

Ontwerpmethodiek geokunststoffen

Ontwerpmethodiek geokunststoffen voor filterconstructies in Nederlandse kust- en oeverbescherming

Adviesrapport

Auteurs:	F. Bakker, K. van Stee
Eerste begeleider:	Ing. J.J. Walhout
Tweede begeleider:	Ing. H.C. Moelker
Externe begeleider:	Ing. Y.M. Provoost
Onderwijsinstelling:	HZ University of Applied Sciences
Opleiding:	BBECT Bachelor Built Environment Civiele Techniek
Cursus:	CU11020 Afstuderen
Datum:	03-08-2012
Plaats:	Middelburg
Versie:	1.0
Status:	Definitief

Ontwerpmethodiek geokunststoffen

Ontwerpmethodiek geokunststoffen voor filterconstructies in Nederlandse kust- en oeverbescherming

Adviesrapport

Voor akkoord:

.....
Y.M. Provoost

.....
J.J. Walhout

.....
H.C. Moelker

.....
Externe begeleider 1

.....
Externe begeleider 2

.....
F. Bakker

.....
K. van Stee

Auteurs: F. Bakker, K. van Stee
Eerste begeleider: Ing. J.J. Walhout
Tweede begeleider: Ing. H.C. Moelker
Externe begeleider: Ing. Y.M. Provoost

Onderwijsinstelling: HZ University of Applied Sciences
Opleiding: BBECT
Bachelor Built Environment
Civiele Techniek

Cursus: CU11020
Afstuderen

Datum: 03-08-2012
Plaats: Middelburg

Versie: 1.0
Status: Definitief

Voorwoord

Dit rapport bevat de onderzoeksresultaten en het eindresultaat van het uitgevoerde onderzoek naar een "Ontwerprichtlijn voor geokunststoffen onder steenbekleding". Het onderzoek is uitgevoerd als afsluiting van de HBO opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences. De afstudeeropdracht is verstrekt door projectbureau Zeeweringen dat als onderdeel fungeert voor de overheidsinstantie Rijkswaterstaat, tevens is het rapport van belang voor de gehele Nederlandse waterbouw.

Bij deze willen wij Yvo Provoost bedanken voor zijn begeleiding en kritische opmerking om tot het gewenste resultaat te komen. Ook willen wij de heer Wim Voskamp bedanken voor zijn belangrijke bijdrage op het gebied van geotextielen en zijn beoordeling op de inhoud van het rapport. Tot slot willen wij de werknemers van het projectbureau "Zeeweringen" bedanken voor hun hulp waar die benodigd was en de positieve werkhouding richting ons.

Middelburg, augustus 2012

Frank Bakker
Kevin van Stee

Samenvatting

Nederland is een laaggelegen land dat zich voor een groot onder de zeespiegel bevindt. Om het achtergelegen land te beschermen tegen water zijn zeewering benodigd die bestand zijn tegen de hydraulische belasting geleverd door het water. De zeeweringen dienen opgebouwd te zijn uit een toplaag van steenbekleding om krachten afkomstig van golven en stromingen te kunnen reduceren. Met daaronder een geokunststof ter voorkoming van het uitspoelen van de onderliggende laag door zuiging afkomstig van de golven en stromingen. Dit geokunststof vormt in feite de fundering van de dijk- of damconstructie. Wegens het ontbreken van een complete ontwerphandleiding worden geokunststoffen voorgeschreven op basis van ervaring en routine, waardoor schades zijn ontstaan. Door waarneming van deze schades is de vraag gesteld of men nu daadwerkelijk op het gebied van het ontwerp van de geokunststoffen in Nederland juist bezig is. In dit rapport wordt nader ingegaan op het ontwerp van geokunststoffen n de Nederlandse kust- en oeververdediging. Er wordt in deze rapportage alleen ingegaan op het ontwerp van geotextielen met een filterfunctie, waarbij geotextielen een verzamelbenaming is voor de zogenaamde weefsels en vliezen.

De afstudeeropdracht heeft als doel om de ontwerper handvaten te geven voor het ontwerp van geotextielen als onderdeel van de filterconstructie in een dijk- of oeververdediging, ofwel een ontwerprichtlijn voor geokunststoffen onder steenbekleding op te stellen die makkelijk hanteerbaar is voor ontwerpers. Om tot deze ontwerprichtlijn te komen is gestart met een onderzoek naar de opbouw en werking van een dijkconstructie, met een verdiepingslag naar de filterconstructie waar het geotextiel een belangrijk onderdeel van is. Ook zijn de soorten geotextielen en de eigenschappen hiervan met de betreffende uitvoeringsmethoden voor installatie van geotextielen onderzocht. Tevens zijn de waargenomen schades geanalyseerd die aanleiding hebben gegeven voor dit onderzoek. Uit dit onderzoek zijn de eisen naar voren gekomen die het programma van eisen hebben gevormd. Hier zijn eisen gesteld aan de op te stellen ontwerpmethodiek, naar aanleiding van de gebruiksfase, afkomstig uit de uitvoering en op basis van de locatie. Daarnaast is onderzoek uitgevoerd naar de huidige Nederlandse rekenregels en vanwege de enorme verschillen in de toegepaste geotextielen in Duitsland ook de Duitse ontwerpvoorschriften. Uit dit onderzoek zijn vervolgens de verschillen en overeenkomsten tussen de huidige Nederlandse rekenregels en Duitse ontwerpvoorschriften opgesteld. Op basis hiervan is geconcludeerd dat de Duitse ontwerpvoorschriften als juist voorbeeld materiaal gebruikt kan worden voor het opstellen van een ontwerprichtlijn voor geokunststoffen onder steenbekleding.

Vanuit het programma van eisen en het onderzoek naar de huidige Nederlandse rekenregels en Duitse ontwerpvoorschriften is de ontwerpmethodiek opgesteld. De ontwerpmethodiek beslaat zowel de eisen die worden gesteld afkomstig uit de uitvoering (robustheid) als de eisen naar aanleiding van de gebruiksfase (functionaliteit). Daarnaast is de ontwerpmethodiek onderverdeeld in een drietal niveaus op basis van risico's en kosten, namelijk de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode. De eenvoudige methode is op basis van grove aannames, waarbij snel en gemakkelijk een ontwerp kan worden gemaakt. De gedetailleerde methode geeft een ontwerp op basis van rekenregels, waarbij een nauwkeurig ontwerp wordt gemaakt voor het toe te passen geotextiel. De geavanceerde methode maakt gebruik van modelproeven en deskundigen van het desbetreffende vakgebied. Tevens bevat de ontwerprichtlijn verificatietesten om aan te tonen dat het geotextiel zowel op functionaliteit als robustheid in de praktijk voldoet aan de gestelde eisen voortkomend uit het ontwerp.

