De c_m is een veiligheidsfactor op basis van de stroming van het water en de samenhang van de ondergrond. Op basis van deze gegeven volgt een waarde van c_m van 10. De waterdoorlatendheid van het geotextiel moet dan minimaal zijn:

$$k_{\text{geotextiel}} = 10 * 1,81 * 10^{-8} = 1,81 * 10^{-7} \text{ m/s} = 1,81 * 10^{-4} \text{ mm/s}$$

2.3 Afwegingsaspecten geotextielen

De afweging tussen de geotextielen zal in twee stappen plaats vinden, de eerste afweging is specifiek op de eigenschappen en de tweede afweging is naar de vraag en aanbod van het geotextiel. Het is vanzelfsprekend dat de eigenschappen van het geotextiel moeten voldoen op robuustheid en functionaliteit, om zorg te dragen dat de (dijk)constructie niet zal bezwijken tijdens de gebruiksfase. Daarnaast dient ook naar de verkrijgbaarheid en de kosten van het geotextiel gekeken.

De scores van de geotextielen in de afweging op de verschillende afwegingsaspecten zijn onderverdeeld in een drietal niveaus, dit zijn 3 punten, 1 punt en 0 punten. Deze onderverdeling is gemaakt op basis van of het voldoet, twijfelachtig is of onvoldoende is. Er is geen lineair verloop aangehouden voor de puntenindeling, dit omdat een geotextiel dat twijfelachtig scoort op een aspect niet gelijk is aan de helft van een geotextiel dat voldoende scoort op een project. Een geotextiel dat twijfelachtig is zit dicht tegen een geotextiel aan dat onvoldoende scoort, maar is ook weer niet gelijk aan het geotextiel dat onvoldoende scoort. Daarom is gekozen voor deze middenweg.

2.3.1 Afweging specifiek op de eigenschappen

De afweging specifiek gericht op de eigenschappen gaat in op kwaliteit van het geotextiel gedurende de uitvoering en de gebruiksfase. Hieruit zal blijken wat het meest geschikte geotextiel is volgens de eisen die voortgekomen zijn uit de nieuwe ontwerprichtlijn. De weging specifiek op de eigenschappen is gelijk aan de afweging op vraag en aanbod.

2.3.1.1 Technische aspecten (80%)

De technische aspecten gaan in op de robuuste en functionele eigenschappen van het geotextiel. Dit is de belangrijkste criteria van de afweging, er wordt hier namelijk ingegaan op de kwaliteit van het geotextiel. De kwaliteit van het geotextiel draagt immers zorg voor het niet bezwijken van de (dijk)constructie. De technische aspecten hebben een waarde van 80 % op de afweging “specifiek op de eigenschappen”.

De technische aspecten zijn onderverdeeld in robuustheid en functionaliteit, ofwel de sterkte die het geotextiel moet hebben om niet te bezwijken gedurende de uitvoering en de eigenschappen die het geotextiel moet bevatten om gedurende de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren.

De afweging op technische aspecten gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 1 punt: hierbij zijn de eigenschappen van het geotextiel twijfelachtig, ten opzichte van de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 0 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel niet aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn.

Robuustheid

De robuustheid van het geotextiel gaat in op de sterkte die het geotextiel moet bevatten zodat het geotextiel niet bezwijkt onder extreme uitvoeringsomstandigheden. De robuustheid van het geotextiel wordt aangetoond met de treksterkte en het rekvermogen en de doorponsweerstand.

In de huidige Nederlandse waterbouw worden geotextielen toegepast, waarbij enkel op basis van functionaliteit is aangetoond dat het geotextiel voldoet. Er is echter onduidelijkheid over de sterkte van het geotextiel gedurende de uitvoering, terwijl dit de maatgevende eigenschappen van het geotextiel zijn. De robuustheid zal 60 % van de afweging op technische aspecten bedragen, zodat er een aantoonbaar goed geotextiel wordt toegepast dat voldoet tijdens de uitvoering. De ontstane problemen zijn namelijk allen ontstaan door schades gedurende de uitvoering.

Treksterkte en rekvermogen (22,5 %)

Een geotextiel dat wordt toegepast in een filterconstructie onder een bekleding van zetsteen en wordt aangebracht door middel van uitvoering in den droge, heeft als maatgevende eis: een hoge trek met een kleine rek. De rek is namelijk noodzakelijk bij een grote indrukking van de steen in de ondergrond. Maar omdat het hier gaat om zetsteen is er geen indrukking tijdens het plaatsen van de steenbekleding, indrukking van de steen treedt enkel op bij extreme bovenbelasting. Echter omdat het geotextiel niet ingedrukt wordt zal de trek, groter zijn omdat er meer kans op afglijden van de steenbekleding aanwezig is. De verhouding tussen treksterkte en rekvermogen zal 22,5 % van de afweging specifiek op de eigenschappen bedragen.

Doorponsweerstand (22,5%)

De doorponsweerstand van het geotextiel toont aan hoe groot de weerstand is tegen een neerwaartse belasting op het geotextiel. De neerwaartse belasting is afkomstig van het groot materieel dat tijdens de uitvoering manoeuvreert over de aangebrachte breuksteen en afkomstig van golfslag dat tijdens de gebruiksfase op de constructie breekt. Het is echter zo dat de maatgevende doorponskracht geleverd wordt door het groot materieel, wat leidt tot extreme krachten tijdens de uitvoering. Omdat de kreukelberm die zich onder de glooiing bevindt, op bepaalde plaatsen moet worden ingegoten met asfaltmastiek is het vereist dat het geotextiel wat onder de zetsteen bekleding is aangebracht weerstand kan bieden aan de optreden doorponskrachten. De doorponsweerstand zal 22,5 % van de afweging specifiek op de eigenschappen bedragen.

Functionaliteit

De functionaliteit gaat in op de eigenschappen die het geotextiel moet hebben om tijdens de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren. De functionaliteit van het geotextiel wordt aangetoond met de gronddichtheid, waterdoorlatendheid en kans op vermindering van de doorlatendheid.

De geotextielen die in de huidige Nederlandse waterbouw worden toegepast, worden enkel op basis van functionaliteit voorgeschreven. Hier is in het verleden door Nederlandse onderzoeksinstituten veelvuldig onderzoek naar gedaan, wat leidt tot een betrouwbaar geotextiel op basis van functionaliteit. De functionaliteit zal daarom 40 % van de afweging op technische aspecten bedragen.

Gronddichtheid (12,5%)

Gedurende de gebruiksfase is het toegestaan dat de kleinste 10% van de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag door het geotextiel uitspoelt. Nadat dit deel is uitgespoeld dient er achter het geotextiel een natuurlijk filter te zijn ontstaan, dat in combinatie met het geotextiel zorg draagt voor een gronddichte constructie. Op deze manier wordt uitgesloten dat de dijkconstructie niet zal uitspoelen en dus ook niet zal bezwijken. De gronddichtheid zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Waterdoorlatendheid (12,5%)

Bij een variërend waterpeil, zal het waterpeil in de dijk moeten mee schommelen om zo waterstand verschillen te voorkomen. Het geotextiel dat dient als filterconstructie zal een waterdoorlatendheid moeten bevatten wat groter is dan de waterdoorlatendheid van de achterliggende basislaag om zo wateroverdrukken en -onderdrukken te voorkomen. Wateroverdruk in de dijk leidt namelijk tot het uitdrukken van de steenbekleding, terwijl wateronderdruk leidt tot extreme drukkrachten op de ondergrond, wat resulteert in verzakking van de dijkbekleding. De waterdoorlatendheid zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Vermindering doorlatendheid (10%)

Naast het voorkomen van uitspoeling van de onderliggende laag en het voorkomen van wateroverdrukken en -onderdrukken dient het geotextiel niet dicht te slibben doordat de korreldeeltjes van de onderliggende laag zich ophopen in het geotextiel. Dit leidt namelijk tot stroomafwaarts transportletsel, wat vervolgens wateroverdrukken in de dijk veroorzaakt. De vermindering van de doorlatendheid zal 10% van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

2.3.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

De aantoonbaarheid van de kwaliteit is enkel van toepassing op de eigenschappen die gedurende de uitvoering van uiterst belang zijn. Dit zijn het rekvermogen en de perforatie weerstand van het geotextiel. De aantoonbaarheid van de kwaliteit van het geotextiel geschiedt doormiddel van testen,

het is dus meer een afweging tussen de testen die gebruikt zijn voor huidige toegepaste geotextielen en de testen die toegepast worden volgens de nieuwe ontwerprichtlijn om de kwaliteit van het geotextiel aan te tonen. Hier wordt in feite gekeken naar de geschiktheid van de testen voor de belangrijkste parameters op een specifiek eigenschap.

De afweging op de aantoonbaarheid van de kwaliteit gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef die daadwerkelijk de kwaliteit aantoont van het geotextiel die benodigd is gedurende de uitvoeringsfase;
- 1 punt: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef. Echter uit deze proef volgt niet de daadwerkelijke kwaliteit die gedurende de uitvoeringsfase benodigd is, maar volgt er een eigenschap van het geotextiel die is aangetoond bij belastingen of omstandigheden die niet gelijk zijn aan de daadwerkelijke belastingen of omstandigheden.
- 0 punten: hierbij is er geen proef aanwezig die de kwaliteit van het geotextiel aantoont.

Trek (10%)

De treksterkte van het geotextiel is te bepalen met behulp van de test “korteduur spannings-rekrelatie”. Hier zal een onderscheid worden gemaakt tussen de test die nu gehanteerd worden en de test die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moeten worden gehanteerd. De test “korteduur spannings-rekrelatie” zal 10 % van de afweging op de aantoonbaarheid van de kwaliteit bedragen.

Doorpons (10%)

De doorponsweerstand van het geotextiel is te bepalen met behulp van de test “CBR doorponstest”. Het zal net als bij de trek proef onderscheidt worden gemaakt tussen de test die nu gehanteerd wordt en de test die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moet worden gehanteerd. De test op doorpons zal 10 % van de afweging op de aantoonbaarheid van de kwaliteit bedragen.

2.3.2 Afweging op vraag en aanbod (30)

Naast de afweging specifiek gericht op de eigenschappen van het geotextiel, dient er een afweging op verkrijgbaarheid en kosten van het geotextiel gemaakt te worden. Indien er nagenoeg geen verschil is tussen de eigenschappen van het geotextiel, kan er op basis van de verkrijgbaarheid of kosten gekozen worden voor het geschikte geotextiel. De weging van vraag en aanbod is gelijk aan de weging die specifiek ingaat op de eigenschappen van het geotextiel.

Verkrijgbaarheid (30%)

De verkrijgbaarheid van het geotextiel gaat voornamelijk over waar het geotextiel is te verkrijgen. Is het geotextiel te verkrijgen bij een leverancier in Nederland waar al meerdere malen producten zijn besteld of is het geotextiel enkel te verkrijgen bij een leverancier in Europa waar andere normen gelden. De verkrijgbaarheid zal 30 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de verkrijgbaarheid van het geotextiel gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij gaat het om een Nederlands bedrijf dat al meerdere malen een geotextiel heeft geleverd;
- 1 punt: hierbij gaat het om een Europees bedrijf dat geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt;
- 0 punten: hierbij gaat het om een leverancier buiten Europa die een specifiek geotextiel kan leveren.

Kosten (70%)

De kosten van het geotextiel geven bij nagenoeg gelijke eigenschappen van een geotextiel de doorslag voor de keuze van het geotextiel. De kosten zal 70 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de kosten van het geotextiel gebeurt op basis van een viertal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: bij een prijs per m² < € 1,25;
- 2 punten: bij een prijs per m² € 1,25 – € 2,50;
- 1 punt: bij een prijs per m² € 2,50 – € 3,75;
- 0 punten: bij een prijs per m² > € 3,75.

2.4 Scores geotextiel

In deze paragraaf worden de scores per geotextiel op de aspecten toegelicht. Op basis van deze scores kunnen de afwegingen tussen de verschillende geotextielen worden gemaakt.

2.4.1 Geopex NW 300

Het geotextiel dat op basis van de standaard eisen die gehanteerd worden door projectbureau Zeeland, is een Geopex NW 300 vlies. De eigenschappen van dit weefsel met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.24.

Tabel 5.24: Eigenschappen huidig geotextiel met de gestelde eisen

Geopex NW 300, type 1 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	25	kN/m	≥ 22 kN/m
Rekvermogen	65	%	≥ 3,2 %
Doorpons	4,4	kN	≥ 4,9 kN
Gronddichtheid	70	µm	≤ 300 µm
Waterdoorlatendheid	65	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	2	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	300	g/m ²	n.v.t. g/m ²
Kosten	€ 1,75,-	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

2.4.1.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een klein rekvermogen en een grote treksterkte is hier niet van toepassing. Echter de treksterkte voldoet wel aan de eis die gesteld is aan de treksterkte en het rekvermogen is ook groter dan de benodigde rek. Hieruit kan gesteld worden dat het geotextiel wel voldoet maar dat het niet de meest juiste eigenschappen bevat. Dit geeft een twijfelachtige uitkomst.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 70/3,3 = 21,2 > 3$, voldoet hieraan.

2.4.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Trek

Om de treksterkte van het werkelijke toegepaste geotextiel aan te tonen is er de korteduur spannings-rekrelatie test uitgevoerd, CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. Deze test kan de trekkrachten die in werkelijkheid van toepassing zijn nabootsen, hierdoor blijkt duidelijk welke treksterkte het geotextiel bevat.

Doorpons

Om de doorponsweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de CBR doorpons test uitgevoerd, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. De doorponstest wordt uitgevoerd op basis van de werkelijke belasting tijdens de uitvoering.

2.4.1.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel is al vele malen toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging en wordt geleverd door een Nederlands bedrijf, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die gehanteerd wordt voor dit geotextiel door projectbureau "Zeeweringen" bedraagt € 1,75.

2.4.2 Geopex 7063

Het geotextiel dat op basis van de eis "doorponsweerstand" volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een Geopex 7063 weefsel. De eigenschappen van dit weefsel met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.25.

Tabel 5.25: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Geopex Propex 7080 -weefsel	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	85	85 kN/m	≥ 22 kN/m
Rekvermogen	8,6	8,6 %	≥ 3,2 %
Doorpons	10,5	kN	≥ 4,9 kN
Gronddichtheid	210	µm	≤ 300 µm
Waterdoorlatendheid	16	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	n.v.t.	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	375	g/m ²	n.v.t. g/m ²
Kosten	€ 4,50	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

2.4.2.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een grote treksterkte en een laag rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens voldoen de treksterkte en het rekvermogen aan de eisen die gesteld zijn, de treksterkte geeft echter wel extreme waarden. Maar omdat de benodigde rek zodanig laag is dat dit makkelijk haalbaar is door het geotextiel, kan geconcludeerd worden dat het geotextiel op dit punt voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 210/3,3 = 63,6 > 3$, voldoet hieraan.

2.4.2.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Trek

Om de treksterkte van het gekozen geotextiel aan te tonen, kan de trektest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de trekkrachten gelijk zijn aan de trekkrachten uit de praktijk.

Doorpons

Om de doorponsweerstand van het gekozen geotextiel aan te tonen, kan de doorpons test worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belasting gelijk is aan de werkelijke belasting tijdens de uitvoering.

2.4.2.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel wordt geleverd door een Nederlands bedrijf, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 4,50 per m².

2.4.3 Geopex PP 25/25

Het geotextiel dat op basis van de eis: een hoge treksterkte en een laag rekvermogen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een Geopex PP 25/25 weefsel. De eigenschappen van dit weefsel met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.26.

Tabel 5.26: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Geopex PP 25/25 -weefsel	Eigenschappen			Eisen
	(ketting)	(inslag)		
Treksterkte	25	25	kN/m	≥ 22 kN/m
Rekvermogen	13	12	%	≥ 3,2 %
Doorpons	3		kN	≥ 4,9 kN
Gronddichtheid	200		µm	≤ 300 µm
Waterdoorlatendheid	12		mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte	n.v.t.		mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	124		g/m ²	n.v.t. g/m ²
Kosten	€ 1,50		€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

2.4.3.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte en een hoog rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens zit zowel de treksterkte als het rekvermogen van het geotextiel relatief dicht in de buurt van de eis. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 200/3,3 = 60,6 > 3$, voldoet hieraan.

2.4.3.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Trek

Om de treksterkte van het gekozen geotextiel aan te tonen kan de trektest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de trekkrachten gelijk zijn aan de trekkrachten uit de praktijk.

Doorpons

Om de doorponsweerstand van het gekozen geotextiel aan te tonen kan de doorpons test worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belasting gelijk is aan de werkelijke belasting tijdens de uitvoering.

2.4.3.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel wordt geleverd door een Nederlands bedrijf, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 1,50 per m².

2.4.4 Geopex PP 40/40

Het geotextiel dat op basis van de eis: doorponsweerstand volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een Geopex PP 40/40 weefsel. De eigenschappen van dit weefsel met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 5.27.