Tot slot is de opgestelde ontwerprichtlijn toegepast op een tweetal uitgevoerde projecten, dit zijn de projecten "Willempolder Abraham Wisselpolder" en "Schermdijk, Ijsseloog", waarbij een ontwerp is gemaakt voor het toe te passen geotextiel in vergelijking met de huidige geotextielen. Hierbij is met behulp van afwegingen aangetoond dat de opgestelde ontwerprichtlijn hanteerbaar is voor filterconstructies in een kust- of oeververdediging.

Uit de controle op de tweetal uitgevoerde projecten is gebleken dat de huidige Nederlandse rekenregels geen rekening houdt met de robustheid van het geotextiel die gedurende de uitvoering vereist is. De geotextielen die gekozen zijn op basis van de opgestelde ontwerprichtlijn voldoen echter wel aan de gestelde eisen aan de robustheid, wat resulteert in grotere robuustheids eigenschappen van het geotextiel. Op deze manier wordt voorkomen dat er schades optreden aan het geotextiel gedurende de uitvoering en blijft de veiligheid van de (dijk)constructie gehandhaafd. Er kan geconcludeerd worden dat voor een theoretisch compleet ontwerp van geotextielen, die in de Nederlandse kust- en oeververdediging onder (steen)bekleding worden toegepast, de opgezette ontwerprichtlijn "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" kan worden gehanteerd.

Summary

The Netherlands is known as a country which lies below sea level. In order to protect the land, coastal defenses are needed that are resistant to the hydraulic loads supplied by the water. The coastal defenses have to be constructed with a top layer of stone to reduce forces supplied by waves and currents. Under the top layer, a geotextile has to prevent leaching of the underlying layer by suction from the waves and currents. In fact the geotextile is the foundation of the dike or dam construction. In the absence of a complete design manual, geosynthetics are prescribed based on experience and routine, which arose damages. By observation of these damages, the question arose whether the recent Dutch manual for making a design for geotextiles is right. This publication discusses the design of geosynthetics in the Dutch coastal and riverbank defenses. Only the geotextiles with a filterfunction are discussed, where geotextiles a collective name is for the so-called wovens and non-wovens.

The graduation assignment aims to give the designer handles for the design of geotextiles as a part of the filter assembly in a dike or bank protection, in other words to set up a designguide for geotextiles under revetments which is easily manageable for designers. In order to set up the design manual a start is made with the construction and operation of a dikeconstruction, with a deepening to the filterconstruction which the geotextile will be a part of. Also, the types of geotextiles and its properties with the corresponding implementation methods for installation of geotextiles are investigated. Besides that, the observed damages are analyzed that gave rise to this investigation. From this research, the requirements that have emerged has formed the program of requirements. Requirements, following from the use-phase, from the implementation-phase and based on the location, have been made for the design manual that has to be set up. In addition, a study has been done on the current Dutch and German calculation rules, because of the huge differences with the geotextiles used in Germany. Differences and similarities between de current Dutch and German design rules have been drawn up. Based on this research a conclusion can be made, namely that the German design rules can be used as correct sample material for the preparation of the design manual for geosynthetics under revetments.

From the program of requirements and the research of the current Dutch and German design rules, the design guide has been established. The design guide covers both the demands from the performance (strength) and the requirements following of the use-phase (functionality). The design guide has been divided into three levels based on risks and costs, namely the simple, detailed and sophisticated method. The simple method is based on approximate assumptions, in which a fast and easy design can be made. The detailed method gives a design based on calculations, with an accurate design is made for the applying geotextile. Test models and experts in the discipline concerned of geotextiles are used for the sophisticated method. The design guide also contains verification tests to demonstrate that the geotextile on both functionality and robustness in practice meets the requirements arising from the design.

Finally, the design guide is applied to two projects, these are the projects "Willempolder Abraham Wisselpolder" en "Schermdijk, IJsseloog" in which a design is made for the applying geotextiles compared with the current geotextiles used these days. Considerations made it clear that the design guide is manageable for filterconstructions in the coastal and riverbank defenses.

The audit carried out on the two projects has shown that the current Dutch calculation takes no account of the robustness of the geotextile during the implementation-phase. The geotextiles, which are chosen based on the design guide are robust and pass these requirements what leads to heavier robustness properties of the geotextile. In this way damage to the geotextile occurring during the implementation has been prevented thus the safety of the (dike) construction remains to be maintained. The next conclusion can be made, namely that a complete theoretical design of a geotextile can be made with the design guide "Design guide geosynthetics under stone revetments". This only counts for geotextiles applied in the Dutch coastal and riverbank defense below a stone top layer.

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Afzinken	Het naar de bodem van het waterlichaam doen laten zakken van een zink- of kraagstuk door middel van steenbestorting.
Basismateriaal	Het onder het geotextiel liggende materiaal (ondergrond), vaak bestaande uit klei of zand.
Bekledingsconstructie	Het geheel van lagen met als doel het beschermen van de dijk kern tegen erosie veroorzaakt door de waterbeweging, bestaande uit een toplaag, uitvullaag, filter- en kleilaag.
Bestorten	Het aanbrengen van materiaal, voornamelijk breuksteen, door deze te laten vallen.
Blocking	Reductie van de waterdoorlatendheid doordat de openingen van het geotextiel zijn verstopt.
Breuksteen	Gebroken natuursteen grover dan 32 mm.
Clogging	Reductie van de waterdoorlatendheid doordat materiaal zich in het geotextiel vestigt.
Composiet	Materiaal dat bestaat uit 2 of meer lagen geotextiel en dat speciale eigenschappen kan hebben of speciale functies kan vervullen.
Doorponsweerstand	De mate waarin het geotextiel bestand is tegen belastingen als gevolg van doorpons, waarbij doorponsbelastingen veroorzaakt worden doordat groot materiaal en golfslag kracht uitoefenen op de steenbekleding.
Dynamische hydraulische belasting	Een dynamische belasting is een continu veranderlijke belasting op een voorwerp.
Filterconstructie	De constructie waarbij het geotextiel dient als een filter zodat gronduitspoeling en overdrukken worden voorkomen.
Filterlaag	Een waterdoorlatende laag met het voorkomen van transport van het onderliggende materiaal als functie.
Functionaliteit	De wijze waarop het geotextiel dient te werken, hierbij wordt ingegaan op de grond dichtheid en waterdoorlatendheid.
Gebruiksfase	Levensfase waarin het geotextiel de desbetreffende functie vervult.
Geokunststof	Een verzamelnaam voor uiteenlopende materialen bestaande uit kunststof die in de geotechniek wordt toegepast.
Glooiingsconstructie	Het deel van de dijk- of damconstructie vanaf de kreukelberm tot aan de kruin.
Graderingkromme	De indeling van de zeefresten.
Grond dichtheid	De mate waarin het geotextiel het onderliggende materiaal tegenhoudt, afhankelijk van de karakteristieke openingsgrootte.
Grondverlies	Basismateriaal wat zich door het geotextiele doek heen dringt.
Indextest	Een test waarvan de eigenschappen van het geotextiel worden onderzocht.
Kraagstuk	Zinkstuk dat men met de lange zijde langs de oevers legt.
Kreukelbermconstructie	Het deel van de dijk- of damconstructie vanaf de vooroeverconstructie tot aan de glooiingsconstructie.
Modelproef	Proeven waarmee inzicht wordt verkregen over de mate van invloed op het geotextiel van de omstandigheden.
Natuurlijk filter	Boogvorming van grotere korrels achter de openingen van het geotextiel waardoor een stabiele filterwerking wordt verkregen waarbij geen grond uitspoelt.

Omgevingscondities	De condities die van toepassing zijn op het geotextiel op de plaats van verwerking.
Openingsgrootte	Openingsgrootte van het geotextiel dat correspondeert met de korrelgrootte van het basismateriaal dat door het geotextiel valt na nat zeven met een gestandaardiseerd goed gegradeerd zandmonster met het geotextiel als filter.
Perforatieweerstand	De weerstand van het geotextiel tegen het scheuren van het geotextiel als gevolg van het vallen van stenen.
Rekvermogen	De mate van elasticiteit van het geotextiel, geeft aan in hoeverre het geotextiel bestand is tegen invloeden die rek veroorzaken.
Robuustheid	De wijze waarop het geotextiel bestand is tegen belastingen ten gevolge van de uitvoering- en gebruiksfase waarbij ingegaan wordt op de perforatieweerstand, slijtsterkte, trekvermogen, rekvermogen en doorponsweerstand.
Slijtsterkte	Geeft aan in hoeverre het geotextiel bestand is tegen schuringsbelastingen.
Statische hydraulische belasting	Een stationaire belasting is een niet veranderlijke belasting binnen gestelde periode die van werking is op een voorwerp.
Steenbekleding	Bedekking van het geotextiel met steen.
Steensoortering	Breksteen die gesorteerd is op een zeefmaat of op de massa van de steenstukken.
Teenconstructie	Constructie aan de onderzijde van een taludverdediging.
Toplaag	Buitenste verdedigingslaag van een bekledingsconstructie.
Treksterkte	Spanning waarbij een materiaal onder trekspanning bezwijkt.
Uitvoering in den droge	Bevat de aanleg van het geotextiel vanaf de wal, vaak uitgevoerd met kranen, etc.
Uitvoering in den natte	Bevat de aanleg van het geotextiel in het water waarbij gebruik gemaakt wordt van een zink- of kraagstuk en hiervoor schepen nodig zijn.
Uitvoeringsfase	Levensfase waarin het geotextiel wordt aangebracht op de desbetreffende bestemming.
Valenergie	De energie die geleverd wordt op het geotextiel als gevolg van het vallen van stenen.
Verificatie	De eigenschappen van het geotextiel worden getest en gecontroleerd of deze voldoen aan de gestelde eisen vanuit het ontwerp.
Vooroeverconstructie	Onder water gelegen relatief flauw hellend en ondiep gedeelte van de oeverzone.
Vlies	Kortere of langere vezels die willekeurig georiënteerd en op mechanische, thermische of chemische wijze aan elkaar gehecht zijn.
Waterbouwsteen	Steenmateriaal dat wordt gebruikt voor het afdekken van het geotextiel, ook wel breuksteen genoemd.
Waterdoorlatendheid	De mate waarin water door het geotextiele doek kan stromen zonder dat erosie of overdrukken ontstaan.
Weefsel	Een weefsel is gemaakt uit losse draden die elkaar haaks kruisen en die door de weefselconstructie elkaar vasthouden.
Zetsteen	Steenmateriaal dat wordt gebruikt voor het bekleden van het geotextiel, zoals basaltblokken, Haringmanblokken, etc.. Kenmerkend is dat het materiaal wordt gezet in plaats van gestort.
Zinkstuk	Samenstelling van een wiepenrooster en een geokunststof, waarbij de wiepen door middel van sjorringtouwen aan de lussen in het geotextiel zijn bevestigd.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	1
2. Toepassingen geokunststoffen.....	2
2.1 Waterkerende constructie.....	2
2.2 Geokunststoffen	2
2.3 Geotextiele constructies.....	3
2.3.1 Algemeen	3
2.3.2 Filterconstructies algemeen	4
2.3.3 Filterttypen algemeen.....	4
2.4 Materialen	5
2.4.1 Weefsel (wovens)	5
2.4.2 Vlies (non wovens).....	6
2.4.3 Eigenschappen	6
2.5 Uitvoering	7
2.5.1 Glooiingconstructie (in den droge).....	7
2.5.2 Bodem- en vooroeverconstructie (in den natte).....	8
2.6 Schades tijdens uitvoering.....	8
3. Programma van Eisen.....	9
3.1 Totstandkoming van de eisen.....	9
3.2 Eisen t.b.v. het opstellen van een ontwerpmethodiek	9
3.2.1 Eisen aan de ontwerpmethodiek.....	9
3.2.2 Eisen n.a.v. gebruiksfase.....	10
3.2.3 Eisen uit uitvoering	10
3.2.4 Eisen op basis van de locatie	11
4. Huidige Ontwerpmethodiek.....	12
4.1 Huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften	12
4.1.1 Functionaliteit.....	12
4.1.2 Uitvoering	13
4.2 Duitse ontwerpvoorschriften	13
4.2.1 Functionaliteit.....	13
4.2.2 Uitvoering	14
4.3 Verschillen	14
4.3.1 Materialen	15
4.3.2 Praktijkervaring versus Performance testen	15
4.3.3 Eisen tijdens de uitvoering.....	15
4.4 Overeenkomsten	15
4.5 Conclusie.....	15

5. Ontwerprichtlijn.....	16
5.1 Algemeen.....	16
5.2 Eisen aan de eigenschappen van het geotextiel	16
5.3 Ontwerpniveaus	17
5.3.1 Eenvoudige methode.....	17
5.3.2 Gedetailleerde methode.....	17
5.3.3 Geavanceerde methode	17
5.4 Eenvoudige methode.....	17
5.4.1 Algemeen	17
5.4.2 Functionaliteit.....	17
5.4.3 Robuustheid.....	19
5.5 Gedetailleerde methode	20
5.5.1 Functionaliteit.....	20
5.5.2 Robuustheid.....	22
5.6 Geavanceerde methode	26
5.6.1 Functionaliteit.....	26
5.6.2 Robuustheid.....	26
6. Beproevingmethoden	27
6.1 Functionaliteit.....	27
6.1.1 Niet-samenhangende gronden.....	27
6.1.2 Samenhangende gronden.....	27
6.2 Robuustheid.....	27
6.2.1 Perforatieweerstand.....	27
6.2.2 Doorponsweerstand	28
6.2.3 Treksterkte.....	28
6.2.4 Rekvermogen.....	28
6.2.5 Slijtsterkte.....	28
6.3 Levensduur	28
7. Controle op het project “Willempolder, Abraham Wissepolder”	29
7.1 Kreukelberm	29
7.1.1 Ontwerp geotextielen.....	29
7.1.2 Afweging	31
7.1.3 Conclusie.....	31
7.1.4 Gevoeligheidsanalyse	31
7.2 Glooiingsconstructie	31
7.2.1 Ontwerp geotextielen.....	32
7.2.2 Afweging	33
7.2.3 Conclusie.....	33
7.2.4 Gevoeligheidsanalyse	33