Tabel 5.27: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Geopex PP 40/40 -weefsel	Eigenschappen			Eisen
	(ketting)	(inslag)		
Treksterkte	40	40	kN/m	≥ 22 kN/m
Rekvermogen	17	12	%	≥ 3,2 %
Doorpons		5	kN	≥ 5,6 kN
Gronddichtheid		250	µm	≤ 300 µm
Waterdoorlatendheid		18	mm/s	≥ 1,81 x 10 ⁻⁴ mm/s
Dikte		n.v.t.	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid		186	g/m ²	n.v.t. g/m ²
Kosten		€ 2,00	€ per/m ²	n.v.t. € per/m ²

2.4.4.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een grote treksterkte en een laag rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens voldoen de treksterkte en het rekvermogen aan de eisen die gesteld zijn. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 250/3,3 = 75,8 > 3$, voldoet hieraan.

2.4.4.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Trek

Om de treksterkte van het gekozen geotextiel aan te tonen kan de trektest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de trekkrachten gelijk zijn aan de trekkrachten uit de praktijk.

Doorpons

Om de doorponsweerstand van het gekozen geotextiel aan te tonen kan de doorpons test worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belasting gelijk is aan de werkelijke belasting tijdens de uitvoering.

2.4.4.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel wordt geleverd door een Nederlands bedrijf, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 2,00 per m².

2.5 Toetsing

In deze paragraaf worden de Multicriteria analyses specifiek op de eigenschappen en vraag en aanbod weergegeven in tabel vorm, dit geeft een duidelijk beeld van de afweging. De Multicriteria analyses worden weergegeven als blanco en ingevuld.

2.5.1 Blanco Multicriteria analyse

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 5.28. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weefactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.28: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen							
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40
Technische aspecten	80%	<i>Robuustheid</i>					
		Trek - rek	22,5%				
		Doorpons	22,5%				
		<i>Functionaliteit</i>					
		Gronddichtheid	12,5%				
		Waterdoorlatendheid	12,5%				
Aantoonbaarheid kwaliteit	20%	Trek	10%				
		Doorpons	10%				
		Totaal	100%				

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 5.29. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.29: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40
Verkrijgbaarheid	30%				
Kosten	70%				
Totaal	100%				

De afweging specifiek op de eigenschappen (50% van de totale afweging) en de afweging vraag en aanbod (50% van de totale afweging), worden samen in een kleine Multicriteria analyse gezet waaruit blijkt welk geotextiel de meest geschikte is op basis technische aspecten, aantoonbaarheid kwaliteit, de verkrijgbaarheid en de kosten, zie tabel 5.30.

Tabel 5.30: Blanco Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40
Specifiek op de eigenschappen	50%				
Vraag & aanbod	50%				
Eind waarde	100%				

2.5.2 Ingevulde Multicriteria analyse

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 5.31. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.31: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen								
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40	
Technische aspecten	80%	<i>Robuustheid</i>						
		Trek - rek	22,5%	1	3	3	3	
		Doorpons	22,5%	0	3	0	3	
		<i>Functionaliteit</i>						
		Gronddichtheid	12,5%	3	3	3	3	
		Waterdoorlatendheid	12,5%	3	3	3	3	
Vermindering doorlatendheid	10%	3	3	3	3			
Aantoonbaarheid kwaliteit	20%	Trek	10%	3	3	3	3	
		Doorpons	10%	3	3	3	3	
Totaal	100%			1,88	3,00	2,33	3,00	

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 5.32. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 5.321: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40
Verkrijgbaarheid	30%	3	3	3	3
Kosten	70%	2	0	2	2
Totaal	100%	2,30	0,90	2,30	2,30

De ingevulde eind afweging is weergegeven in tabel 5.33. Het geotextiel met de hoogste score is het meest geschikte geotextiel dat in deze constructie kan worden toegepast.

Tabel 5.33: Ingevulde Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Geopex NW 300	Geopex Propex 7080	Geopex PP 25/25	Geopex PP 40/40
Specifiek op de eigenschappen	50%	1,88	3,00	2,33	3,00
Vraag & aanbod	50%	2,30	0,90	2,30	2,30
Eind waarde	100%	2,09	1,95	2,31	2,65

2.6 Gevoeligheidsanalyse

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel dat op dit moment als filterconstructie in de kreukelberm wordt toegepast niet voldoet op doorpons. In deze paragraaf wordt aangegeven bij welke belastingen het geotextiel wel zal voldoen op doorpons tijdens de uitvoering.

De maximale doorponskracht die op het geotextiel mag werken moet minder zijn dan 4,4 kN, bij de maatgevende belasting afkomstig van groot materieel. In onderstaande berekening is te zien welke massa de rupsgraafmachine maximaal mag hebben om een doorponskracht te leveren die kleiner of gelijk is aan 4,4 kN.

De belastingafdracht aan één rupsband is::

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 21955 * 9,81 * 10^{-3} = 215,4 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg:

$$P_{N;mat} = \left(\frac{F_{rups}}{(rupsbreedte+h*(\tan(\alpha)-\tan(\alpha-\arctan(e))))+h*(\tan(\arctan(e)+\alpha)-\tan(\alpha))*(rups lengte+2*e*h)} \right) + \gamma_{s;1} * \frac{h_1}{\cos(\alpha)} + \gamma_{s;2} * \frac{h_2}{\cos(\alpha)}$$

$$P_{N;mat} = \left(\frac{215,4}{(0,5+0,1*(\tan(16,4)-\tan(16,4-\arctan(0,3))))+0,1*(\tan(\arctan(0,3)+16,4)-\tan(16,4))*(3,648+2*0,3*0,1)} \right) + 23 * \frac{0,45}{\cos(16,4)} + 26,5 * \frac{0,1}{\cos(16,4)} = 116,5 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 10-60 kg is dan:

$$F_R = \cos(\alpha) * P_{Neerwaarts} * b^2 - P_{Opwaarts} * b^2$$

$$F_R = \cos(16,4) * 116,5 * 0,45^2 - 90 * 0,45^2 = 4,4 \text{ kN}$$

Doorponskracht 4,4 kN ≤ Doorponsweerstand geotextiel 4,4 kN VOLDOET

Hieruit blijkt dat bij een massa van de graafmachine van 21955 kg een doorponskracht van 4 kN wordt geleverd. De doorponskracht is hier gelijk aan de maximale doorponsweerstand van het geotextiel.

Literatuur

1. Liebherr. (2012). *Liebherr R906*. Retrieved juni 2012, 2012, from www.liebherr.com: http://www.liebherr.co.uk/EM/en-GB/products_uk-em.wfw/id-11794-0/measure-metric.
2. Projectbureau Zeeweringen. (2009). *Ontwerpnota: Willempolder, Abraham Wissepolder*. Middelburg.
3. Grond-, Gewas- en Milieulaboratorium "Zeeuws Vlaanderen" B.V. (2010). *AP04-partijkeuring Abraham Wissepolder te Sint Philipsland*. Graauw.
4. CUR publicatie 174. (2009). *Geokunststoffen in de waterbouw*. Gouda: Stichting CURNET.

Bijlage 6. Controle op het project “Schermdijk, IJsseloog”

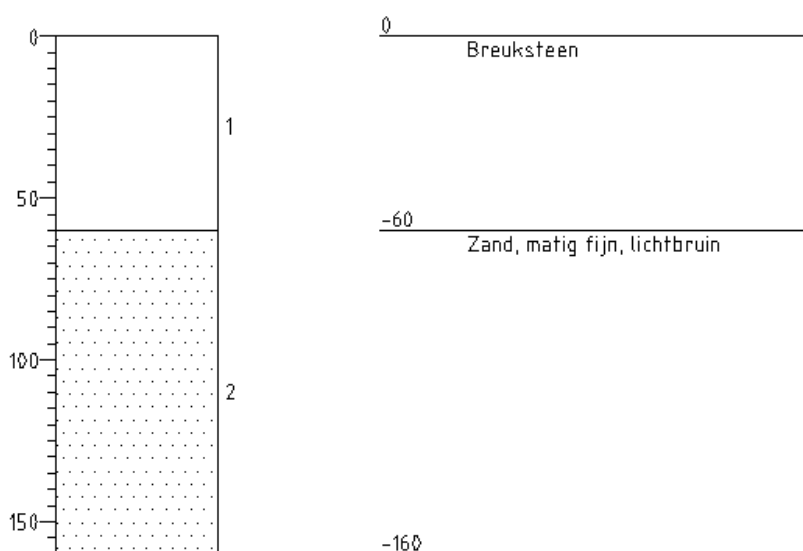
1. Kreukelberm

In dit deel van de bijlage wordt de nieuwe ontwerprichtlijn ter controle op de kreukelberm van de Schermdijk van het baggerspeciedepot IJsseloog toegepast. Eerst dient hier met behulp van de nieuwe ontwerprichtlijn eisen te worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel, waarop een aantal geotextielen worden gekozen. Vervolgens wordt er ingegaan op de afwegingsaspecten, waarop de verschillende geotextielen op worden afgewogen. Hierna zal er ingegaan worden op de eigenschappen van de geotextielen en de eisen die gesteld zijn, waarop de score kan worden gebaseerd. De scores van de geotextielen en de afwegingsaspecten worden vervolgens in een Multicriteria analyse ingevuld, waaruit het meest geschikte geotextiel uit volgt. Tot slot volgt er een conclusie waarin wordt aangegeven bij welke omstandigheden of belastingen het geotextiel zal voldoen tijdens de uitvoering.

Vanuit de hydraulische randvoorwaarden blijkt dat een breuksteen van 40-200 kg dient te worden toegepast. Voor deze steensortering is de eenvoudige methode niet toereikend waardoor het geotextiele doek wordt ontworpen conform de gedetailleerde methodiek.

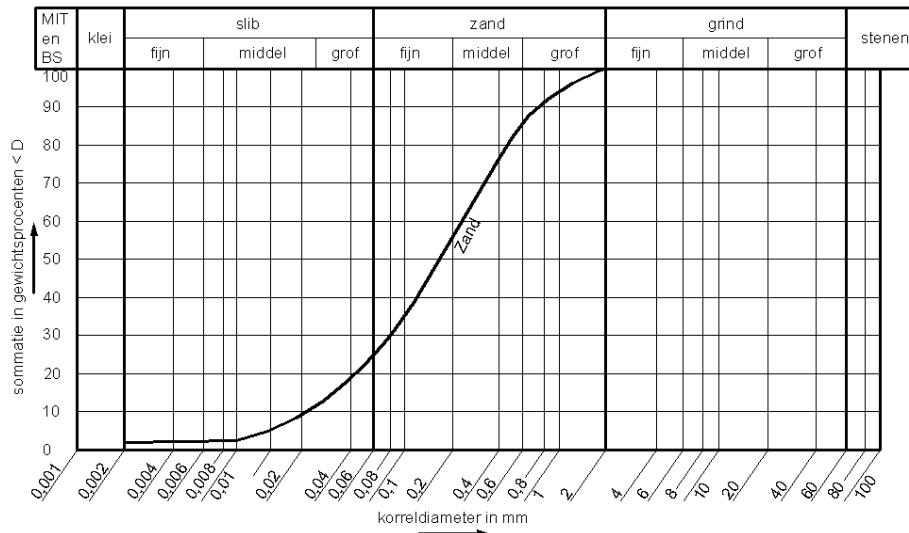
1.1 Ontwerp geotextiel

De kreukelberm van de betreffende constructie bestaat uit breuksteen wat aangebracht is op een geotextiel, namelijk een composiet bestaande uit een weefsel met een vlies. De constructie heeft als functie het achterliggende land te beschermen tegen stromingen en golven. Het geotextiel heeft hierdoor een filterfunctie waarbij het van belang is dat juiste eisen gesteld worden aan de functionaliteit en robuustheid van het doek. Het geotextiel is evenwijdig aan het talud aangebracht waardoor er zich iedere 5 meter (rolbreedte) stiknaden bevinden.



Figuur 6.1: Boorstaat Schermdijk, IJsseloog

Het baggerspeciedepot IJsseloog is in 1999 met behulp van een spoeiponton aangelegd. Met behulp van het spoeiponton is een zandlichaam onder water (hydraulisch) aangebracht, zie figuur 6.1 voor de boorstaat van de ondergrond. Het zandlichaam is niet verdicht, echter door de aanbrenging onder water heeft het zand zich zodanig kunnen vestigen dat sprake is van een matige pakking. Voor de ondergrond wordt schoon zand met een matige consistentie aangehouden met eigenschappen conform de NEN 6740. De graderingskromme behorend aan de zandsoort is in figuur 6.2 weergegeven.



Figuur 6.1: Graderingskromme schoon zand

1.1.1 Perforatie weerstand

De kreukelberm wordt aangelegd door de uitvoering in den droge omdat deze zich bevindt ter hoogte van de normale stilwaterlijn. Hierdoor is aanleg met behulp van een rupsgraafmachine, zoals het storten van stenen, mogelijk. De kreukelberm bestaat uit twee delen, namelijk een deel onder een zeer flauwe helling (1:20) en een deel onder een steilere helling (1:3). Op beide delen is de opbouw van de bekleding hetzelfde. Afhankelijk van de helling kunnen de optredende belastingen groter of kleiner zijn waardoor voor beide delen een afzonderlijke ontwerp wordt gemaakt. Het deel met de grootste waarden met betrekking tot de optredende belastingen wordt als maatgevend beschouwd. Voor het ontwerp zal voor de kreukelberm geen onderscheid worden gemaakt in het toe te passen geotextiel. Er wordt één type geotextiel toegepast, namelijk het type voor de maatgevende waarden. De benodigde gegevens voor het bepalen van de valenergie tijdens het aanbrengen van de waterbouwsteen zijn weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.2: Parameters voor het bepalen van de valenergie

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
C_r	Reductie factor ondergrond	1	Omdat er bij het bodemonderzoek geen onderzoek is gedaan naar de CBR waarde van de laag. Verondersteld wordt, omdat het gaat om een zandlaag, dat de CBR waarde tussen de 0-20 zit, dit geeft dan een reductiefactor van 1.
E_N	Valenergie loodrecht op het geotextiel	Nm	Berekenen met behulp van formule
h_{val}	Valhoogte steen	2 m 1 m	<i>Onderste deel:</i> Uitgaande van een valhoogte van 2 meter, dit omdat de constructie onder een helling is aangebracht. <i>Bovenste deel:</i> Uitgaande van een valhoogte van 1 meter, een valhoogte van 2 meter zou absurd hoog zijn, de kreukelberm is nagenoeg vlak en de breuksteen is dusdanig zwaar waardoor deze met beleid dient te worden aangebracht en een valhoogte van 2 meter onrealistisch is. Als eis stellen tijdens uitvoering een max. valhoogte van 1 meter.
M_{40-200}	Maximale M_{85} van de steen sortering 40-200	238 kg	Volgens de NEN-EN-ISO-13383, maximale M_{85} van de steen sortering
α	Hellingshoek	18,4° 2,9°	Onderste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:3 (18,4°), afgeleid uit tekening. Bovenste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:20 (2,9°), afgeleid uit tekening.

De valenergie die loodrecht op het geotextiel werkt kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 40-200 kg (onderste deel):

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 238 * 9,81 * 2 * 1 * \cos(18,4) = 5539 \text{ Nm} \rightarrow \text{Maatgevend}$$

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 40-200 kg (bovenste deel):

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 238 * 9,81 * 1 * 1 * \cos(2,9) = 2915 \text{ Nm}$$

Op dit moment hanteren de leveranciers voor de perforatieweerstand van het geotextiel een maximaal gat diameter. Terwijl de ontwerprichtlijn een eis stelt aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen. Omdat er in Nederland nog nooit eisen zijn gesteld aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen is dit ook een logische benadering. Nu er in deze ontwerprichtlijn een eis is gesteld aan de valenergie, zal dit ook in de loop van de tijd aangetoond moeten gaan worden door de leveranciers om geotextielen te kunnen leveren die voldoen aan deze eis.