8. Controle op het project “Schermdijk, IJsselooog”	34
8.1 Kreukelberm	34
8.1.1 Ontwerp geotextielen.....	35
8.1.2 Afweging	36
8.1.3 Conclusie.....	36
8.1.4 Gevoeligheidsanalyse	36
8.2 Vooroeververdediging.....	37
8.2.1 Ontwerp geotextiel.....	37
8.2.2 Afweging	38
8.2.3 Conclusie.....	38
8.2.4 Gevoeligheidsanalyse	38
9. Conclusie/Aanbeveling	39
9.1 Conclusie.....	39
9.2 Aanbeveling	39
Literatuur.....	41
Bijlagen.....	42
Bijlage 1. Achtergrondinformatie.....	43
Bijlage 2. Schadegevallen in Nederland.....	52
Bijlage 3. Eisen ontwerpmethodiek.....	56
Bijlage 4. Functionele- en uitvoeringseisen.....	57
Bijlage 5. Controle op het project "Willempolder, Abraham Wissepolder".....	78
Bijlage 6. Controle op het project “Schermdijk, IJsselooog”.....	125
Bijlage 7. Tekeningen.....	171

1. Inleiding

Al jaren maakt men gebruik van geokunststoffen in de Nederlandse dijkversterkingen die onder een steenbekleding van de dijk worden toegepast ter voorkoming van erosie van de onderliggende (klei)lagen. De toegepaste geokunststoffen worden ontworpen conform de huidige Nederlandse ontwerprichtlijn bestaande uit de CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [1]. Sinds 1997 is een speciaal projectbureau opgericht, namelijk projectbureau Zeeweringen, dat zich bezig houdt met het versterken van de dijken. Inventarisatie van de te versterken dijken en uitvoering van de versterkingen hebben schadebeelden aan het geokunststof aan het licht gebracht, waaruit de vraag vanuit projectbureau Zeeweringen is ontstaan of het toegepaste geotextiele doek conform de huidige ontwerpregels wel voldoet. In de ons omringende landen worden eveneens veel geokunststoffen in de waterbouw toegepast, met name Duitsland is hierin een ver vooruitstrevend land. Duitsland heeft in het verleden veel onderzoek uitgevoerd naar het toepassen van geokunststoffen in de waterbouw en heeft aan de hand van de onderzoeken een ontwerpmethodiek opgesteld. Een groot verschil tussen de Duitse ontwerpmethodiek en de Nederlandse voorschriften is de materiaalkeuze en de dikte van het geokunststof dat wordt toegepast.

Vanuit de praktijk is gebleken dat er bij het ontwerp conform de huidige Nederlandse richtlijnen schadebeelden ontstaan wat vraagtekens zet aan de ontwerprichtlijnen. Hierdoor is in Nederland een behoefte aan een duidelijke en complete ontwerpmethodiek, inclusief de benodigde testen voor het ontwerp van een geokunststof dat in de Nederlandse kust- en oeververdediging wordt toegepast. Vanwege verschillen van de toegepaste geotextielen in de omringende landen, met name in Duitsland, wordt de behoefte aan een complete ontwerpmethodiek versterkt. Er dient een ontwerpmethodiek opgesteld te worden die bestaat uit meerdere niveaus waarbij de volgende vraag centraal staat: "Aan welke ontwerpvoorschriften moeten geotextielen die toegepast worden als filterconstructies onder (steen)bekledingen in de Nederlandse kust- en oeververdediging voldoen, inclusief de bijbehorende beproevingsmethoden die betrouwbaarheid van de ontwerpmethodiek waarborgen?"

Dit rapport is een advies over de grondslag, in de vorm van een standaard ontwerpmethodiek, die kan worden gelegd aan het toepassen van filterconstructies in de Nederlandse kust- en oeverbescherming. De opgezette ontwerpmethodiek is gerelateerd aan een onderzoek van de toepassing van geokunststoffen in de Duitse- en Nederlandse praktijk. Vervolgens is een programma van eisen opgesteld waaraan de ontwerpmethodiek dient te voldoen. Vanuit het programma van eisen is een vergelijking opgesteld met de eisen en de huidige ontwerpmethodiek, waar vervolgens een nieuwe ontwerpmethodiek uit wordt opgezet. Daarnaast wordt ook onderzoek gedaan naar de beproevingsmethoden die van toepassing zijn. Tenslotte wordt de ontwerpmethodiek toegepast op twee projecten.

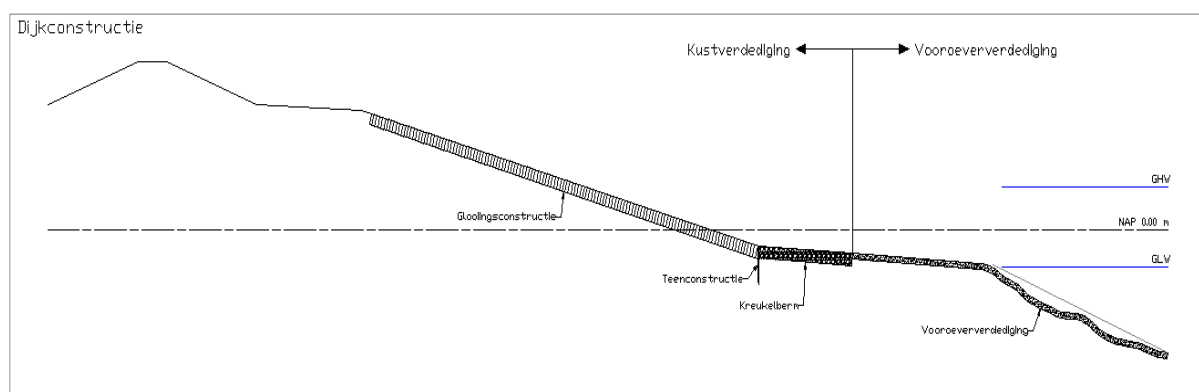
2. Toepassingen geokunststoffen

Om een ontwerpmethodiek op te stellen volgens de Nederlandse ontwerpfilosofie, dient eerst onderzoek te worden gedaan naar de verschillende toepassingen van geokunststoffen in de Nederlandse kust- en oeververdediging. Dit hoofdstuk bestaat uit onderzoek naar de huidige functie van een waterkerende constructie, naar de toepassing van geokunststoffen en geotextiele constructies, naar het gebruik van de materialen en naar de uitvoering van het aanbrengen van geotextielen.

2.1 Waterkerende constructie

Het ontstaan van dijken in Nederland is sterk gerelateerd aan de Nederlandse geschiedenis. Door toename van de bevolkingsgroei was er meer woon- en leefruimte nodig. Deze ruimte werd in West-Nederland gezocht op de veengebieden en door middel van inpoldering werd woon- en leefruimte gecreëerd. Bij het proces van het inpolderen werden gebieden bedijkt, ingepolderd en droog gemalen. Dijken zijn verhogingen die het achterliggende land veilig moet stellen met betrekking tot overstromingen. Deze verhogingen zijn door mensenhand gerealiseerd waarvoor ook het begrip waterkering kan worden gebruikt.

Het niveau van veel van deze ingepolderde gebieden ligt onder de zeespiegel en wordt beschermd door dijken. Dijken die een primaire beschermingsfunctie hebben worden constant door hydraulische invloeden zoals golven en stromingen belast. In eerste instantie dient de dijk voldoende hoog te zijn om het water te kunnen keren en golfoverslag te voorkomen. Bij dijken die gesitueerd zijn op een locatie waar grote stroomsnelheden en golfaanvallen invloed uitoefenen op de dijk is de kans op erosie groot. Het erosieproces verzwakt de dijk en kan leiden tot het bezwijken van de dijk. Om dit te voorkomen wordt in de kust- en oeverbescherming vaak gebruik gemaakt van harde materialen, zoals breuksteen, betonzuilen, etc. Deze materialen vangen golfklappen op en voorkomen grove erosie van zowel het voorland als de gloopingsconstructie. Vaak worden deze materialen op doeken geplaatst die zanddicht zijn zodat ook erosie vanonder de harde bekleding wordt tegengegaan. Deze doeken, worden ook wel geokunststoffen genoemd en kunnen bestaan uit weefsels, vliezen, folies, etc. In figuur 1 is het toepassingsgebied zichtbaar gemaakt waar in dit rapport op wordt ingegaan, tevens bestrijkt het toepassingsgebied ook damconstructies.



Figuur 1: Hoofdtoepassingsgebieden

2.2 Geokunststoffen

Geokunststoffen is in feite een verzamelnaam voor kunststofproducten die naast het gebruik in de grond- en wegenbouw ook veel in de waterbouw worden toegepast. In de loop der jaren hebben de vele soorten geokunststoffen een breed scala aan toepassingen, zie paragraaf 2.3, gevonden en is het gebruik ervan toegenomen. De eisen die aan de eigenschappen van de geokunststoffen worden gesteld zijn afhankelijk van de toepassing.

Tot de bovengenoemde geokunststoffen die voornamelijk in de grond-, weg- en waterbouw worden toegepast, behoren geotextielen, roosters, structuurmatten, drainagematten, composieten en geomembranen. Er wordt echter dieper ingegaan op het toepassen van geotextielen in de kust- en oeververdedigingen, de overige geokunststoffen worden buiten beschouwing gelaten.

Geotextiel is in feite een verzamelnaam voor weefsel en vliezen (textielproducten), deze zijn opgebouwd uit kunststof vezels, mono- en multifilamentgarens, bandjes of bandjesgarens. Daarnaast worden geotextielen ook vervaardigd uit natuurlijke materialen zoals kokos, jute en sisal. Deze materialen zijn echter biologisch sneller afbreekbaar waardoor deze materialen een tijdelijke functie vervullen en worden vooral in lichte beschermingsconstructies toegepast.

2.3 Geotextiele constructies

In de kust- en oeverbescherming worden geokunststoffen toegepast die voornamelijk als wapening- of filterfunctie dienen. De filterfunctie, het voorkomen van uitspoeling, speelt hierbij de belangrijkste rol waardoor deze als primair wordt beschouwd. Hierbij wordt de wapeningsfunctie als secundair beschouwd. Dit rapport beperkt zich tot die constructies waarbij het filteren de primaire functie en de wapening de secundaire functie is. Hieronder wordt er nader uitleg gegeven over de filterconstructies.

2.3.1 Algemeen

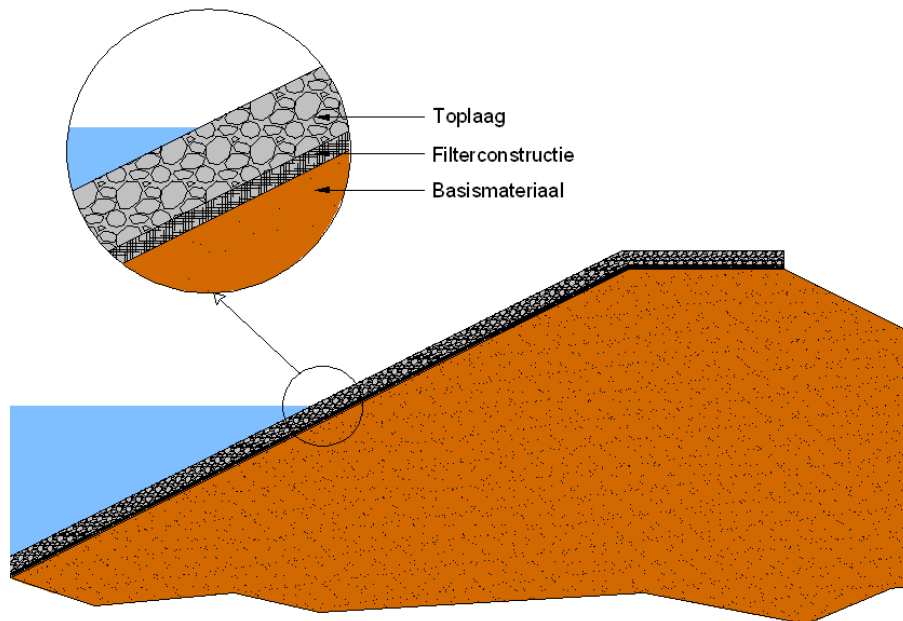
De hydraulische belastingen op een waterbouwkundige constructie zijn maatgevend waardoor het van belang is dat de constructie dusdanig wordt ontworpen dat deze bestand is tegen de geldende belastingen. Dit geldt voor alle onderdelen van de constructie.

De waterbouwkundige constructies die in dit rapport worden behandeld bestaan over het algemeen uit dezelfde opbouw, namelijk uit een basismateriaal (bijvoorbeeld de kern van een dijk), een filterconstructie die uit meerdere filterlagen kan bestaan en een beschermende toplaag. In figuur 2 is de opbouw van een dijklichaam weergegeven. In tabel 1.1 in bijlage 1 worden de toepassingen van geokunststoffen en tevens het geldigheidsgebied van dit rapport weergegeven. In dit rapport zal nader worden ingegaan op voornamelijk de filter- en scheidingsfunctie van geokunststoffen (zie tabel 1) en worden de overige functies en toepassingen buiten beschouwing laten.