Om enige inzicht te krijgen in de perforatieweerstand zal om deze reden de formule van "Lawson" worden gehanteerd, hierbij moet vermeld worden dat deze formule enkel een inschatting geeft maar geen eis stelt. Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte. Vanwege de verschillende hellingshoeken van de kreukelberm wordt bij het onderste deel (1:3) de valhoogte op 1 meter gehouden. Voor het bovenste gedeelte (1:20) geldt een maximale valhoogte van 2 meter. De minimale massa van het geotextiel is:

Bepalen minimaal benodigd gewicht bij breuksteen sortering van 40-200 kg (onderste deel):

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 1^{0,5} * 0,53 = 640 \text{ g/m}^2$$

Bepalen minimaal benodigd gewicht bij breuksteen sortering van 40-200 kg (bovenste deel):

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,53 = 900 \text{ g/m}^2 \rightarrow \text{Maatgevend minimaal gewicht}$$

1.1.2 Doorponsweerstand

De doorponsweerstand van het geotextiel zal bepaald worden voor breuksteen, de kreukelberm is namelijk opgebouwd uit breuksteen met een sortering van 40-200 kg die in den droge wordt aangelegd. De doorponskrachten die hierop werken worden veroorzaakt door de neerwaartse belasting afkomstig van groot materieel en golfslag. De breuksteen is onder een helling aangebracht wat betekent dat doorponskracht afkomstig van zowel groot materieel als golfslag die invloed uitoefenen op de constructie. De twee situatie zullen worden berekend waarbij de situatie met de grootste doorpons kracht maatgevend is. Voor de uitvoering wordt onder andere gebruik gemaakt van een rupsgraafmachine Liebherr R906 (22.500 kg). De benodigde gegevens voor het bepalen van de doorpons kracht zijn weergegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.3: Parameters voor het bepalen van de doorponskracht

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
-	Rupsbreedte	0,6 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]
-	Rups lengte	3,648 m	Afkomstig van liebherr R906 [1]
C_{golf}	Dempingsfactor golfslag	1	Toplaag direct aangebracht op ondergrond
d	Breedte van de breuksteen sortering 40-200 kg ter plaatse van het grensvlak geotextiel	0,265 m	$d = 0,5 * D$
D_{40-200}	Maximale D_{85} van de steen sortering 40-200	0,53 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
F_R	Doorponskracht	kN	Berekenen met behulp van formule
F_{rup}	Belastingafdracht graafmachine aan één rupsband	kN	Berekenen met behulp van formule
h	Laagdikte breuksteen	0,6 m	Afgeleid van de beschrijving van de constructie
H_s	Significante golfhoogte	1,8 m	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota Vooroeververdediging Hoedekenskerke) [2]
m	Massa graafmachine	22,500 kg	Afkomstig van liebherr R906 [1], eis stellen aan maximum gewicht van de graafmachine voor het manoeuvreren over de bekleding
$P_{Neerwaarts}$	Bovenbelasting, inclusief gewicht breuksteen	kN/m^2	Berekenen met behulp van formule
$P_{Opwaarts}$	Reactiekracht van de ondergrond	$30 kN/m^2$	$P_{Opwaarts} = F_{undr} * 0,75 = 40 * 0,75 = 30$: De grondsoort is bekend, waarna vervolgens op basis van NEN 6740 de F_{undr} is aangenomen, als eis wordt gesteld dat de ongedraineerde schuifsterkte van de kleilaag minimaal $40 kN/m^2$ moet zijn (anders zullen er dusdanige doorponskrachten uit de berekening voortkomen die niet gedragen kunnen worden)
T_p	Golfperiode bij de piek van het golfspectrum	5,4 s	Bij ontwerppeil +3,70 m NAP (Ontwerpnota Vooroeververdediging Hoedekenskerke) [2]
α	Hellingshoek	$18,4^\circ$ $2,9^\circ$	Onderste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:3 ($18,4^\circ$), afgeleid uit tekening. Bovenste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:20 ($2,9^\circ$), afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsseloo".
γ_s	Volumieke massa	$26,5 kN/m^3$	Van breuksteen volgens de NEN-EN-13383, algemene gegevens
ρ_w	massadichtheid water	$1025 kg/m^3$	Massadichtheid van zoutwater

Over de gehele kreukelberm wordt dezelfde steensortering toegepast echter is er variatie in de hellingshoek. Het bovenste deel (1:20) bevindt zich boven de maximale golfloop waardoor deze nagenoeg niet blootgesteld zal zijn aan golfslag. Daarnaast is de hellingshoek dermate klein dat wanneer het water zo hoog wordt het de vraag is of dit deel onder invloed staat van golfslag. Echter voor het zeker zijn wordt ook de doorponskracht als gevolg van de golfslag voor dit gedeelte van de kreukelberm bepaald.

Bovenste deel

De doorponskracht als gevolg van groot materieel en golfslag wordt voor dit deel van de kreukelberm bepaald.

Bepalen doorponskracht afkomstig van groot materieel op breuksteen sortering van 40-200 kg:

De belastingafdracht aan één rupsband kan berekend worden met behulp van de formule:

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{rups} = 22500 * 9,81 * 10^{-3} = 220,7 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg:

$$P_{N,mat} = \frac{F_{rups}}{\text{rupsbreedte} * \text{rups lengte}} + \gamma_s * h$$

$$P_{N,mat} = \frac{220,7}{0,6 * 3,648} + 26,5 * 0,6 = 117 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\cos(\alpha) * \frac{P_{Neerwaarts} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,265 * \left(\left(\cos(2,9) * \frac{117 * 0,53^2}{4 * 0,265} \right) - \left(\frac{30 * 0,265}{4} \right) \right) = 24 \text{ kN}$$

De trekkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{Neerwaarts} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(2,9) * \left(\frac{117 * \pi * 0,53^2}{4} \right) = 1,3 \text{ kN}$$

Bepalen doorponskracht afkomstig van golfslag op breuksteen sortering van 40-200 kg:

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met behulp van de formule:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_P^2}}}$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan(2,9)}{\sqrt{\frac{1,8}{1,561 * 5,4^2}}} = 0,25$$

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden met de volgende formule:

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{C_{golf}}$$

$$A_g = \frac{0,25}{1} = 0,25$$

De bovenbelasting geleverd door golfslag voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is:

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s * 10^{-3}$$

$$P_{golf} = 0,25 * 1025 * 9,81 * 1,8 * 10^{-3} = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\frac{(P_{\text{golf}} + \gamma_s * h) * D^2}{4d} \right) - \left(\frac{P_{\text{Opwaarts}} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,265 * \left(\left(\frac{(4,5 + 26,5 * 0,6) * 0,53^2}{4 * 0,265} \right) - \left(\frac{30 * 0,265}{4} \right) \right) = 2,8 \text{ kN}$$

De trekkracht die geleverd wordt ten opzicht van de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{\sin(\alpha) * \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(2,9) * \left(\frac{\sin(2,9) * 26,5 * \frac{0,6}{\cos(2,9)} * \pi * 0,53^2}{4} \right) = 0,01 \text{ kN}$$

Onderste deel

De doorponskracht als gevolg van groot materieel en golfslag wordt voor dit deel van de kreukelberm bepaald.

Bepalen doorponskracht afkomstig van groot materieel op breuksteen sortering van 40-200 kg:

De belastingafdracht aan één rupsband kan berekend worden met behulp van de formule:

$$F_{\text{rups}} = m * g * 10^{-3}$$

$$F_{\text{rups}} = 22500 * 9,81 * 10^{-3} = 220,7 \text{ kN}$$

De bovenbelasting van het groot materieel voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg:

$$P_{N,\text{mat}} = \frac{F_{\text{rups}}}{\text{rupsbreedte} * \text{rups lengte}} + \gamma_s * h$$

$$P_{N,\text{mat}} = \frac{220,7}{0,6 * 3,648} + 26,5 * 0,6 = 117 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\cos(\alpha) * \frac{P_{\text{Neerwaarts}} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{\text{Opwaarts}} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,265 * \left(\left(\cos(18,4) * \frac{117 * 0,53^2}{4 * 0,265} \right) - \left(\frac{30 * 0,265}{4} \right) \right) = 22,8 \text{ kN}$$

De trekkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{\text{Neerwaarts}} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(18,4) * \left(\frac{117 * \pi * 0,53^2}{4} \right) = 8,1 \text{ kN}$$

Bepalen doorponskracht afkomstig van golfslag op breuksteen sortering van 40-200 kg:

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met behulp van de formule:

$$\xi_{op} = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_p^2}}}$$

$$\xi_{op} = \frac{\tan(18,4)}{\sqrt{\frac{1,8}{1,561 * 5,4^2}}} = 1,67$$

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden met de volgende formule:

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{C_{golf}}$$

$$A_g = \frac{1,67}{1} = 1,67$$

De bovenbelasting geleverd door golfslag voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is:

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s * 10^{-3}$$

$$P_{golf} = 1,67 * 1025 * 9,81 * 1,8 * 10^{-3} = 30,2 \text{ kN/m}^2$$

De doorponskracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_R = \pi * d * \left(\left(\frac{(P_{golf} + \gamma_s * h) * D^2}{4d} \right) - \left(\frac{P_{opwaarts} * d}{4} \right) \right)$$

$$F_R = \pi * 0,265 * \left(\left(\frac{(30,2 + 26,5 * 0,6) * 0,53^2}{4 * 0,265} \right) - \left(\frac{30 * 0,265}{4} \right) \right) = 8,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Maatgevende doorponskracht}$$

De trekkracht die geleverd wordt ten opzicht van de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is dan:

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{\sin(\alpha) * \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} * \pi * D^2}{4} \right)$$

$$F_t = \sin(18,4) * \left(\frac{\sin(18,4) * 26,5 * \frac{0,6}{\cos(18,4)} * \pi * 0,53^2}{4} \right) = 0,4 \text{ kN}$$

De maatgevende doorponskracht als gevolg van het groot materieel die uit de berekeningen voortkomen zijn zo extreem groot, dat het verstandiger is om een verbod te leggen op het manoeuvreren van groot materieel. De kreukelberm is in totaal een kleine 9 meter lang waarbij er verder geen sprake is van een glooiingsconstructie. De rupskraan R906 kan met gemak over deze lengte werken zonder op de steenbekleding te manoeuvreren. Bij toepassing van een andere kraan zal bij een niet toereikende lengte van de arm een kraan moeten worden toegepast met een langere arm. Hierdoor zal er op de kreukelberm geen sprake zijn van doorponskrachten als gevolg van groot materieel en zal alleen worden uitgegaan van de golfslag.

1.1.3 Rekvermogen

Het rekvermogen van het geotextiel is afhankelijk van zowel perforatie als doorpons, hierdoor dient te worden ontworpen op het rekvermogen onder invloed van perforatie met daarop komend een doorponskracht. De benodigde rek dient te worden bepaald voor de situatie van breuksteen met een sortering van 40-200 kg op het bovenste en onderste deel. Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste benodigde rek is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de benodigde rek zijn weergegeven in tabel 6.3.

Tabel 6.3: Parameters voor het bepalen van de benodigde rek

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
A_{steen}	Oppervlakte steen breuksteen sortering 40-200	0,221 m ²	$\frac{1}{4} * \pi * D^2 = \frac{1}{4} * \pi * 0,53^2 = 0,221 \text{ m}^2$
D_{40-200}	Maximale D_{85} van de steen sortering 40-200 kg	0,53 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering
$E_{surface}$	Elasticiteitsmodulus van de ondergrond	$45 * 10^6$ N/m ²	De ondergrond bestaat uit zand, voortgekomen uit het grondonderzoek [3] waarbij vervolgens op basis van de NEN 6740 de elasticiteitsmodulus is aangenomen
F_N	Bovenbelasting gedragen door een enkele steen, inclusief gewicht steenbekleding	N	Berekenen met behulp van formule
P_{golf}	Bovenbelasting, inclusief gewicht breuksteen sortering 40-200 kg	46,1 kN/m ²	Bovenbelasting als gevolg van golfslag = P_{golf} + belasting breuksteen = $30,2 + 26,5 * 0,6 = 46,1 \text{ kN/m}^2$
Z	Indrukkingsdiepte steenbekleding	m	Berekenen met behulp van formule
$\nu_{surface}$	Coëfficiënt van Poisson van de ondergrond	0,325	De ondergrond bestaat uit zand, voortgekomen uit het grondonderzoek [3]. De coëfficiënt van Poisson voor zand ligt tussen 0,2 en 0,45, hier is de gemiddelde waarde aangehouden.

Bepalen benodigde rek onder invloed van perforatie en doorpons ten opzichte van een breuksteen sortering van 40-200 kg:

De bovenbelasting P_{Neer} is berekend per m², omdat het hier gaat om een enkele steen dient de bovenbelasting per steen bepaald te worden, dit kan met behulp van de volgende formule:

$$F_N = P_{Neer} * A_{steen}$$

$$F_N = 46,1 * 0,221 = 10,2 \text{ kN}$$

De indrukking in zand is te bepalen met behulp van de volgende formule:

$$Z = 0,3 * D + \sqrt{\left(\frac{F_N * \pi * (1 - \nu_{surface}^2)}{2 * E_{surface} * \tan(26,57)}\right)}$$

$$Z = 0,3 * 0,53 + \sqrt{\left(\frac{10,2 * 10^3 * \pi * (1 - 0,325^2)}{2 * 45 * 10^6 * \tan(26,57)}\right)} = 0,184 \text{ m}$$

De verhouding is als volgt:	Lengte inklemming (0,75 D)	≥	Indrukking (Z)
	0,75 * 0,53 = 0,398	≥	0,184

Hierdoor kan de volgende formule worden aangehouden voor de lengte vervorming van het geotextiel:

$$\Delta L = D * \left(\frac{\pi}{180}\right) * 2 * \sin^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(Z^2 + (0,75D)^2)}}{D}\right)$$

$$\Delta L = 0,53 * \left(\frac{\pi}{180}\right) * 2 * \sin^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(0,184^2 + (0,75 * 0,53)^2)}}{0,53}\right) = 0,44 \text{ m}$$

Het oppervlak bij vervorming van het geotextiel:

$$\Delta A = \pi * \Delta L^2 = \pi * 0,44^2 = 0,62 \text{ m}^2$$

Het oppervlak van het geotextiel in vlakke positie:

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi * Diameter^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5D)^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5 * 0,53)^2 = 0,496 \text{ m}^2$$

De rek van het geotextiel:

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1\right) * 100\% = \left(\frac{0,62}{0,496} - 1\right) * 100\% = 25 \% \rightarrow \text{Maatgevende benodigde rek}$$

1.1.4 Treksterkte

De uitvoeringswijze betreft uitvoering in den droge, gedurende de uitvoering in den droge is het geotextiel onderhevig aan trekkrachten tijdens het uitrollen en het aanbrengen van de breuksteen en tijdens het manoeuvreren van groot materieel op de steenbekleding. Aan de uitvoering wordt echter de eis gesteld dat er geen zwaar materiaal over de bekleding mag rijden. Hierdoor wordt het geotextiel alleen in de gebruiksfase belast als gevolg van het bekledingsmateriaal. De treksterkte dient voor twee situaties bepaald te worden, dit zijn voor het onderste (1:3) en het bovenste deel (1:20). Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste trekkracht is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de treksterkte zijn weergegeven in tabel 6.4.

Tabel 6.4: Parameters voor het bepalen van de trekkracht

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
F _{tt}	Totale trekkracht	kN/m ¹	Berekenen met behulp van formule
G	Gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak	kN/m ²	Berekenen met behulp van formule
G _{geo}	Gewicht van het geotextiel bij steen sortering 40-200 kg	0,90 kg/m ²	Met behulp van de formule van Lawson : G _{geo} = 1,2 * 2 ^{0,5} * 0,53 = 0,90 kg/m ²
G _{stort}	Minimale storthoeveelheid van de steen sortering 40-200 kg	1000 kg/m ²	Afgeleid vanuit de ontwerptekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsseloo".
L _{geo}	Lengte geotextiel loodrecht op de glooiing	6,96 m 1,90 m	Onderste deel: afgeleid uit tekening. Bovenste deel: afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsseloo".
α	Hellingshoek	18,4° 2,9°	Onderste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:3 (18,4°), afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsseloo". Bovenste deel: Kreukelberm bevindt zich onder een helling van 1:20 (2,9°), afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsseloo".
δ _w	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond	10,8°	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de wrijvingshoek is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt) = 32,5°: omdat klei een halfruw materiaal is wordt hier de factor van 1/3 over gedaan, dit wordt dan: 1/3 * 32,5 = 10,8°

Bovenste deel

De treksterkte als gevolg van de gebruiksfase wordt voor dit deel van de kreukelberm bepaald.

Eerst dient de eis bepaald te worden of het geotextiel ten opzichte van de basislaag (klei) wilt afschuiven. De veiligheid tegen afschuiven is dan:

$$\frac{\tan(\delta_w)}{\tan(\alpha)} = \frac{\tan 10,8}{\tan 2,9} = 3,8 > 1$$

Hieruit blijkt dat het geotextiel niet wil afschuiven, er vinden dus geen trekkrachten plaats op het geotextiel.

Onderste deel

De treksterkte als gevolg van de gebruiksfase wordt voor dit deel van de kreukelberm bepaald.

Eerst dient de eis bepaald te worden of het geotextiel ten opzichte van de basislaag (klei) wilt afschuiven. De veiligheid tegen afschuiven is dan:

$$\frac{\tan(\delta_w)}{\tan(\alpha)} = \frac{\tan 10,8}{\tan 18,4} = 0,57 < 1$$

Hieruit blijkt dat het geotextiel wil afschuiven, er vinden dus trekkrachten plaats op het geotextiel.