Tabel 1: Toepassingen van geokunststoffen [1]

Functie	Voornaamste eigenschappen	Toepassing	Materiaal
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 - gronddichte laag achter constructies - filterconstructies 	Weefsel of vlies van: <ul style="list-style-type: none"> - Polyester (PET) - Polypropyleen (PP) - Polyethyleen (PE) - Polyamide (PA)

Allereerst dient de toplaag bestand te zijn tegen de hydraulische belastingen waardoor deze zwaar gedimensioneerd dient te worden. De filterconstructie daaronder voorkomt uitspoeling van het basismateriaal gedurende de optredende belastingen. Een filter vormt een onderdeel van de totale constructie zoals in figuur 2 is weergegeven, en is geen op zichzelf staande constructie. In dit rapport wordt de beschermingsconstructie benaderd als een toplaag in combinatie met een filterconstructie. Hierbij dient echter te worden vermeldt dat ook de toplaag een filterfunctie vervuld. Zo zorgt de toplaag ervoor dat het granulaire filtermateriaal niet uitspoelt. Hier wordt echter niet verder op ingegaan.



Figuur 2: Principeschets meest voorkomende constructietype

2.3.2 Filterconstructies algemeen

De filterconstructies, waarbij de toplaag buiten beschouwing gelaten wordt, kunnen uit gebonden materiaal zoals waterbouw zandasfalt, een granulair materiaal zoals steenslag, een geokunststof of een combinatie hiervan bestaan. De keuze tussen de hiervoor genoemde filterconstructies is afhankelijk van een groot aantal factoren. De meest voorkomende factoren die in verband worden gebracht met de keuze van een geokunststof zijn:

- gemakkelijk en snel aan te brengen;
- door flexibiliteit kan het vervormen met de ondergrond;
- geringere milieubelasting (voordelige levenscyclusanalyse, resulteert in duurzamer inkopen);
- lage kosten (aanschaf, minder ruimte beslag en uitvoering);
- nauwkeurig te specificeren eisen aan het geokunststof.

Daarnaast geldt voor alle filterconstructies dat het uitvoeringstechnisch aspect een zeer belangrijke weging heeft in de keuze van de filterconstructie. Zo is het onder water aanbrengen van granulaire lagen zeer lastig op uitvoeringstechnisch gebied waardoor ook de kwaliteit hiervan moeilijk is te waarborgen. Daar tegenover vraagt het onder water aanbrengen van geokunststoffen ook de nodige aandacht, echter is deze filterconstructie met grotere precisie en betrouwbaarheid uit te voeren. Een belangrijk punt is dat een geokunststof niet zonder meer een granulair filter kunnen vervangen. Een granulair filter kan naast een filterfunctie ook een ballastfunctie en uitvulfunctie hebben. Met een geokunststof kan echter niet hetzelfde resultaat worden behaald.

2.3.3 Filertypen algemeen

De samenstelling van de ondergrond, de grootte van de openingen en de optredende belastingen bepalen het gedrag van een filterconstructie waardoor de filters in twee typen kunnen worden onderscheiden:

- geometrisch dichte filters;
- geometrisch open filters.

2.3.3.1 Geometrisch dichte filters

De functie van een geometrisch dicht filter is om ervoor te zorgen dat er geen transport van materiaal uit de basislaag door het filter plaats vindt onafhankelijk van de hydraulische belastingen die op het filter worden uitgeoefend. Dit betekent dat de openingen dermate klein dienen te zijn zodat er geen gronddeeltjes vanuit de basislaag doorheen kunnen spoelen. Voor dit ontwerp zijn echter meerdere filterlagen benodigd waarbij het volume van het materiaal zal toenemen. Bovendien is een geometrisch dicht filter in combinatie met constructiewerkzaamheden onder water lastig te vervullen. Geometrische dichte filters worden toegepast bij open toplagen.

2.3.3.2 Geometrisch open filters

In een geometrisch open filter zijn de openingen van dermate grootte dat transport van materiaal door het filter mogelijk is. Echter door het filter worden de optredende hydraulische belastingen zodanig gereduceerd dat deze kleiner zijn dan de kritieke belastingen. Hierdoor treedt er geen transport van materiaal op door het filter. Tevens wordt de werking van een geokunststof of een granulier filter bepaald door materiaal wat door het filter wordt tegengehouden. Geometrische open filters worden toegepast bij dichte toplagen.

2.4 Materialen

De geokunststoffen die in de huidige waterbouw worden toegepast bestaan uit de volgende polymeren, de eigenschappen van deze polymeren zijn weergegeven in tabel 1.2 van bijlage 1:

- Polyester [PET]
- Polypropyleen [PP]
- Polyethyleen [PE]
 - o High Density Polyethyleen [HDPE]
 - o Low Density Polyethyleen [LDPE]
- Polyamide (nylon) [PA]
- Polyvinylchloride [PVC]

De bovenbeschreven polymeren geven verschillende geokunststoffen eindproducten, dit kunnen zijn weefsel, vlies, breisel, geogrid, geocell, geomat, geomembraam, geocomposiet, geonet en geotextiele zandelementen. Hieronder zijn de eindproducten die voornamelijk van toepassing zijn voor de Nederlandse kust- en oeververdediging beschreven, in tabel 1.3 van bijlage 1 is een totaal overzicht weergegeven van de verschillende eindproducten met de beschrijving en de halffabricaten.

2.4.1 Weefsel (wovens) [1]

Weefsels worden in Nederland toegepast waar een stabilisatie of wapening met een grondscheiding nodig is, bijvoorbeeld bij zink- en kraagstukken in de waterbouw. De filtereigenschappen van het weefsel zijn afhankelijk van de openingsgrootte van het weefsel, de korrelgrootte van de aanliggende grond en de optredende waterstroming. De sterkte van het weefsel kan in langs- en dwarsrichting sterk verschillen. De zwaardere weefsels zijn geschikt voor het wapenen van de grond, lichtere weefsels voor stabilisatie en scheiding. In figuur 3 is een zinkstuk van weefsel met een roosterwerk van wiepen weergegeven. Weefsels worden gemaakt door garens of kunststofbandjes te weven. De draden in de lengterichting noemt men de 'ketting', de draden in de dwarsrichting de 'inslag'.