Bepalen treksterkte tijdens de gebruiksfase ten opzichte van een breuksteen sortering van 40-200 kg:

Het gewicht van het geotextiel kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$G = (G_{stort} + G_{geo}) * g$$

$$G = (1000 + 0,90) * 9,81 = 9818 \text{ N/m}^2 = 9,82 \text{ kN/m}^2$$

De maximale trekkracht die in het geotextiel kan optreden is dan:

$$F_t = G * L_{geo} * (\sin(\alpha) - \tan(\delta) * \cos(\alpha))$$

$$F_t = 9,82 * 6,96 * (\sin(18,4) - \tan(10,8) * \cos(18,4)) = 9,2 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Maatgevende trekkracht}$$

Bepalen treksterkte afkomstig van doorponskracht door groot materieel op breuksteen sortering van 10-60 kg:

De maatgevende trekkracht voor de situatie met een breuksteen sortering van 40-200 kg is bepaald in paragraaf 1.1.2:

$$F_t = 8,1 \text{ kN}$$

De geleverde trekkracht zal deels opgenomen worden door het geotextiel en deels door de wrijving tussen het geotextiel en de ondergrond, de totale trekkracht op het geotextiel is dan:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{D}$$

$$F_{tt} = \frac{8,1 - \left(\frac{8,1 \cdot \tan(10,8)}{\tan(18,4)} \right)}{0,53} = 6,5 \text{ kN/m}$$

1.1.5 Gronddichtheid

De gronddichtheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 6.2. Op basis van deze graderingskromme is tabel 6.5 met omgevingscondities en grondgegevens opgesteld.

Tabel 6.5: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de gronddichtheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Belastingsgeval	Mobiliteit korreldeeltjes
0,024	0,125	0,175	0,225	0,485	0,785	Dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel	Instabiele grond

Op basis van de grondeigenschappen en het belastinggeval die van toepassing is op de constructie, kan de criteria die van toepassing is op de constructie bepaald worden. Hieruit komen de volgende criteria waar de gronddichtheid van het geotextiel op bepaald kan worden naar voren.

$$O_{95} < 1,5 * D_{10} * \sqrt{C_u} = 1,5 * 24 \mu m * \sqrt{9,375} = 110 \mu m \rightarrow \text{Maatgevende openingsgrootte}$$

en

$$O_{95} < 300 \mu m$$

1.1.6 Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 6.2. Op basis van deze graderingskromme, de pakking van de grond en de stroming van het water, zie tabel 6.6, kan de waterdoorlatendheid van het geotextiel bepaald worden.

Tabel 6.6: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de waterdoorlatendheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Pakking	Stroming	Samenhang
0,024	0,125	0,175	0,225	0,485	0,785	Middelmatige gepakte grond	Niet-stationaire stroming	Niet cohesieve grond

In eerste instantie dient de uniformiteit van de ondergrond bepaald te worden:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_U = \frac{0,225}{0,024} = 9,4$$

Op basis van de uniformiteit kan gesteld worden met behulp van de volgende eis of de grond uniform of niet-uniform is:

$$C_u > 5 = 9,4 > 5 \rightarrow \text{Dit betekent dat de grond niet uniform is.}$$

Voor niet-uniforme grondsoorten geldt bepaling van de waterdoorlatendheid op basis van de methode van Beyer.

$$k_p = c_B * (D_{10})^2$$

De C_B kan bepaald worden volgens de figuur van Beyer, hieruit volgt een factor 0,008. De waterdoorlatendheid van de grond wordt dan:

$$k_p = 0,008 * (0,024)^2 = 4,61 * 10^{-6} \text{ m/s}$$

Vervolgens kan met onderstaande formule de waterdoorlatendheid van het geotextiel worden berekend.

$$k_{\text{geotextiel}} = c_m \cdot k_{\text{grond}}$$

De c_m is een veiligheidsfactor op basis van de stroming van het water en de samenhang van de ondergrond. Op basis van deze gegeven volgt een waarde van c_m van 10. De waterdoorlatendheid van het geotextiel moet dan minimaal zijn:

$$k_{\text{geotextiel}} = 10 * 4,61 * 10^{-6} = 4,6 * 10^{-5} \frac{m}{s} = 4,6 * 10^{-2} \text{ mm/s}$$

1.2 Afwegingsaspecten geotextielen

De afweging tussen de geotextielen zal in twee stappen plaats vinden, de eerste afweging is specifiek op de eigenschappen en de tweede afweging is naar de vraag en aanbod van het geotextiel. Het is vanzelfsprekend dat de eigenschappen van het geotextiel moeten voldoen op robuustheid en functionaliteit, om zorg te dragen dat de (dijk)constructie niet zal bezwijken tijdens de gebruiksfase. Daarnaast dient ook naar de verkrijgbaarheid en de kosten van het geotextiel te worden gekeken.

De scores van de geotextielen in de afweging op de verschillende afwegingsaspecten zijn onderverdeeld in een drietal niveaus, dit zijn 3 punten, 1 punt en 0 punten. Deze onderverdeling is gemaakt op basis van of het voldoet, twijfelachtig is of onvoldoende is. Er is geen lineair verloop aangehouden voor de puntenindeling, dit omdat een geotextiel dat twijfelachtig scoort op een aspect niet gelijk is aan de helft van een geotextiel dat voldoende scoort op een project. Een geotextiel dat twijfelachtig is zit dichterbij een geotextiel dat onvoldoende scoort, maar is ook weer niet gelijk aan het geotextiel dat onvoldoende scoort. Daarom is gekozen voor deze middenweg.

1.2.1 Afweging specifiek op de eigenschappen

De afweging specifiek gericht op de eigenschappen gaat in op kwaliteit van het geotextiel gedurende de uitvoering en de gebruiksfase. Hieruit zal blijken wat het meest geschikte geotextiel is volgens de eisen die voortkomen uit de nieuwe ontwerprichtlijn. De weging specifiek op de eigenschappen is gelijk aan de afweging op vraag en aanbod.

1.2.1.1 Technische aspecten (75%)

De technische aspecten gaan in op de robuuste en functionele eigenschappen van het geotextiel. Dit is de belangrijkste criteria van de afweging, er wordt hier namelijk ingegaan op de kwaliteit van het geotextiel. De kwaliteit van het geotextiel draagt immers zorg voor het niet bezwijken van de (dijk)constructie. De technische aspecten hebben een waarde van 75 % op de afweging "specifiek op de eigenschappen".

De technische aspecten zijn onderverdeeld in robuustheid en functionaliteit, ofwel de sterkte die het geotextiel moet hebben om niet te bezwijken gedurende de uitvoering en de eigenschappen die het geotextiel moet bevatten om gedurende de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren.

De afweging op technische aspecten gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 1 punt: hierbij zijn de eigenschappen van het geotextiel twijfelachtig, ten opzichte van de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 0 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel niet aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn.

Robuustheid

De robuustheid van het geotextiel gaat in op de sterkte die het geotextiel moet bevatten zodat het geotextiel niet bezwijkt onder extreme uitvoeringsomstandigheden. De robuustheid van het geotextiel wordt aangetoond met de treksterkte en het rekvermogen, de doorponsweerstand en de perforatieweerstand.

In de huidige Nederlandse waterbouw worden geotextielen toegepast, waarbij enkel op basis van functionaliteit is aangetoond dat het geotextiel voldoet. Er is echter onduidelijkheid over de sterkte van het geotextiel gedurende de uitvoering, terwijl dit de maatgevende eigenschappen van het geotextiel zijn. De robuustheid zal 60 % van de afweging op technische aspecten bedragen, zodat er een aantoonbaar goed geotextiel wordt toegepast dat voldoet tijdens de uitvoering. De ontstane problemen zijn namelijk allen ontstaan door schades gedurende de uitvoering.

Treksterkte en rekvermogen (18 %)

Een geotextiel dat wordt toegepast in een filterconstructie onder een breuksteen bekleding en wordt aangebracht door middel van storten in den droge, heeft als maatgevende eis: een kleine trek met een hoge rek. Zodat het tijdens de uitvoering mee kan vervormen met de te storten breuksteen en bij extreme neerwaartse belastingen, waardoor het geotextiel goed in contact is met de ondergrond. Hierdoor zal er gedurende de gebruiksfase geen beweging van de gronddeeltjes direct onder het geotextiel mogelijk zijn en zal er een natuurlijk filter achter het geotextiel gevormd worden. Dit is de meest gunstige situatie ten opzichte van de functionaliteit van het geotextiel. De verhouding tussen treksterkte en rekvermogen zal 18 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Doorponsweerstand (9%)

De doorponsweerstand van het geotextiel toont aan hoe groot de weerstand is tegen een neerwaartse belasting op het geotextiel. De neerwaartse belasting is afkomstig van het groot materieel dat tijdens de uitvoering manoeuvreert over de aangebrachte breuksteen en afkomstig van golfslag dat tijdens de gebruiksfase op de constructie breekt. Het is echter zo dat de maatgevende doorponskracht geleverd wordt door het groot materieel, wat leidt tot extreme krachten tijdens de uitvoering. Er kan echter worden geëist dat gedurende uitvoering niet over de kreukelberm mag worden gemaneuvreerd, dit zal leiden tot een veel lagere doorponskracht. Het is echter niet uit te sluiten dat het groot materieel zich hierover toch zal verplaatsen, maar door hier duidelijk op te letten kan dit vermeden worden. De doorponsweerstand dient wel te worden meegenomen in de afweging, maar door enkele maatregelen kan gesteld worden dat de doorponsweerstand maar 9 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen zal bedragen.

Perforatieweerstand (18%)

Het aanbrengen van een breuksteen bekleding geschiedt altijd door middel van storten vanaf een bepaalde valhoogte. Tijdens dit stortproces wordt er bij het treffen van het geotextiel en de ondergrond door het breuksteen een valenergie geleverd. Hierbij kunnen gaten ontstaan in het geotextiel, waarna bij eventuele verschuiving van de breuksteen het geotextiel de functie gronddichtheid niet kan waarborgen. Dit zal leiden tot uitspoeling van de onderliggende basislaag, dat bezwijken van de (dijk)constructie tot gevolg heeft. Omdat perforatie van het geotextiel niet vermeden kan worden bij een breuksteen bekleding zal de perforatieweerstand 18 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Functionaliteit

De functionaliteit gaat in op de eigenschappen die het geotextiel moet hebben om tijdens de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren. De functionaliteit van het geotextiel wordt aangetoond met de gronddichtheid, waterdoorlatendheid en kans op vermindering van de doorlatendheid.

De geotextielen die in de huidige Nederlandse waterbouw worden toegepast, worden enkel op basis van functionaliteit voorgeschreven. Hier is in het verleden door Nederlandse onderzoeksinstituten veelvuldig onderzoek naar gedaan, wat leidt tot een betrouwbaar geotextiel op basis van functionaliteit. De functionaliteit zal daarom 40 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Gronddichtheid (11,25%)

Gedurende de gebruiksfase is het toegestaan dat de kleinste 10% van de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag door het geotextiel uitspoelt. Nadat dit deel is uitgespoeld dient er achter het geotextiel een natuurlijk filter te zijn ontstaan, dat in combinatie met het geotextiel zorg draagt voor een gronddichte constructie. Op deze manier wordt uitgesloten dat de dijkconstructie niet zal uitspoelen en niet zal bezwijken. De gronddichtheid zal 11,25 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Waterdoorlatendheid (11,25%)

Bij een variërend waterpeil, zal het waterpeil in de dijk moeten mee schommelen om zo waterstand verschillen te voorkomen. Het geotextiel dat dient als filterconstructie zal een waterdoorlatendheid moeten bevatten wat groter is dan de waterdoorlatendheid van de achterliggende basislaag om zo wateroverdrukken en -onderdrukken te voorkomen. Wateroverdruk in de dijk leidt namelijk tot het uitdrukken van de steenbekleding, terwijl wateronderdruk leidt tot extreme drukkrachten op de ondergrond, wat resulteert in verzakking van de dijkbekleding. De waterdoorlatendheid zal 11,25 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Vermindering doorlatendheid (7,5%)

Naast het voorkomen van uitspoeling van de onderliggende laag en het voorkomen van wateroverdrukken en -onderdrukken dient het geotextiel niet dicht te slibben doordat de korreldeeltjes van de onderliggende laag zich ophopen in het geotextiel. Dit leidt namelijk tot stroomafwaarts transportletsel, wat vervolgens wateroverdrukken in de dijk veroorzaakt. De vermindering van de doorlatendheid zal 7,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

1.2.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit (25%)

De aantoonbaarheid van de kwaliteit is enkel van toepassing op de eigenschappen die gedurende de uitvoering van uiterst belang zijn. Dit zijn het rekvermogen en de perforatie weerstand van het geotextiel. De aantoonbaarheid van de kwaliteit van het geotextiel geschiedt door middel van testen, het is meer een afweging tussen de testen die gebruikt zijn voor huidige toegepaste geotextielen en de testen die toegepast worden volgens de nieuwe ontwerprijlijn om de kwaliteit van het geotextiel aan te tonen. Hier wordt in feite gekeken naar de geschiktheid van de testen voor de belangrijkste parameters op een specifiek eigenschap.

De afweging op de aantoonbaarheid van de kwaliteit gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef die daadwerkelijk de kwaliteit aantoont van het geotextiel die benodigd is gedurende de uitvoeringsfase;
- 1 punt: hierbij kunnen de eigenschappen van het geotextiel aangetoond worden met een proef. Echter uit deze proef volgt niet de daadwerkelijke kwaliteit die gedurende de uitvoeringsfase benodigd is, maar volgt er een eigenschap van het geotextiel die is aangetoond bij belastingen of omstandigheden die niet gelijk zijn aan de daadwerkelijke belastingen of omstandigheden.
- 0 punten: hierbij is er geen proef aanwezig die de kwaliteit van het geotextiel aantoont.

Rek (12,5%)

Het rekvermogen is te bepalen met behulp van de testen “val test” en de “doorpons test”. Hier zal een onderscheid worden gemaakt tussen de testen die nu gehanteerd worden en de testen die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moeten worden gehanteerd. De test rek zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Perforatie (12,5%)

De perforatieweerstand van het geotextiel is te bepalen met behulp van de test “val test”. Hier zal net als bij de trek -rek proef onderscheid worden gemaakt tussen de test die nu gehanteerd wordt en de test die volgens de nieuwe ontwerprichtlijn moet worden gehanteerd. De test op perforatie zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

1.2.2 Afweging op vraag en aanbod

Naast de afweging specifiek gericht op de eigenschappen van het geotextiel, dient er een afweging op verkrijgbaarheid en kosten van het geotextiel gemaakt te worden. Indien er nagenoeg geen verschil is tussen de eigenschappen van het geotextiel, kan er op basis van de verkrijgbaarheid of kosten gekozen worden voor het geschikte geotextiel. De weging van vraag en aanbod is gelijk aan de weging die specifiek ingaat op de eigenschappen van het geotextiel.

Verkrijgbaarheid (30%)

De verkrijgbaarheid van het geotextiel gaat voornamelijk over waar het geotextiel is te verkrijgen. Is het geotextiel te verkrijgen bij een leverancier in Nederland waar al meerdere malen producten zijn besteld of is het geotextiel enkel te verkrijgen bij een leverancier in Europa waar andere normen gelden. De verkrijgbaarheid zal 30 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de verkrijgbaarheid van het geotextiel gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij gaat het om een Nederlands bedrijf dat al meerdere malen een geotextiel heeft geleverd;
- 1 punt: hierbij gaat het om een Europees bedrijf dat geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt;
- 0 punten: hierbij gaat het om een leverancier buiten Europa die een specifiek geotextiel kan leveren.

Kosten (70%)

De kosten van het geotextiel geven bij nagenoeg gelijke eigenschappen van een geotextiel de doorslag voor de keuze van het geotextiel. De kosten zal 70 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de kosten van het geotextiel gebeurt op basis van een viertal niveaus, dit zijn:

- 0 punten: bij een prijs per m² > € 12,-;
- 1 punten: bij een prijs per m² € 8,00 – € 12,-;
- 2 punt: bij een prijs per m² € 4,00 – € 8,00;
- 3 punten: bij een prijs per m² < € 4,00.

1.3 Scores geotextiel

In deze paragraaf worden de scores per geotextiel op de aspecten toegelicht. Op basis van deze scores kunnen de afwegingen tussen de verschillende geotextielen worden gemaakt.

1.3.1 Propex 60-7050

Het geotextiel dat op basis van de standaard eisen die gehanteerd worden door projectbureau Zeeweringen een composiet toegepast, bestaande uit een propex 60-7050 weefsel + beschermvlies 170 g/m². De eigenschappen van dit composiet met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.7.

Tabel 6.7: Eigenschappen huidig geotextiel met de gestelde eisen

Propex 60-750, type II + beschermvlies 170 gr/m ²	PP bandjes weefsel			vlies			Maatgevende eigenschappen			Eisen
	ketting	inslag		ketting	inslag		ketting	inslag		
Treksterkte	55	55	kN/m	1,5	1,7	kN/m	55	55	kN/m	≥ 9,2 kN/m
Rekvermogen	11	9	%	78	60	%	11	9	%	≥ 25 %
Doorpons	4,5		kN	0,2		kN	4,7		kN	≥ 8,5 kN
Perforatie	10		mm	-		mm	10		mm	≥ 5539 Nm
Grondichtheid	230		µm	100		µm	100		µm	≤ 110 µm
Waterdoorlatendheid	25		mm/s	25		mm/s	25		mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte	1,3		mm	1		mm	2,3		mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	220		g/m ²	170		g/m ²	390		g/m ²	≥ 900 g/m ²
Kosten							€ 3,50		per/m ²	n.v.t. per/m ²

1.3.1.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding tussen een kleine treksterkte met een hoog rekvermogen is niet van toepassing. Daarnaast is het rekvermogen van het geotextiel lager dan de minimale vereiste rek. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is lager dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een grotere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel niet voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 100/30 = 3,3 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel zijn er de conus valtest en de doorponstest uitgevoerd, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. De conus valtest wordt echter uitgevoerd met een maximale hoogte van 0,5 meter, terwijl in de praktijk vanaf een hogere hoogte wordt gestort. De doorponstest daarin tegen wordt wel uitgevoerd op basis van de werkelijke belasting tijdens de uitvoering. Hieruit blijkt dat er wel een test wordt uitgevoerd, maar dat de test zelf niet voldoende kwaliteit aantoont.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de conus valtest uitgevoerd, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. De conus valtest wordt echter uitgevoerd met een maximale hoogte van 0,5 meter, terwijl in de praktijk vanaf een hogere hoogte wordt gestort. Hieruit blijkt dat er wel een test wordt uitgevoerd, maar dat de test zelf niet voldoende kwaliteit aantoont.