Figuur 3: Zinkstuk, een weefsel met een roosterwerk van wiepen [1]

De kenmerken van weefsels zijn:

- Doek van geweven draden/bandjes/garens;
- De openingsgrootte varieert tussen de 0,130 mm – 0,500 mm;
- Een geringe dikte van 0,4 mm – 5 mm;
- Lichte weefsels hebben een sterkte tot ca. 100 kN/m;
- Zwaardere weefsels hebben een sterkte tot ca. 1000 kN/m;
- Slecht/matig doorgroeibaar voor riet en andere planten.

Functies van weefsels zijn:

- Stabiliseren/wapenen;
- Filteren;
- Scheiden.

De benodigde grondstoffen zijn:

- Polypropyleen, polyester en polyetheen;
- Kokos en jute.

2.4.2 Vlies (non wovens) [1]

Vliezen worden in Nederland veelal toegepast als scheidings- of beschermingslaag. Vliezen zijn samengesteld uit korte vezels die met elkaar verbonden worden. Vliezen zijn dus niet geweven geotextielen. Ze worden daarom ook non-wovens genoemd in tegenstelling tot wovens of weefsels. In figuur 4 is een vlies weergegeven dat toegepast wordt voor een dijkbekleding. Vliezen worden gemaakt van kunststofvezels die in een willekeurige richting worden gelegd en aan elkaar worden verbonden. Dit gebeurt meestal mechanisch door samenrollen en naaldprikken, maar de vezels kunnen ook thermisch (warmte) of chemisch (lijmen) aan elkaar worden verbonden.

De kenmerken van vliezen zijn:

- Een doek van vezels die onderling zijn gebonden;
- Praktisch altijd gronddicht;
- Een groot variërende dikte van 0,4 mm – 15 mm;
- Grote rek 35% - 80%;
- Weinig treksterkte 3 kN/m – 30 kN/m;
- Slecht/matig doorgroeibaar voor rit en andere planten.

Functies van vliezen zijn:

- Scheiden;
- Filteren;
- Beschermen, bij voldoende dikte;
- Beperkt draineren, bij voldoende dikte.



Figuur 4: Aanbrengen filterlaag op een vlies voor een dijkbekleding [1]

De benodigde grondstoffen zijn:

- Polypropyleen, polyetheen en polyester;
- Kokos en jute.

2.4.3 Eigenschappen

Alle geokunststoffen die in de praktijk worden toegepast hebben ieder hun eigen eigenschappen. Aan de hand van deze eigenschappen wordt er bepaald welk geokunststof er wordt toegepast in een bepaalde situatie. Deze eigenschappen zijn weergegeven in tabel 1.4 in bijlage 1. Zo heeft iedere geokunststof ook zijn eigen functie, dit leidt er toe dat het geokunststof bepaalde eigenschappen

moet hebben. De meest toegepaste geotextielen hebben als functie filterconstructie en scheiden. Bij een filterconstructie moet het geokunststof grond dicht en waterdoorlatend zijn en bij scheiden moet het geokunststof grond dicht zijn. In figuur 1.1 in bijlage 1 is een overzicht weergegeven van de eisen aan een geokunststof en de producten die voor het vervullen van een bepaalde functie worden gebruikt.

2.5 Uitvoering

De uitvoeringsfase is de meest kritische fase in het proces, van de productiefase tot de ingebruiksfase, van de geotextielen, er is namelijk de meeste kans op functieverlies tijdens de uitvoeringsfase. De geotextielen worden immers tijdens de uitvoeringsfase het zwaarst belast, dit is hoofdzakelijk als de geotextielen een functie hebben als filter of scheiding. Het ontwerpen van de geotextielen is niet alleen gebaseerd op theoretische ontwerpeisen (waterdoorlatendheid, grond dichtheid), maar ook voor een groot deel afhankelijk van de uitvoeringsaspecten (valhoogte van de aan te brengen afdichtinglaag).

Voor het aanbrengen van filterconstructies in de Nederlandse kust- en oeverbescherming zijn een aantal uitvoeringsmethoden van toepassing. Deze uitvoeringsmethoden zijn, het aanbrengen van geotextielen op een glooiingsconstructie (in den droge) en het aanbrengen van geotextielen op de bodem- en vooroeververdediging (in den natte). Een essentieel uitvoeringsaspect dat voor beide methoden van toepassing is, betreft de overgangsconstructies. Uit de praktijk blijkt namelijk dat de overgangsconstructie een zeer kritisch element is in de constructie. De meeste schade in een constructie ontstaat namelijk bij de overgang van twee materialen of bij de overgang van de ene beschermingsconstructie naar de andere, ook de beëindigingen zoals de teenconstructies zijn kritisch.

2.5.1 Glooiingconstructie (in den droge)

Het aanbrengen van een geotextiel als filterconstructie op een glooiingsconstructie geschiedt door het aanbrengen van het geotextiel direct op het boven laagwater gelegen talud van een dijk of dam. Hierbij wordt het geotextiel in enkele banen of samengestelde panelen direct vanaf de rol geïnstalleerd. Voor het aanbrengen van glooiing- en oeverconstructies zijn er twee uitvoeringsmethoden mogelijk, één is het geotextiel uitrollen van boven naar beneden en de ander is het geotextiel horizontaal uitrollen, zie figuur 5. Bij de uitvoeringsmethode uitrollen van boven naar beneden wordt het geotextiel aan de bovenkant verankert, waarna de rol op het talud van boven naar beneden beheersbaar wordt afgewikkeld. Deze methode wordt toegepast bij dijken of dammen waar het talud lang is en zich ook gedeeltelijk onderwater bevindt. Bij de uitvoeringsmethode horizontaal uitrollen wordt het geotextiel aangebracht vanaf de waterlijn en wordt vervolgens naar boven toe gewerkt. Deze uitvoeringsmethode wordt toegepast bij dijken of dammen waar het talud kort is, het voordeel hiervan is dat er minder overlappen nodig zijn en hierdoor ook minder geotextiel.



Figuur 5: Aanbrengen geotextiel links; van boven naar beneden uitrollen, rechts; horizontaal uitrollen [1]

Na het aanbrengen van het geotextiel wordt hierop granulair materiaal aangebracht. Tijdens dit proces is het belangrijk om heel voorzichtig en nauwkeurig te werken, het geotextiel kan namelijk tijdens dit proces gemakkelijk beschadigen.

2.5.2 Bodem- en vooroeverconstructie (in den natte)

Het aanbrengen van een geotextiel als filterconstructie op een bodem- en vooroeverconstructie geschiedt van het toepassen van een zinkstuk. Een zinkstuk bestaat uit een geotextiel waaraan een wiepenrooster is vastgeknoopt, zodat deze een stabiel en drijvend geheel vormt. Een wiepenrooster heeft als functie, het zinkstuk stijfheid en drijfvermogen te geven gedurende het transport en afzinken, zie figuur 6. Een zinkstuk wordt gemaakt op een zate, een flauw naar het water aflopen terrein. Na het gereedmaken wordt het zinkstuk met een sleepboot van de zate afgetrokken en vervoerd naar de plaats van bestemming. Vervolgens zal het zinkstuk op de juiste plaats van bestemming worden afgezonken. Het afzinken gebeurt door middel van het aanbrengen van een lading stenen (meestal basalt) op het zinkstuk. Deze activiteiten brengen met zich mee dat er extra belastingen op het geotextiel werken.