1.3.1.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel is al vele malen toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die gehanteerd wordt voor dit geotextiel door projectbureau "Zeeweringen" bedraagt € 3,50.

1.3.2 Geofabrics HPS 9

Het geotextiel dat op basis van de eisen: doorpingssterkte, perforatieweerstand en functionaliteit volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen, is een geofabrics HPS 9 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.8.

Tabel 6.8: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Geofabrics HPS 9 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	50	kN/m	≥ 9,2 kN/m
Rekvermogen	80	%	≥ 25 %
Doorpons	9	kN	≥ 8,5 kN
Perforatie	2	mm	≥ 5539 Nm
Gronddichtheid	70	µm	≤ 110 µm
Waterdoorlatendheid	4,8	mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte	6	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	907	g/m ²	≥ 900 g/m ²
Kosten	€ 11	€ per/m ²	n.v.t. per/m ²

1.3.2.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding een kleine treksterkte met een hoog rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens zit zowel de treksterkte als het rekvermogen van het geotextiel relatief dicht in de buurt van de eis. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formules van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 70/30 = 2,3 < 3$, voldoet hier niet aan.

1.3.2.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.2.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een bedrijf in Engeland wat hun geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 11,- per m².

1.3.3 TenCate Polyfelt PP 400

Het geotextiel dat op basis van de eisen, doorpingssterkte en perforatieweerstand volgens de nieuwe ontwerprichtlijn, is gekozen betreft een TenCate Polyfelt Geolon PP 400 weefsel. De eigenschappen van dit weefsel met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.9.

Tabel 6.9: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

TenCate Polyfelt PP 400-weefsel	Eigenschappen		Eisen	
	(ketting)	(inslag)		
Treksterkte	440	400	kN/m	≥ 9,2 kN/m
Rekvermogen	10	9	%	≥ 25 %
Doorpons		12	kN	≥ 8,5 kN
Perforatie		7	mm	≥ 5539 Nm
Gronddichtheid		250	µm	≤ 110 µm
Waterdoorlatendheid		10	mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte		n.v.t.	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid		950	g/m ²	≥ 900 g/m ²
Kosten		€ 15	€ per/m ²	n.v.t. per/m ²

1.3.3.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding een kleine treksterkte met een hoog rekvermogen is hier duidelijk niet aanwezig. Als gevolg van de golfslag wordt een doorpingskracht geleverd die op het geotextiel werkt. Echter door de extreem hoge trekkrachten van het geotextiel zal er geen rek optreden maar zal de kracht worden opgenomen door de trekkracht. Hierdoor zal het oppervlak van het geotextiel niet geheel in contact staan met de ondergrond waardoor de gronddichtheid van het geotextiel niet kan worden gewaarborgd. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Doorpons

De doorpingsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorpingskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formule van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel voldoet.

Grondichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is groter dan de maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte waardoor een onzekere grondichtheid van het geotextiel wordt verkregen. Dit betekent dat het geotextiel niet voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 250/30 = 8,3 > 3$, voldoet hieraan.

1.3.3.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.3.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een Nederlands bedrijf, waar dikwijls geotextielen worden besteld.

Kosten

De prijs is bepaald op basis van de catalogus van Joosten kunststoffen [5], waarbij de prijs voor dit geotextiele vlies op aanvraag is. Het geotextiel met iets lichtere (minder treksterkte, etc.) eigenschappen is € 13,45 per m². Hierdoor wordt de richtprijs gehouden op € 15,- per m².

1.3.4 TenCate Polyfelt P 100

Het geotextiel dat op basis van de eisen, doorpingssterkte en functionaliteit volgens de nieuwe ontwerprichtlijn, is gekozen betreft een TenCate polyfelt P 100 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.10.

Tabel 6.10: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

TenCate Polyfelt P 100 -vlies	Eigenschappen		Eisen
	(ketting)	(inslag)	
Treksterkte	55	kN/m	≥ 9,2 kN/m
Rekvermogen	105	100 %	≥ 25 %
Doorpons	9,6	kN	≥ 8,5 kN
Perforatie	6	mm	≥ 5539 Nm
Gronddichtheid	75	µm	≤ 110 µm
Waterdoorlatendheid	10	mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte	7,2	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	1000	g/m ²	≥ 900 g/m ²
Kosten	€ 11	€ per/m ²	n.v.t. per/m ²

1.3.4.1 Technische aspecten

Trek -rek

De verhouding een kleine treksterkte met een hoog rekvermogen is hier duidelijk aanwezig. Tevens zit zowel de treksterkte als het rekvermogen van het geotextiel relatief dicht in de buurt van de eis. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Doorpons

De doorponsweerstand van het geotextiel is hoger dan de vereiste doorponskracht. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Perforatie

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formules van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 75/30 = 2,5 > 3$, voldoet hier niet aan.

1.3.4.2 Aantoonbaarheid kwaliteit

Rek

Om het rekvermogen aan te tonen van het gekozen toegepaste geotextiel kunnen de valtest en de doorponstest worden uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Beide testen kunnen zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

Perforatie

Om de perforatieweerstand aan te tonen van het werkelijke toegepaste geotextiel wordt de valtest uitgevoerd, zie hoofdstuk 5 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De test kan zo worden uitgevoerd dat de belastingen of omstandigheden gelijk zijn aan de belastingen of omstandigheden uit de praktijk.

1.3.4.3 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een Nederlands bedrijf, waar dikwijls geotextielen worden besteld.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 11,- per m².

1.4 Toetsing

In deze paragraaf worden de Multicriteria analyses specifiek op de eigenschappen en vraag en aanbod weergegeven in tabel vorm, dit geeft een duidelijk beeld van de afweging. De Multicriteria analyses worden weergegeven als blanco en ingevuld.

1.4.1 Blanco Multicriteria analyse

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 6.11. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.11: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen							
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100
Technische aspecten	70%	<i>Robuustheid</i>					
		Trek - rek	18%				
		Doorpons	0%				
		Perforatie	18%				
		<i>Functionaliteit</i>					
		Grondichtheid	11,25%				
		Waterdoorlatendheid	11,25%				
Vermindering doorlatendheid	7,5%						
Aantoonbaarheid kwaliteit	30%	Rek	12,5%				
		Perforatie	12,5%				
Totaal	100%						

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 6.12. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 4.12: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100
Verkrijgbaarheid	30%				
Kosten	70%				
Totaal	100%				

De afweging specifiek op de eigenschappen (50% van de totale afweging) en de afweging vraag en aanbod (50% van de totale afweging), worden samen in een kleine Multicriteria analyse gezet waaruit blijkt welk geotextiel het meest geschikt is op basis technische aspecten, aantoonbaarheid kwaliteit, de verkrijgbaarheid en de kosten, zie tabel 6.13.

Tabel 6.13: Blanco Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100
Specifiek op de eigenschappen	50%				
Vraag & aanbod	50%				
Eindwaarde	100%				

1.4.2 Ingevulde Multicriteria analyse

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 6.14. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.14: Inge vulde Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen								
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100	
Technische aspecten	70%	<i>Robuustheid</i>						
		Trek - rek	18%	0	3	0	3	
		Doorpons	9%	0	3	3	3	
		Perforatie	18%	0	3	3	3	
		<i>Functionaliteit</i>						
		Gronddichtheid	11,25%	3	3	0	3	
		Waterdoorlatendheid	11,25%	3	3	3	3	
Vermindering doorlatendheid	7,5%	3	0	3	0			
Aantoonbaarheid kwaliteit	30%	Rek	12,5%	1	3	3	3	
		Perforatie	12,5%	1	3	3	3	
Totaal	100%			1,15	2,78	2,12	2,78	

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 6.15. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.15: Inge vulde Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100
Verkrijgbaarheid	30%	3	1	3	3
Kosten	70%	3	1	0	1
Totaal	100%	3	1	1,5	2

De ingevulde eind afweging is weergegeven in tabel 6.16. Het geotextiel met de hoogste score is het meest geschikte geotextiel dat in deze constructie kan worden toegepast.

Tabel 6.16: Ingevulde Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging					
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Propex 60-750	Geofabrics HPS 9	Polyfelt PP 400	Polyfelt P 100
Specifiek op de eigenschappen	50%	1,15	2,78	2,12	2,78
Vraag & aanbod	50%	3	1	1,5	2
Eindwaarde	100%	2,08	1,89	1,81	2,39

1.5 Gevoeligheidsanalyse

Voor het uitvoeren van de gevoeligheidsanalyse worden twee van de afgewogen geotextielen beschouwd. Allereerst wordt nagegaan of er eisen aan de uitvoering kunnen worden gesteld met betrekking tot het voldoen van het standaard geotextiel dat door projectbureau "Zeeweringen" wordt toegepast. Ook wordt geanalyseerd of er eisen aan de uitvoering kunnen worden gesteld voor het meest geschikte geotextiel vanuit de objectieve beoordeling. Hierdoor kan een geoptimaliseerd ontwerp worden gemaakt voor het geotextiel met aanvullende uitvoeringseisen waardoor de het geotextiel in tact blijft en de functie gegarandeerd wordt.

1.5.1 Geotextiel vanuit projectbureau Zeeweringen

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel "ProPex 60-7050+beschermvlies 170 g/m²" dat volgens projectbureau "Zeeweringen" als standaard wordt toegepast niet voldoet op robuustheid. Wanneer gekozen wordt om dit geotextiel toch toe te passen dienen er eisen te worden gesteld aan de uitvoering.

Perforatieweerstand

Het geotextiele weefsel met een beschermvlies heeft een lagere perforatieweerstand dan de perforatiekrachten die vanuit de uitvoering optreden. De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formule van Lawson hanteert, zie CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [4]. Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte: $m_a > C_s \times H^{0,5} \times D_{85}$. Op basis van deze formule kan berekend worden welke valhoogte gehanteerd moet worden bij de maatgevende breuksteen sortering 40-200 kg en een geotextiel met een massa van 0,39 kg/m².

$$m_a = C_s * H^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 0,376^{0,5} * 0,53 = 0,39 \text{ kg/m}^2$$

Minimale benodigde gewicht 0,39 kg/m² ≤ Massa geotextiel 0,39 kg/m² VOLDOET

De maximale storthoogte die gehanteerd mag worden is 0,376 meter, hierbij is een geotextiel benodigd met een massa van 0,39 kg/m² terwijl het gewicht van het geotextiel 0,39 kg/m². Met een maximale storthoogte van 0,38 meter zou het geotextiel voldoen. Dit is ten opzichte van een maximale storthoogte van 2 meter waarop is ontworpen.

Treksterkte en rekvermogen

Het geotextiel voldoet ook niet aan de combinatie treksterkte en rekvermogen. Het geotextiele doek beschikt namelijk niet over het minimaal benodigde rekvermogen. Echter vanuit het ontwerp zijn er geen eisen te stellen aan de uitvoering wat betreft het rekvermogen, omdat deze voornamelijk afhankelijk is van de diameter van de toegepaste steen. Dit zou betekenen dat er een andere steensortering zou moeten worden toegepast wat echter niet mogelijk is vanuit de hydraulische randvoorwaarden waar de bepaalde steensortering op gebaseerd is. Vanuit dit oogpunt is er geen mogelijkheid tot het laten voldoen van het standaard geotextiel waardoor een ander geotextiel dient te worden gekozen en toegepast.

Doorponsweerstand

Wat de doorponsweerstand van het geotextiel betreft is deze geheel afhankelijk van de doorponskracht die geleverd wordt door de golfslag. Deze invloed is aanwezig op de projectlocatie en kan niet worden gereduceerd door de uitvoeringswijze aan te passen door bijvoorbeeld een kraan met een mindere massa, omdat vanuit het ontwerp al wordt vereist dat groot materieel niet op het geotextiele doek mag rijden. Vanuit dit oogpunt is er geen mogelijkheid tot het laten voldoen van het standaard geotextiel waardoor een ander geotextiel dient te worden gekozen en toegepast.

1.5.2 Geotextiel vanuit objectieve beoordeling

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel "TenCate Polyfelt P100" het meest geschikte geotextiel is dat kan worden toegepast. Het geotextiel voldoet enkel niet aan het criteria van de vermindering van de doorlatendheid op basis van de D_{15} van de ondergrond. Dit betekent dat er in de gebruiksfase mogelijk een vermindering van de doorlatendheid kan optreden als gevolg van clogging en blocking. Naast het criterium wat gesteld wordt van de ondergrond is ook de dikte van het geotextiel van invloed op de vermindering van de doorlatendheid. De dikte van het geotextiel heeft naast de robuustheidsfunctie ook het kenmerk dat het de cloggingsweg verlengt, waardoor gevaar voor blocking en clogging afneemt. Het geotextiele vlies heeft een dikte van 7,2 mm wat tamelijk fors is gezien de meest vliezen die toe worden gepast. Hieruit kan worden gesteld dat de cloggingsweg dermate wordt verlengt dat clogging en blocking mogelijk niet op kunnen treden. Het geotextiele vlies voldoet hierdoor aan het criteria "vermindering doorlatendheid". Wanneer niet vertrouwd wordt op het voldoen van het geotextiel op de vermindering van de doorlatendheid met betrekking tot de dikte van het vlies, kan in het extreemste geval gekozen worden voor het toepassen van een grondverbetering. Hiervoor zou een grondverbetering kunnen worden toegepast waarbij dezelfde karakteristieke openingsgrootte kan worden gehanteerd en een kleinere D_{15} wordt gecreëerd. Een andere mogelijkheid is het toepassen van een kleilaag op het zandlichaam, zoals bij veel van de Zeeuwse dijkversterkingen gebeurt. Hierdoor wordt een geheel andere graderingskromme verkregen waardoor een nieuw ontwerp dient te worden gemaakt voor het geotextiele doek. Laatstgenoemde maatregelen gaan in het extreme waarbij na moet worden gegaan of deze oplossingen relevant en uitvoerbaar zijn in het kader van de omgevingscondities en budgettering.

2. Vooroever

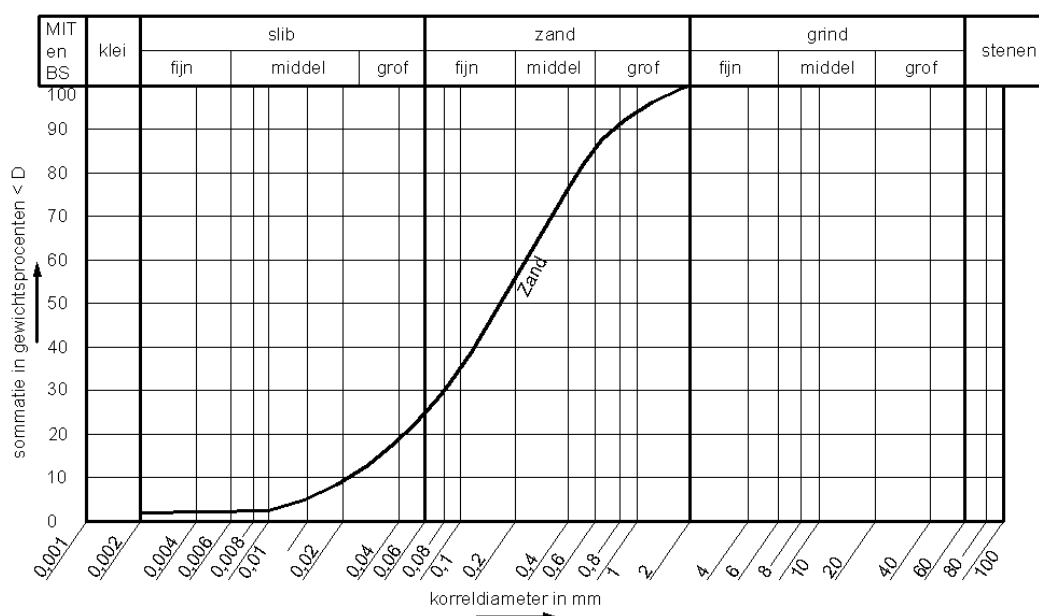
In dit deel van de bijlage wordt de nieuwe ontwerprichtlijn ter controle op de kreukelberm van de Schermdijk van het baggerspeciedepot IJsseloog toegepast. Eerst dient hier met behulp van de nieuwe ontwerprichtlijn eisen te worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel, waarop een aantal geotextielen worden gekozen. Vervolgens wordt er ingegaan op de afwegingsaspecten, waarop de verschillende geotextielen op worden afgewogen. Hierna zal er ingegaan worden op de eigenschappen van de geotextielen en de eisen die gesteld zijn, waarop de score kan worden gebaseerd. De scores van de geotextielen en de afwegingsaspecten worden vervolgens in een Multicriteria analyse ingevuld, waaruit het meest geschikte geotextiel uit volgt. Tot slot volgt er een conclusie waarin wordt aangegeven bij welke omstandigheden of belastingen het geotextiel zal voldoen tijdens de uitvoering.

Vanuit de hydraulische randvoorwaarden blijkt dat een breuksteen van 10-60 kg dient te worden toegepast. Voor deze steensortering is de eenvoudige methode niet toereikend waardoor het geotextiele doek wordt ontworpen conform de gedetailleerde methodiek.

2.1 Ontwerp geotextiel

De kreukelberm van de betreffende constructie bestaat uit breuksteen wat aangebracht is op een geotextiel, namelijk een composiet bestaande uit een weefsel met een vlies. De constructie heeft als functie het achterliggende land te beschermen tegen stromingen en golven. Het geotextiel heeft hierdoor een filterfunctie waarbij het van belang is dat juiste eisen gesteld worden aan de functionaliteit en robuustheid van het doek. Het geotextiel wordt in den natte als een kraagstuk van 12 bij 50 meter aangebracht.

Het baggerspeciedepot IJsseloog is in 1999 met behulp van een spoeiponton aangelegd. Met behulp van het spoeiponton is een zandlichaam onder water (hydraulisch) aangebracht. De ondergrond van de kreukelbermconstructie geldt tevens voor de vooroeverconstructie omdat het zandlichaam met hetzelfde zand en op dezelfde wijze is aangebracht. Het zandlichaam is niet verdicht, echter door de aanbrenging onder water heeft het zand zich zodanig kunnen vestigen dat sprake is van een matige pakking. Voor de ondergrond wordt schoon zand met een matige consistentie aangehouden met eigenschappen conform de NEN 6740. De graderingskromme behorend aan de zandsoort is in figuur 6.3 weergegeven.



Figuur 6.3: Graderingskromme schoon zand

Er dient een ontwerp te worden gemaakt voor een steensortering van 10-60 op een zinkstuk waarvoor de eenvoudige methode kan worden toegepast. Om de ontwerprichtlijn echter aan een vooroeververdedigingsconstructie te controleren zal tevens de gedetailleerde methode worden uitgevoerd. Vervolgens zal een geotextiel doek op basis van de eenvoudige methode en twee geotextiele doeken op basis van de gedetailleerde methode worden gekozen. Hiervoor wordt gekozen omdat de eenvoudige methode als standaard wordt gehanteerd en zo de verschillen tussen eenvoudig en gedetailleerd ontwerpen naar buiten kan worden gebracht. Tenslotte zal aan de hand van een objectieve beoordeling het meest geschikte geotextiel worden verkregen.

2.1.1 Eenvoudige methode

De eenvoudige methode zal tot een ontwerp leiden voor het geotextiel op basis van een grond- en steenclassificatie. Voor de functionaliteit van het geotextiel wordt uitgegaan van de grondclassificatie. Wat de robuustheid betreft maakt men gebruik van een steenclassificatie.

2.1.1.1 Functionaliteit

Gezien de graderingcurve van het zand wat aanwezig is bij de Schermdijk van het baggerspeciedepot IJsseloog wordt gesteld dat de grondsoort behoort aan grondklasse 3. Het zand heeft geen hoge hoeveelheid aan kleine (grondtype 4) en grove (grondtype 1) korrelfractie en is daarbij niet uniform (grondtype 2). Hierdoor behoort de grondsoort tot grondtype 3. Daarnaast behoort de zandgrond niet tot de samenhangende gronden. Vervolgens kan met behulp van tabel 1: eenvoudige methode functionaliteit, zie hoofdstuk 2 van "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" eisen worden gesteld aan de grond dichtheid en waterdoorlatendheid van het geotextiel, zie tabel 6.17.

Tabel 6.17: Bepaling functionaliteitseisen

Onder een waterdoorlatende toplaag				
1	2	3	4	5
Nr.	Grondtype van ondergrond	Toelaatbaar grondverlies		Kn waarde van grond gevulde geotextiel (m/s)
		Totaal afgedragen gewicht (Mt) grond (g/184 cm ²)	Afgedragen gewicht (M1) grond (g/184 cm ²)	
3	Grondtype 3	$M_t \leq 300$	$M_1 \leq 30$	$Kn \geq 1 \cdot 10^{-4}$

2.1.1.2 Robuustheid

Op basis van de steenclassificatie die zal worden toegepast worden eisen gesteld aan de robuustheid van het geotextiele doek. In de Schermdijk op het baggerspeciedepot IJsseloog is breuksteen 10-60 kg/m² toegepast. Vervolgens kan met een tabel van de eenvoudige methode van de ontwerprichtlijn worden bepaald welke eisen aan de robuustheid van het geotextiel dienen te worden gesteld, zie tabel 6.18.

Tabel 6.18: Ontwerpeisen aan de robuustheid van het geotextiel

Nr.	Materiaaleigenschap		Waterbouwsteen LMB _{10/60} (90 kg)
1	Treksterkte volgens DIN EN ISO 10319 in lengte en dwarsrichting (kN/m)		≥ 14,0
3	Rekvermogen	In den natte (%)	≥ 32,0
4	Slijtsterkte		De resterende treksterkte mag na de test met niet meer dan 25 % zijn afgenomen
5	Perforatieweerstand (Nm)		≥ 2208

Vanuit de eenvoudige methode worden bovenstaande waarden als eis gesteld aan de eigenschappen van het geotextiele doek.

2.1.2 Gedetailleerde methode

Het gedetailleerde ontwerp gaat dieper op de eigenschappen van het geotextiel in door middel van rekenregels.

2.1.2.1 Perforatie weerstand

De vooroeververdedigingsconstructie wordt aangelegd door de uitvoering in den natte omdat deze zich onder de normale stilwaterlijn bevindt. Het construeren van een kraagstuk op een zate met transport naar de locatie van verwerking is hierbij van toepassing. Vervolgens wordt met een kraan het bestortingsmateriaal aangebracht. De vooroeverconstructie bestaat uit twee delen, namelijk een vlak deel en een deel onder een helling (1:4). Op beide delen is de opbouw van de bekleding hetzelfde. Afhankelijk van de helling kunnen de optredende belastingen groter of kleiner zijn waardoor voor beide delen een afzonderlijke ontwerp wordt gemaakt. Het deel met de grootste waarden met betrekking tot de optredende belastingen wordt als maatgevend beschouwd. Voor het ontwerp zal voor de vooroeverconstructie geen onderscheid worden gemaakt in het toe te passen geotextiel. Er wordt één type geotextiel toegepast, namelijk het type voor de maatgevende waarden. De benodigde gegevens voor het bepalen van de valenergie tijdens het aanbrengen van de waterbouwsteen zijn weergegeven in tabel 6.19.

Tabel 6.19: Parameters voor het bepalen van de valenergie

Symbool	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
c_r	Reductie factor ondergrond	1	Omdat er bij het bodemonderzoek [3] geen onderzoek is gedaan naar de CBR waarde van de laag. Verondersteld wordt, omdat het gaat om een zandlaag, dat de CBR waarde tussen de 0-20 zit, dit geeft dan een reductiefactor van 1.
E_N	Valenergie loodrecht op het geotextiel	Nm	Berekenen met behulp van formule
h_{val}	Valhoogte steen	2 m	Uitgaande van een valhoogte van 2 meter, dit omdat de constructie onder een helling is aangebracht.
M_{10-60}	Maximale M_{85} van de steen sortering 10-60	78 kg	Volgens de NEN-EN-ISO-13383, maximale M_{85} van de steen sortering
α	Hellingshoek	14° 0°	Onderste deel: Vooroeverconstructie bevindt zich onder een helling van 1:4 (14°), afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog". Bovenste deel: Vooroeverconstructie is, afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog".
D_{10-60}	Maximale D_{85} van de steen sortering 10-60	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D_{85} van de steen sortering

De valenergie die loodrecht op het geotextiel werkt kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 10-60 kg (onderste deel):

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 78 * 9,81 * 2 * 1 * \cos(14) = 1856 \text{ Nm} \rightarrow \text{Maatgevend}$$

Bepalen valenergie door breuksteen sortering van 10-60 kg (bovenste deel):

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha)$$

$$E_N = 1,25 * 78 * 9,81 * 1 * 1 * \cos(0) = 957 \text{ Nm}$$

Op dit moment hanteren de leveranciers voor de perforatieweerstand van het geotextiel een maximaal gat diameter. Terwijl de ontwerprichtlijn een eis stelt aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen. Omdat er in Nederland nog nooit eisen zijn gesteld aan de valenergie die het geotextiel moet kunnen absorberen is dit ook een logische benadering. Nu er in deze ontwerprichtlijn een eis is gesteld aan de valenergie, zal dit ook in de loop van de tijd aangetoond moeten gaan worden door de leveranciers om geotextielen te kunnen leveren die voldoen aan deze eis.

Om enige inzicht te krijgen in de perforatieweerstand zal om deze reden de formule van “Lawson” worden gehanteerd, hierbij moet vermeld worden dat deze formule enkel een inschatting geeft maar geen eis stelt. Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte. Vanwege de verschillende hellingshoeken van de vooroever wordt bij het onderste deel (1:4) de valhoogte op 2 meter gehouden. Voor het bovenste vlakke gedeelte geldt tevens een maximale valhoogte van 2 meter. De minimale massa van het geotextiel is:

Bepalen minimaal benodigd gewicht bij breuksteen sortering van 10-60 kg (bovenste deel):

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,37 = 630 \text{ g/m}^2 \rightarrow \text{Maatgevend minimaal gewicht}$$

2.1.2.2 Doorponsweerstand

De doorponsweerstand van het geotextiel zal bepaald worden voor breuksteen, de vooroever is namelijk opgebouwd uit breuksteen met een sortering van 10-60 kg die in den natte wordt aangelegd. Het geotextiele doek wordt aangelegd door middel van een kraagstuk waardoor er geen groot materieel over het geotextiel en het bekledingsmateriaal manoeuvreert, en daardoor geen doorponskrachten optreden.. De waterlijn is ter hoogte van het vlakke deel van de vooroever, namelijk -0,20 NAP. Hierdoor is het alleen het vlakke deel van de vooroever onderhevig aan golfbelastingen. Echter vanwege de vlakke ligging hebben de golfinvloeden geen effect en leveren geen doorponsbelastingen, waardoor de bepaling hiervan kan worden overgeslagen.

2.1.2.3 Rekvermogen

Het rekvermogen van het geotextiel is afhankelijk van perforatie, hierdoor dient te worden ontworpen op het rekvermogen onder invloed van perforatie. De benodigde rek dient te worden bepaald voor de situatie van breuksteen met een sortering van 10-60 kg op het bovenste en onderste deel. Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste benodigde rek is maatgevend. De benodigde gegevens voor het bepalen van de benodigde rek zijn weergegeven in tabel 6.20.

Tabel 6.20: Parameters voor het bepalen van de benodigde rek

Symbol	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
D ₁₀₋₆₀	Maximale D ₈₅ van de steen sortering 10-60 kg	0,37 m	Volgens de NEN-EN-13383, maximale D ₈₅ van de steen sortering
γ	Middelpuntshoek	44 ⁰	Standaard waarde

Bovenste deel

De treksterkte als gevolg van de gebruiksfase wordt voor dit deel van de kreukelberm bepaald.

Bepalen benodigde rek onder invloed van perforatie ten opzichte van een breuksteen sortering van 10-60 kg:

De boogstraal van de vervorming van het geotextiel is te berekenen met de volgende formule.

$$R_{res} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{((0,75 D)^2 + (0,3 D)^2)}}{\tan\left(\frac{1}{2}\gamma\right)} + \tan\left(\frac{1}{4}\gamma\right) * \frac{1}{2}\sqrt{((0,75 D)^2 + (0,3 D)^2)}$$

$$R_{res} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{((0,75*0,37)^2 + (0,3*0,37)^2)}}{\tan\left(\frac{1}{2}*44\right)} + \tan\left(\frac{1}{4}*44\right) * \frac{1}{2}\sqrt{((0,75*0,37)^2 + (0,3*0,37)^2)} = 0,40 \text{ m}$$

De vervorming van het geotextiel kan bepaald worden als lengte van de kromming en is te berekenen met behulp van de volgende formule.

$$\Delta L = \frac{2\pi * R_{res} * 44}{360} = \frac{2\pi * 0,4 * 44}{360} = 0,31 \text{ m}$$

Het bepalen van de oppervlakte bij vervorming van het geotextiel kan met behulp van de volgende formule.

$$\Delta A = \pi * \text{straal}^2 = \pi * 0,31^2 = 0,3 \text{ m}^2$$

De oppervlakte van het geotextiel in een vlakke positie is te bepalen met behulp van de volgende formule

$$A_0 = \frac{1}{4}\pi * \text{Diameter}^2 = \frac{1}{4}\pi * (1,5 * 0,37)^2 = 0,242 \text{ m}^2$$

De rek van het geotextiel onder invloed van perforatie over een ingeklemd oppervlakte is te berekenen met de volgende formule.

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1\right) * 100\% = \left(\frac{0,3}{0,242} - 1\right) * 100\% = 22 \% \rightarrow \text{Maatgevende benodigde rek}$$

Onderste deel

Gezien de parameters die in de formules dienen in te worden gevuld is het rekvermogen ten gevolge van perforatie niet afhankelijk van de hellingshoek waardoor voorgaande berekening geldig is voor het onderste deel van de vooroever.

2.1.2.4 Treksterkte

De uitvoeringswijze betreft de uitvoering in den natte waarin het geotextiel onderhevig is aan trekkrachten ten gevolge van gebruik- en uitvoeringsfase. Zo dient het kraagstuk te worden geconstrueerd en vervolgens te worden getransporteerd en tenslotte te worden geplaatst. Na het aanbrengen van het kraagstuk gaat de gebruiksfase van start waarin het geotextiel onderhevig is aan trekkrachten als gevolg van het afschuiven van het geotextiel en het bekledingsmateriaal. De treksterkte dient voor twee situaties bepaald te worden, dit zijn voor het bovenste deel (1:20) en het bovenste vlakke deel (Beide situaties zullen worden berekend en de situatie met de grootste trekkracht is maatgevend), de benodigde gegevens voor het bepalen van de treksterkte zijn weergegeven in tabel 6.21. Er wordt een zate zonder helling aangehouden waarop een kraagstuk wordt geconstrueerd met een twee lagen aan wiepen.

Tabel 6.21: Parameters voor het bepalen van de trekkraft

Symbool	Omschrijving	Waarde	Toevoeging
F_{tt}	Totale trekkraft	kN/m^1	Berekenen met behulp van formule
G	Gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak	kN/m^2	Berekenen met behulp van formule
G_{stort}	Minimale storthoeveelheid van de steen sortering 10-60 kg	750 kg/m^2	Afgeleid vanuit de ontwerptekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" .
L_{geo}	Lengte geotextiel loodrecht op de glooiing	7 m 4,5 m	Onderste deel: afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" . Bovenste deel: afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" .
α	Hellingshoek	14° 0°	Onderste deel: Vooroever bevindt zich onder een helling van 1:4 (14°), afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" . Bovenste deel: Is vlak, afgeleid uit tekening: zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" .
δ_w	Wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond	$10,8^\circ$	De grondsoort is voortgekomen uit het bodemonderzoek [3], waarna vervolgens op basis van 6740 de wrijvingshoek is aangenomen (de gemiddelde waarde wordt gebruikt) = $32,5^\circ$: omdat klei een halfruw materiaal is wordt hier de factor van 1/3 over gedaan, dit wordt dan: $1/3 * 32,5 = 10,8^\circ$
γ_g	Gewicht van het geotextiel	$0,63 \text{ kg/m}^2$	Met behulp van de formule van Lawson : $G_{geo} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,37 = 0,63 \text{ kg/m}^2$
γ_w	Gewicht van de wiep	5 kg/m^1	Standaardwaarde vanuit de ontwerprichtlijn aangehouden.
b_z	Breedte van het kraagstuk	12 m	Lengte waarover het geotextiel dient te worden toegepast
l_z	Lengte van het kraagstuk	50 m	Breedte waarover het geotextiel dient te worden toegepast
μ_w	Wrijvingscoëfficiënt	0,65	Standaardwaarde 0,6 – 0,7 waarvan het gemiddelde is genomen, namelijk 0,65.
A_c	Contactoppervlak met het ondervlak met de stroming	$3,6 \text{ m}^2$	Dit is het ondervlak wat contact maakt met de stroming waar voor een kraagstuk de volgende verhouding geldt: $0,3 * b$. Voor project IJsselooog geldt $0,3 * 12 = 3,6 \text{ m}^2$.
A_s	Oppervlak van het ondervlak (kraagstuk)	600 m^2	Dit is het totale oppervlak van het kraagstuk dat in contact staat met het water, namelijk $12 * 50 = 600 \text{ m}^2$.
u_o	Snelheid van het water ten opzichte van het ondervlak	1,3 m/s	Vanuit de Ontwerpnota Vooroeververdediging Hoedekenskerke [2]
L_{geo}	Lengte geotextiel loodrecht op de glooiing	7 m	Het geotextiel zal enkel een trekkraft ondervinden, waar de kreukelbermconstructie onder een helling is aangebracht. Dit betekent dat de bovenste 4,5 meter niet mee zal worden gerekend, omdat deze vlak wordt aangebracht. De overgebleven afstand is dan 7 meter, : zie tekening "Controle project Schermdijk, IJsselooog" .

Uitvoeringsfase

De trekkraften die vanuit de uitvoeringsfase optreden worden hieronder berekend.

Kraagstuk van de zate aftrekken

Voor het berekenen van de optredende trekkraft voor situaties met twee lagen wiepen, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een helling, wordt onderstaande formule gehanteerd.

$$F_{tt} = \frac{\mu_w \cdot L_z \cdot b_z \cdot g \cdot \left(\left(\frac{a_l \cdot l_{wb} + a_b \cdot l_{wl}}{l_z \cdot b_z} \right) \cdot \gamma_w \right) + \gamma_g}{b_z}$$

$$F_{tt} = \frac{0,65 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 9,81 \cdot \left(\left(\frac{(51 \cdot 12 + 13 \cdot 50) \cdot 5}{50 \cdot 12} \right) + 0,63 \right)}{12} = 3,55 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Maatgevende treksterkte}$$

Transporteren van kraagstuk door water

De sleepkrachtcoëfficiënt voor het transporteren van het kraagstuk kan worden berekend met de volgende formule.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\nu} = \frac{1025 \cdot 1,3 \cdot 12}{1,004} = 1,5 \cdot 10^{-7}$$

Door middel van de berekende waarde kan het getal van Reynolds worden afgelezen waarbij deze een factorwaarde heeft van 1,2.

De resulterende trekkracht die optreedt in het geotextiel kan met onderstaande formule worden berekend:

$$F_{tt} = \frac{\left(\left(\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot \frac{A_c}{A_s} - 3,2 \right) \cdot u_o^2 + 13,8 \cdot u_o - 2,5 \right) \cdot A_s}{b_z}$$

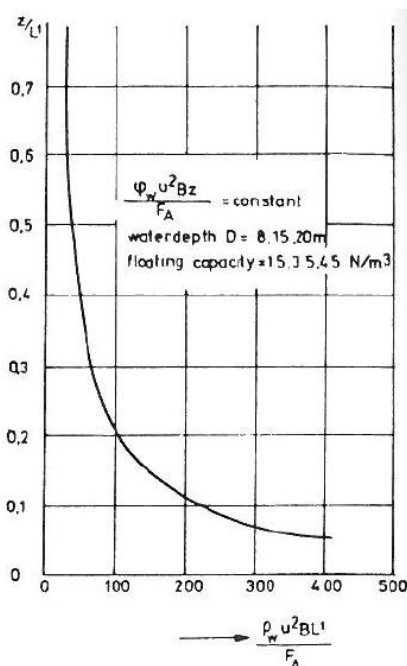
$$F_{tt} = \frac{\left(\left(\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1025 \cdot \frac{3,6}{600} - 3,2 \right) \cdot 1,3^2 + 13,8 \cdot 1,3 - 2,5 \right) \cdot 600}{12} = 502 \text{ N/m} = 0,52 \text{ kN/m}$$

Plaatsen en zinken van het kraagstuk

De optredende trekkracht wordt bepaald met de volgende formule.

$$F_{tt} = \frac{F_A}{b_z} \cdot f_{ov} \cdot f_i = \frac{\rho_w \cdot u^2 \cdot L^1}{\alpha_t} \cdot f_{ov} \cdot f_i$$

Voor L^1 wordt de richtlijn gebruikt, namelijk $L^1 = 2/3 \cdot L$. Er wordt een kraagstuk van 12 x 50 m toegepast, voor L^1 geldt $2/3 \cdot 50 = 33\frac{1}{3}$ m. Het diepste punt van het kraagstuk bevindt zich 1,75 m onder NAP, oftewel 1,50 m onder water. De verhouding tussen $z/L^1 = 1,50 / 50 = 0,03$. Door middel van figuur 6.4 kan de coëfficiënt α worden bepaald, namelijk 400. Vervolgens kan F_{tt} worden bepaald.



Figuur 6.4: Coëfficiënt α_t afhankelijk van de stroomsnelheid en het drijvend vermogen

Invullen geeft:

$$F_{tt} = \frac{1025 \cdot 1,3^2 \cdot 50}{400} \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 0,34 \text{ kN/m}$$

Treksterkte ten gevolge van doorponskrachten

Zoals eerder vermeld geschiedt de uitvoering van de aanbrenging van het kraagstuk in den natte. Hierdoor zijn er geen doorponskrachten ten gevolge van groot materieel en golfslag die trekkrachten veroorzaken.

Gebruiksfase

Deze treksterkte treedt alleen bij het onderste gedeelte van de vooroever op vanwege de ligging onder een hoek. Eerst dient de eis bepaald te worden of het geotextiel ten opzichte van de basislaag (klei) wilt afschuiven. De veiligheid tegen afschuiven is dan:

$$\frac{\tan(\delta_w)}{\tan(\alpha)} = \frac{\tan 10,8}{\tan 14} = 0,77 < 1$$

Hieruit blijkt dat het geotextiel wil afschuiven, er vinden dus trekkrachten plaats op het geotextiel.

Bepalen treksterkte van het geotextiel tijdens de gebruiksfase ten opzichte van een breuksteen sortering van 10-60 kg:

Het gewicht van het geotextiel kan berekend worden met behulp van de volgende formule:

$$G = (G_{stort} + G_{geo}) * g$$

$$G = (750 + 0,630) * 9,81 = 7363 \text{ N/m}^2 = 7,4 \text{ kN/m}^2$$

De maximale trekkracht die ten gevolge van afschuiving in het geotextiel kan optreden is dan:

$$F_{tt} = G * L_{geo} * (\sin(\alpha) - \tan(\delta) * \cos(\alpha))$$

$$F_{tt} = 7,4 * 7 * (\sin(14) - \tan(10,8) * \cos(14)) = 2,94 \text{ kN/m}$$

2.1.2.5 Grondichtheid

De grondichtheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 6.3. Op basis van deze graderingskromme is tabel 6.22 met omgevingscondities en grondgegevens opgesteld.

Tabel 6.22: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de grondichtheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Belastingsgeval	Mobiliteit korreldeeltjes
0,024	0,125	0,175	0,225	0,485	0,785	Dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel	Instabiele grond

Op basis van de grondeigenschappen en het belastingsgeval die van toepassing is op de constructie, kan de criteria die van toepassing is op de constructie bepaald worden. Hieruit komen de volgende criteria waar de grondichtheid van het geotextiel op bepaald kan worden naar voren.

$$O_{95} < 1,5 * D_{10} * \sqrt{Cu} = 1,5 * 24 \mu\text{m} * \sqrt{9,375} = 110 \mu\text{m} \rightarrow \text{Maatgevende openingsgrootte}$$

en

$$O_{95} < 300 \mu\text{m}$$

2.1.2.6 Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is gebaseerd op de graderingskromme weergegeven in figuur 6.3. Op basis van deze graderingskromme, de pakking van de grond en de stroming van het water, zie tabel 6.23, kan de waterdoorlatendheid van het geotextiel bepaald worden.

Tabel 6.23: Omgevingscondities en grondgegevens voor het bepalen van de waterdoorlatendheid

D ₁₀ [mm]	D ₄₀ [mm]	D ₅₀ [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₈₅ [mm]	D ₉₀ [mm]	Pakking	Stroming	Samenhang
0,024	0,125	0,175	0,225	0,485	0,785	Middelmatige gepakte grond	Niet-stationaire stroming	Niet cohesieve grond

In eerste instantie dient de uniformiteit van de ondergrond bepaald te worden:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_U = \frac{0,225}{0,024} = 9,4$$

Op basis van de uniformiteit kan gesteld worden met behulp van de volgende eis of de grond uniform of niet-uniform is:

$C_u > 5 = 9,4 > 5 \rightarrow$ Dit betekent dat de grond niet uniform is.

Voor niet-uniforme grondsoorten geldt bepaling van de waterdoorlatendheid op basis van de methode van Beyer.

$$k_p = c_B * (D_{10})^2$$

De c_B kan bepaald worden volgens de figuur van Beyer, hieruit volgt een factor 0,008. De waterdoorlatendheid van de grond wordt dan:

$$k_p = 0,008 * (0,024)^2 = 4,61 * 10^{-6} \text{ m/s}$$

Vervolgens kan met onderstaande formule de waterdoorlatendheid van het geotextiel worden berekend.

$$k_{\text{geotextiel}} = c_m \cdot k_{\text{grond}}$$

De c_m is een veiligheidsfactor op basis van de stroming van het water en de samenhang van de ondergrond. Op basis van deze gegeven volgt een waarde van c_m van 10. De waterdoorlatendheid van het geotextiel moet dan minimaal zijn:

$$k_{\text{geotextiel}} = 10 * 4,61 * 10^{-6} = 4,6 * 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,6 * 10^{-2} \text{ mm/s}$$

2.2 Afwegingsaspecten geotextielen

De afweging tussen de geotextielen zal in twee stappen plaats vinden, de eerste afweging is specifiek op de eigenschappen en de tweede afweging is naar de vraag en aanbod van het geotextiel. Het is vanzelfsprekend dat de eigenschappen van het geotextiel moeten voldoen op robuustheid en functionaliteit, om zorg te dragen dat de (dijk)constructie niet zal bezwijken tijdens de gebruiksfase. Daarnaast dient ook naar de verkrijgbaarheid en de kosten van het geotextiel te worden gekeken.

De scores van de geotextielen in de afweging op de verschillende afwegingsaspecten zijn onderverdeeld in een drietal niveaus, dit zijn 3 punten, 1 punt en 0 punten. Deze onderverdeling is gemaakt op basis van of het voldoet, twijfelachtig is of onvoldoende is. Er is geen lineair verloop aangehouden voor de puntenindeling, dit omdat een geotextiel dat twijfelachtig scoort op een aspect niet gelijk is aan de helft van een geotextiel dat voldoende scoort op een project. Een geotextiel dat twijfelachtig is zit dicht tegen een geotextiel aan dat onvoldoende scoort, maar is ook weer niet gelijk aan het geotextiel dat onvoldoende scoort. Daarom is gekozen voor deze middenweg.

2.2.1 Afweging specifiek op de eigenschappen

De afweging specifiek gericht op de eigenschappen gaat in op kwaliteit van het geotextiel gedurende de uitvoering en de gebruiksfase. Hieruit zal blijken wat het meest geschikte geotextiel is volgens de eisen die voortkomen uit de nieuwe ontwerprichtlijn. De weging specifiek op de eigenschappen is gelijk aan de afweging op vraag en aanbod.

2.2.1.1 Technische aspecten (100%)

De technische aspecten gaan in op de robuuste en functionele eigenschappen van het geotextiel. Dit is de belangrijkste criteria van de afweging, er wordt hier namelijk ingegaan op de kwaliteit van het geotextiel. De kwaliteit van het geotextiel draagt immers zorg voor het niet bezwijken van de (dijk)constructie. De technische aspecten hebben een waarde van 70 % op de afweging “specifiek op de eigenschappen”.

De technische aspecten zijn onderverdeeld in robuustheid en functionaliteit, ofwel de sterkte die het geotextiel moet hebben om niet te bezwijken gedurende de uitvoering en de eigenschappen die het geotextiel moet bevatten om gedurende de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren.

De afweging op technische aspecten gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 1 punt: hierbij zijn de eigenschappen van het geotextiel twijfelachtig, ten opzichte van de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn;
- 0 punten: hierbij voldoen de eigenschappen van het geotextiel niet aan de vereiste eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn.

Robuustheid

De robuustheid van het geotextiel gaat in op de sterkte die het geotextiel moet bevatten zodat het geotextiel niet bezwijkt onder extreme uitvoeringsomstandigheden. De robuustheid van het geotextiel wordt aangetoond met de treksterkte en het rekvermogen, de doorpansweerstand en de perforatieweerstand.

In de huidige Nederlandse waterbouw worden geotextielen toegepast, waarbij enkel op basis van functionaliteit is aangetoond dat het geotextiel voldoet. Er is echter onduidelijkheid over de sterkte van het geotextiel gedurende de uitvoering, terwijl dit de maatgevende eigenschappen van het geotextiel zijn. De robuustheid van het geotextiel zorgt dat het geotextiel tijdens de uitvoering geen schade oploopt waardoor deze tevens garant staat voor de functionaliteit van het geotextiele doek. De robuustheid heeft door het in tact houden van het geotextiele doek een belangrijke taak ten opzichte van het behouden van de filterfunctie. Hierdoor zal de robuustheid 50 % van de afweging op technische aspecten bedragen, zodat er een aantoonbaar goed geotextiel wordt toegepast dat voldoet tijdens de uitvoering. De ontstane problemen zijn namelijk allen ontstaan door schades gedurende de uitvoering.

Treksterkte (12,5 %)

Het geotextiel dat wordt toegepast in de filterfunctie onder een breuksteenbekleding als een kraagstuk dat uitgevoerd is in den natte is niet onderhevig aan zware belastingen. De uitvoering in den natte zorgt ervoor dat het aanbrengen van het kraagstuk wordt gedaan vanaf het water, waardoor er geen sprake is van groot materieel wat over het geotextiele doek heen manoeuvreert. Daarnaast wordt het kraagstuk ter hoogte van de laag waterlijn geplaatst waardoor er nauwelijks invloed wordt uitgeoefend op het geotextiel als gevolg van golfslag. De treksterkte is van het kraagstuk is vooral afhankelijk van het aftrekken van het kraagstuk van de zate waardoor deze eis niet zeer belangrijk is. Het geotextiel dient echter wel over deze treksterkte te beschikken omdat anders voor aanbrenging van het geotextiele doek op de locatie al schade is gecreëerd. De eis aan de treksterkte zal 12,5 % van de afweging bedragen.

Rekvermogen (12,5 %)

Vanuit het de uitvoering in den natte worden voor het laten zinken van het kraagstuk stenen op het kraagstuk gestort. Daarnaast is de waterdiepte gering en is er een deel aanwezig wat droog ligt wanneer er stenen op het kraagstuk worden gestort. Door het storten van de stenen wordt er rek gecreëerd in het geotextiele doek waarvoor het bestand dient te zijn. Het geotextiele doek dient over een rekvermogen te beschikken dat groter is dan de optredende rek, om scheuren en andere schades aan het geotextiel te voorkomen. Voor de gebruiksfase is het in tact blijven van het geotextiele doek van groot belang waardoor het rekvermogen een belangrijk aspect is. De eis aan het rekvermogen van het geotextiele doek zal 12,5 % van de afweging bedragen.

Doorponsweerstand (0%)

De doorponsweerstand van het geotextiel toont aan hoe groot de weerstand is tegen een neerwaartse belasting op het geotextiel. De neerwaartse belasting is afkomstig van het groot materieel dat tijdens de uitvoering manoeuvreert over de aangebrachte breuksteen en afkomstig van golfslag dat tijdens de gebruiksfase op de constructie breekt. Tijdens de uitvoering in den natte is er echter geen sprake van groot materieel dat een belastende invloed heeft op het geotextiel. Daarnaast zal het kraagstuk nauwelijks onder invloed zijn van golfslag waardoor er geen sprake is van relevante doorponskrachten op het geotextiele doek. Omdat er op de kreukelbermconstructie geen groot materieel mag rijden vanwege de uitvoeringseisen, kan worden uitgesloten dat er geen groot materieel zich over de vooroverconstructie verplaatst. Hierdoor hoeft dit aspect niet in de afweging te worden meegenomen en zal de doorponsweerstand 0 % van de afweging bedragen. De criteria zal daarom niet worden meegenomen in de objectieve beoordeling.

Perforatieweerstand (25%)

Het aanbrengen van een breuksteen bekleding geschiedt altijd door middel van storten vanaf een bepaalde valhoogte. Tijdens dit stortproces wordt er bij het treffen van het geotextiel en de ondergrond door het breuksteen een valenergie geleverd. Hierbij kunnen gaten ontstaan in het geotextiel, waarna bij eventuele verschuiving van de breuksteen het geotextiel de functie gronddichtheid niet kan waarborgen. Dit zal leiden tot uitspoeling van de onderliggende basislaag, dat bezwijken van de (dijk)constructie tot gevolg heeft. Omdat perforatie van het geotextiel niet vermeden kan worden bij een breuksteen bekleding en deze bij de uitvoering in den natte één van de voornaamste aspecten is, zal de perforatieweerstand 25 % van de afweging bedragen.

Functionaliteit

De functionaliteit gaat in op de eigenschappen die het geotextiel moet hebben om tijdens de gebruiksfase als filterconstructie van de dijkconstructie te kunnen functioneren. De functionaliteit van het geotextiel wordt aangetoond met de gronddichtheid, waterdoorlatendheid en kans op vermindering van de doorlatendheid.

De geotextielen die in de huidige Nederlandse waterbouw worden toegepast, worden enkel op basis van functionaliteit voorgeschreven. De belastingen die op het geotextiel optreden met betrekking op de robuustheid van het geotextiel zijn in dit project niet extreem hoog. Het is daarom van belang dat een goede filterfunctie wordt verkregen door een geotextiel met een juiste gronddichtheid en waterdoorlatendheid toe te passen. De functionaliteit zal daarom 50 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Gronddichtheid (18,75%)

Gedurende de gebruiksfase is het toegestaan dat de kleinste 10% van de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag door het geotextiel uitspoelt. Nadat dit deel is uitgespoeld dient er achter het geotextiel een natuurlijk filter te zijn ontstaan, dat in combinatie met het geotextiel zorg draagt voor een gronddichte constructie. Op deze manier wordt uitgesloten dat de dijkconstructie niet zal uitspoelen en niet zal bezwijken. De gronddichtheid zal 18,75 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Waterdoorlatendheid (18,75%)

Bij een variërend waterpeil, zal het waterpeil in de dijk moeten mee schommelen om zo waterstand verschillen te voorkomen. Het geotextiel dat dient als filterconstructie zal een waterdoorlatendheid moeten bevatten wat groter is dan de waterdoorlatendheid van de achterliggende basislaag om zo wateroverdrukken en -onderdrukken te voorkomen. Wateroverdruk in de dijk leidt namelijk tot het uitdrukken van de steenbekleding, terwijl wateronderdruk leidt tot extreme drukkrachten op de ondergrond, wat resulteert in verzakking van de dijkbekleding. De waterdoorlatendheid zal 18,75 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

Vermindering doorlatendheid (12,5%)

Naast het voorkomen van uitspoeling van de onderliggende laag en het voorkomen van wateroverdrukken en -onderdrukken dient het geotextiel niet dicht te slibben doordat de korreldeeltjes van de onderliggende laag zich ophopen in het geotextiel. Dit leidt namelijk tot stroomafwaarts transportletsel, wat vervolgens wateroverdrukken in de dijk veroorzaakt. De vermindering van de doorlatendheid zal 12,5 % van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen bedragen.

2.2.1.2 Aantoonbaarheid kwaliteit (0%)

De aantoonbaarheid van de kwaliteit is enkel van toepassing op de eigenschappen die gedurende de uitvoering van uiterst belang zijn. Dit zijn het rekvermogen en de perforatie weerstand van het geotextiel. De aantoonbaarheid van de kwaliteit van het geotextiel geschiedt door middel van testen, het is meer een afweging tussen de testen die gebruikt zijn voor huidige toegepaste geotextielen en de testen die toegepast worden volgens de nieuwe ontwerprichtlijn om de kwaliteit van het geotextiel aan te tonen. Vanwege het ontbreken van de gegevens van het huidige geotextiel kan deze afweging niet worden gemaakt, waardoor de aantoonbaarheid van de kwaliteit voor de nieuw gekozen geotextiele doeken voor alle drie hetzelfde is. Hierdoor heeft de aantoonbaarheid van de kwaliteit geen toegevoegde waarde aan de objectieve beoordeling waardoor deze vervalft.

2.2.2 Afweging op vraag en aanbod

Naast de afweging specifiek gericht op de eigenschappen van het geotextiel, dient er een afweging op verkrijgbaarheid en kosten van het geotextiel gemaakt te worden. Indien er nagenoeg geen verschil is tussen de eigenschappen van het geotextiel, kan er op basis van de verkrijgbaarheid of kosten gekozen worden voor het geschikte geotextiel. De weging van vraag en aanbod is gelijk aan de weging die specifiek ingaat op de eigenschappen van het geotextiel.

Verkrijgbaarheid (30%)

De verkrijgbaarheid van het geotextiel gaat voornamelijk over waar het geotextiel is te verkrijgen. Is het geotextiel te verkrijgen bij een leverancier in Nederland waar al meerdere malen producten zijn besteld of is het geotextiel enkel te verkrijgen bij een leverancier in Europa waar andere normen gelden. De verkrijgbaarheid zal 30 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de verkrijgbaarheid van het geotextiel gebeurt op basis van een drietal niveaus, dit zijn:

- 3 punten: hierbij gaat het om een Nederlands bedrijf dat al meerdere malen een geotextiel heeft geleverd;
- 1 punt: hierbij gaat het om een Europees bedrijf dat geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt;
- 0 punten: hierbij gaat het om een leverancier buiten Europa die een specifiek geotextiel kan leveren.

Kosten (70%)

De kosten van het geotextiel geven bij nagenoeg gelijke eigenschappen van een geotextiel de doorslag voor de keuze van het geotextiel. De kosten zal 70 % van de afweging op vraag en aanbod bedragen.

De afweging op de kosten van het geotextiel gebeurt op basis van een viertal niveaus, dit zijn:

- 0 punten: bij een prijs per m² > € 12,-;
- 1 punten: bij een prijs per m² € 8,00 – € 12,-;
- 2 punt: bij een prijs per m² € 4,00 – € 8,00;
- 3 punten: bij een prijs per m² < € 4,00.

2.3 Scores geotextiel

In deze paragraaf worden de scores per geotextiel op de aspecten toegelicht. Op basis van deze scores kunnen de afwegingen tussen de verschillende geotextielen worden gemaakt.

2.3.1 TenCate Polyfelt P70

Het geotextiel dat op basis van de eisen vanuit de eenvoudige methode is gekozen bestaat uit een TenCate Polyfelt P70 vlies. Dit geotextiel is gekozen op basis van de robuustheid en de functionaliteit. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.24.

Tabel 6.24: Eigenschappen geotextiel vanuit de eenvoudige methode met de gestelde eisen

TenCate Polyfelt P70 vlies	vlies		Eisen
Treksterkte	43	43 kN/m	≥ 14 kN/m
Rekvermogen	90	73 %	≥ 32 %
Doorpons	7,5	kN	- kN
Perforatie	7	mm	≥ 2208 Nm
Gronddichtheid	80	µm	≤ 300 g/184cm ²
Waterdoorlatendheid	30	mm/s	≥ 0,1 mm/s
Dikte	4,4	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	700	g/m ²	≥ 630 g/m ²
Kosten	€ 10	per/m ²	n.v.t. per/m ²

2.3.1.1 Technische aspecten

Treksterkte

Het geotextiel heeft een veel hogere treksterkte dan de treksterkte die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Rekvermogen

Het geotextiel heeft een veel hoger rekvermogen dan de rek die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Perforatieweerstand

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden wordt de formule van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 80/30 = 2,7 < 3$, voldoet hier niet aan.

2.3.1.2 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het huidige toegepaste geotextiel is al vele malen toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging, er kan daarom gezegd worden dat dit geotextiel gemakkelijk te verkrijgen is.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt € 10,- per m².

2.3.2 Geopex composiet

Op basis van de gedetailleerde methode is op basis van perforatie, rek en functionaliteitseisen gekozen voor een composiet bestaande uit een Geopex PP 6057-weefsel en een Geopex NW 560-vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.25.

Tabel 6.25: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

Eigenschappen	Geopex PP 6057-weefsel			Geopex NW 560- vlies			Maatgevende eigenschappen			Eisen
	ketting	inslag		ketting	inslag		ketting	inslag		
Treksterkte	25	25	kN/m	40	40	kN/m	40	40	kN/m	≥ 3,55 kN/m
Rekvermogen	28	28	%	75	75	%	28	28	%	≥ 22 %
Doorpons	3		kN	7,7		kN	10,7		kN	n.v.t. kN
Perforatie	13		mm	7		mm	20		mm	≥ 1856 Nm
Gronddichtheid	160		μm	60		μm	60		μm	≤ 110 μm
Waterdoorlatendheid	15		mm/s	35		mm/s	15		mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte	0,55		mm	3,9		mm	4,45		mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid	119		g/m ²	560		g/m ²	679		g/m ²	≥ 630 g/m ²
Kosten							€ 16		per/m ²	n.v.t. per/m ²

2.3.2.1 Technische aspecten

Treksterkte

Het geotextiel heeft een veel hogere treksterkte dan de treksterkte die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Rekvermogen

Het geotextiel heeft een hoger rekvermogen dan de rek die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Perforatieweerstand

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formules van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 60/30 = 2 < 3$, voldoet hier niet aan.

2.3.2.2 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een bedrijf in Engeland wat hun geotextielen wilt leveren op de Nederlandse markt.

Kosten

De prijs per m² die aangehouden wordt is een richtprijs, dit omdat de leveranciers hun exacte prijs niet wilden vrijgeven. De richtprijs voor dit geotextiel bedraagt vanwege het weefsels en vlies als composiet € 16,- per m².

2.3.3 TenCate Polyfelt TS 80

Het geotextiel dat op basis van de eisen aan de functionaliteit volgens de nieuwe ontwerprichtlijn is gekozen betreft een TenCate Polyfelt TS 80 vlies. De eigenschappen van dit vlies met de eisen aan de eigenschappen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 6.26.

Tabel 6.26: Eigenschappen gekozen geotextiel met de gestelde eisen

TenCate Polyfelt TS 80-vlies	Eigenschappen			Eisen
	(ketting)	(inslag)		
Treksterkte	29	30	kN/m	≥ 3,55 kN/m
Rekvermogen	100	40	%	≥ 22 %
Doorpons		4,4	kN	n.v.t. kN
Perforatie		13	mm	≥ 1856 Nm
Gronddichtheid		90	µm	≤ 110 µm
Waterdoorlatendheid		55	mm/s	≥ 4,6 *10 ⁻² mm/s
Dikte		3,3	mm	n.v.t. mm
Massa opp. Eenheid		385	g/m ²	≥ 630 g/m ²
Kosten		€ 4,30	per/m ²	n.v.t. per/m ²

2.3.3.1 Technische aspecten

Treksterkte

Het geotextiel heeft een veel hogere treksterkte dan de treksterkte die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Rekvermogen

Het geotextiel heeft een hoger rekvermogen dan de rek die vereist wordt vanuit het eenvoudige ontwerp, waaruit geconcludeerd kan worden dat deze voldoet.

Perforatieweerstand

De perforatieweerstand van het geotextiel wordt weergegeven in millimeters, terwijl de eis is gegeven in een valenergie geleverd door de vallende steen. Om deze reden worden de formules van "Lawson" hanteert, hieruit volgt een kleinere waarde dan de daadwerkelijke massa van het geotextiel, dit betekend dat het geotextiel niet voldoet.

Gronddichtheid

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel is kleiner dan maximaal toegestane karakteristieke openingsgrootte. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel is velen malen groter dan de vereiste waterdoorlatendheid afhankelijk van de ondergrond. Dit betekent dat het geotextiel voldoet.

Vermindering doorlatendheid

Met behulp van de volgende eis kan bepaald worden of er kans is op vermindering van de doorlatendheid door het mechanisme clogging: $O_{90} / D_{15} > 3 \rightarrow 90/30 = 3 > 3$, voldoet hieraan.

2.3.3.2 Vraag en aanbod

Verkrijgbaarheid

Het gekozen geotextiel wordt geproduceerd en geleverd door een Nederlands bedrijf, waar dikwijls geotextielen worden besteld.

Kosten

De prijs is bepaald op basis van de catalogus van Joosten kunststoffen [5], waarbij de prijs voor dit geotextiele vlies op € 4,30 per m² komt.

2.4 Toetsing

In deze paragraaf worden de Multicriteria analyses specifiek op de eigenschappen en vraag en aanbod weergegeven in tabel vorm, dit geeft een duidelijk beeld van de afweging. De Multicriteria analyses worden weergegeven als blanco en ingevuld.

2.4.1 Blanco Multicriteria analyse

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 6.27. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.27: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen						
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80
Technische aspecten	100%	<i>Robuustheid</i>				
		Treksterkte	8,75%			
		Rekvermogen	8,75%			
		Perforatie	20%			
		<i>Functionaliteit</i>				
		Grondichtheid	15%			
		Waterdoorlatendheid	15%			
Vermindering doorlatendheid	7,5%					
Totaal	100%					

De blanco Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 6.28. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.28: Blanco Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod				
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80
Verkrijgbaarheid	30%			
Kosten	70%			
Totaal	100%			

De afweging specifiek op de eigenschappen (50% van de totale afweging) en de afweging vraag en aanbod (50% van de totale afweging), worden samen in een kleine Multicriteria analyse gezet waaruit blijkt welk geotextiel het meest geschikt is op basis technische aspecten, aantoonbaarheid kwaliteit, de verkrijgbaarheid en de kosten, zie tabel 6.29.

Tabel 6.29: Blanco Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging				
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80
Specifiek op de eigenschappen	50%			
Vraag & aanbod	50%			
Eind waarde	100%			

2.4.2 Ingevulde Multicriteria analyse

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die specifiek ingaat op de eigenschappen is weergegeven in tabel 6.30. De afweging specifiek op de eigenschappen heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.30: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging specifiek op de eigenschap

Specifiek op de eigenschappen							
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Subcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80	
Technische aspecten	100%	<i>Robuustheid</i>					
		Treksterkte	12,5%	3	3	3	
		Rekvermogen	12,5%	3	3	3	
		Perforatie	25%	3	3	0	
		<i>Functionaliteit</i>					
		Gronddichtheid	18,75%	3	3	3	
		Waterdoorlatendheid	18,75%	3	3	3	
Vermindering doorlatendheid	12,5%	0	0	3			
Totaal	100%			2,63	2,63	2,25	

De ingevulde Multicriteria analyse van de afweging die ingaat op de vraag en aanbod is weergegeven in tabel 6.31. De afweging op vraag en aanbod heeft een weegfactor van 50% van de totale afweging.

Tabel 6.31: Ingevulde Multicriteria analyse voor de afweging vraag en aanbod

Vraag & aanbod				
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80
Verkrijgbaarheid	30%	3	3	3
Kosten	70%	1	0	2
Totaal	100%	1,6	0,9	2,3

De ingevulde eindafweging is weergegeven in tabel 6.32. Het geotextiel met de hoogste score is het meest geschikte geotextiel dat in deze constructie kan worden toegepast.

Tabel 6.32: Ingevulde Multicriteria analyse voor de eind afweging

Eind afweging				
Hoofdcriteria	Weeg-factor	Polyfelt P 70	Geopex composiet	Ployfelt TS 80
Specifiek op de eigenschappen	50%	2,63	2,63	2,25
Vraag & aanbod	50%	1,6	0,9	2,3
Eind waarde	100%	2,12	1,77	2,28

2.5 Gevoeligheidsanalyse

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel "TenCate Polyfelt TS80" het meest geschikte geotextiel is dat kan worden toegepast. Dit geotextiel voldoet enkel niet aan de perforatie. In de berekeningen is echter uitgegaan van de meest nadelige situatie, namelijk een storthoogte van 2 meter. Wanneer een maximale storthoogte van 2 meter aan de uitvoeringseisen wordt gesteld geldt:

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 2^{0,5} * 0,37 = 630 \text{ g/m}^2 \rightarrow \text{Maatgevend minimaal gewicht}$$

Het geotextiel heeft echter een gewicht van 385 g/m². Hierdoor dient een zwaardere eis te worden gesteld aan de uitvoering, namelijk het beperken van de valhoogte. Er geldt:

$$m_a \geq C_s * h_{val}^{0,5} * D_{85} = 1,2 * 0,75^{0,5} * 0,37 = 385 \text{ g/m}^2$$

De maximale storthoogte die gehanteerd mag worden is 0,75 meter. Hierbij voldoet geotextiel met een gewicht van 385 g/m² ook op perforatie. Dit is ten opzichte van een maximale storthoogte van 2 meter waarop is ontworpen. De storthoogte van 0,75 meter is mogelijk, het zal echter meer precisie van de kraanmachinist vereisen waardoor de aanleg mogelijk meer tijd kost.

Literatuur

1. Liebherr. (2012). *Liebherr R906*. Retrieved juni 2012, 2012, from www.liebherr.com: http://www.liebherr.co.uk/EM/en-GB/products_uk-em.wfw/id-11794-0/measure-metric.
2. Fugro Ingenieurs B.V. (2004). *Schade aan geotextiel onder dijkbekleding van steenbestorting*. Leidschendam.
3. Grond-, Gewas- en Milieulaboratorium "Zeeuws Vlaanderen" B.V. (2010). *AP04-partijkeuring Abraham Wissepolder te Sint Philipsland*. Graauw.
4. CUR publicatie 174. (2009). *Geokunststoffen in de waterbouw*. Gouda: Stichting CURNET.
5. Joosten Kunststoffen BV. (2012). Retrieved juli 5, 2012, from www.joostenkunststoffen.com: <http://www.joostenkunststoffen.com/cms2/index.php/nl/product-database>

Bijlage 7. Tekeningen