Figuur 6: links; verplaatsen zinkstuk, rechts; geotextiel met wiepenrooster [1]

2.6 Schades tijdens uitvoering

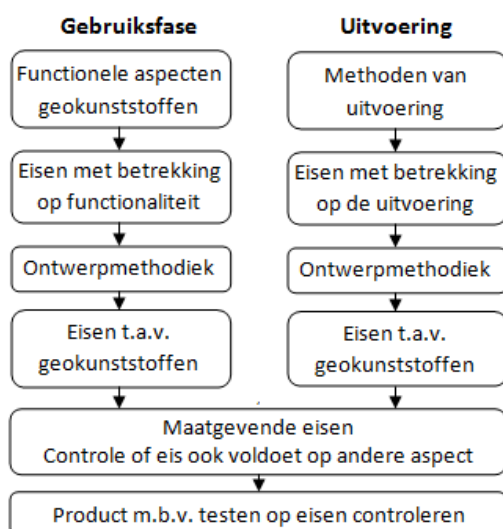
De in Nederland gehanteerde ontwerpvoorschriften voor filterconstructies in de kust- en oeververdediging houden onvoldoende rekening met de uitvoeringsaspecten. Het is al meerdere malen voorgekomen dat het geotextiel onder invloed van belastingen in de uitvoeringsfase bezweek. Wat betreft de Nederlandse ontwerpvoorschriften is er geen betrouwbare ontwerpmethodiek die de uitvoeringsbelasting dekt. Dit heeft al een aantal schadegevallen in Nederland opgeleverd, deze schadegevallen zijn weergegeven in Bijlage 2. Dit geeft een indruk waarom de Nederlandse voorschriften opnieuw dienen te worden onderzocht en de uitvoeringsaspecten vertaald worden naar de ontwerpvoorschriften.

3. Programma van Eisen

Het programma van eisen dat van toepassing is op de ontwerpmethodiek van geokunststoffen in filterconstructies in de Nederlandse kust- en oeververdediging is de basis voor de op te zetten ontwerpmethodiek. Het programma van eisen bestaat uit eisen aan de ontwerpmethodiek (zie bijlage 3) en daarnaast uit eisen die zullen leiden tot de ontwerpmethodiek (zie bijlage 4).

3.1 Totstandkoming van de eisen

Het toe te passen geotextiel in de Nederlandse kust- en oeververdediging dient weerstand te bieden aan de optredende belastingen gedurende de uitvoering en tijdens de gebruiksfase. Om tot een ontwerp van geotextielen te komen moeten eerst de functionele aspecten van geokunststoffen en methoden van uitvoeringen worden bepaald. Hieruit volgen eisen die betrekking hebben op de functionaliteit van de geokunststoffen en eisen die betrekking hebben op de uitvoering. Aan de hand van deze eisen wordt er een technische ontwerpmethodiek opgesteld, waaruit de eisen uit de gebruiks- en uitvoeringsfase voortkomen die tot een product leiden. Indien hier verschillen optreden met betrekking tot de eigenschappen van het geotextiel, dient er te worden gecontroleerd of het maatgevende (zwaarst gedimensioneerd) product ook voldoet voor de andere aspecten. Vervolgens worden de producten met behulp van testen op de gestelde eisen gecontroleerd. Zie figuur 7 voor de te volgen stappen voor de totstandkoming van de eisen aan het geotextiel.



Figuur 7: Schema tot het ontwerp van de eisen aan het geotextiel

3.2 Eisen t.b.v. het opstellen van een ontwerpmethodiek

Eisen aan de ontwerpmethodiek zijn gebaseerd op het opzetten van de ontwerpmethodiek voor geokunststoffen in filterconstructies. De eisen die hier worden gesteld zijn enkel van betekenis voor de ontwerpmethodiek, aan de hand van deze eisen zal blijken aan welke eigenschappen het geotextiel dient te voldoen. De eisen aan de ontwerpmethodiek gaan in op de eisen aan de ontwerpmethodiek, eisen n.a.v. gebruiksfase, eisen uit uitvoering en eisen op basis van de locatie.

3.2.1 Eisen aan de ontwerpmethodiek

De eisen aan de ontwerpmethodiek vormen de leidraad voor het opzetten van de ontwerpmethodiek voor het toepassen van geotextielen in de waterbouw. De eisen aan de ontwerpmethodiek zijn tot stand gekomen naar aanleiding van de workshops en de overleggen met praktijkexperts die hebben plaatsgevonden in de afgelopen jaren. De hoofdeisen die zijn opgesteld vormen de leidraad voor het opzetten van de ontwerpmethodiek voor het toepassen van geokunststoffen in de Nederlandse kust- en oeververdediging. De ontwerpmethodiek zal toepasbaar

zijn voor de gehele dijkconstructie, zowel toepasbaar voor boven- als onderwater, zowel toepasbaar voor dijken als oevers en zowel toepasbaar voor in-situ aangelegd als on-site geprefabriceerd. Daarnaast zal de ontwerpmethodiek niet alleen het ontwerp beslaan, maar ook de controletesten erbij betrekken die nodig zijn om de benodigde kwaliteit in de praktijk aan te tonen.

3.2.2 Eisen n.a.v. gebruiksfase

De gebruiksfase betreft de fase waarbij het geotextiel als onderdeel van de filterconstructie is aangebracht en waarbij de hydraulische belastingen op basis van geotechnische krachten werkt op de kust- of oeververdediging. Tijdens deze fase gaat het om de dijk of dam stabiel te houden. Echter zijn er een aantal mogelijke faalmechanismen waaraan de dijk of dam aan kan bezwijken. Om deze faalmechanismen te voorkomen tijdens de gebruiksfase, dient hiervoor een ontwerp van het geotextiel te worden gemaakt, waarmee aangetoond wordt dat de faalmechanismen worden belet. Ten behoeve van dit ontwerp zijn er een aantal randvoorwaarden benodigd, bijvoorbeeld de bodemgesteldheid, hydraulische belastingen en de constructie van de dijk. Dit alles leidt tot een aantal eisen waaraan het geotextiel dient te voldoen.

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.

In figuur 1 worden deze hoofdconstructies aan de hand van een dwarsdoorsnede van een dijk aangegeven. Per toepassingsgebied zijn verschillende invloeden van toepassing op het geotextiel. Bij deze verschillen kan worden gedacht aan invloeden als golfklappen, stromingen, helling van de ondergrond, etc. Deze invloeden zijn omgezet in eisen die gesteld worden aan de eigenschappen van het geotextiel op basis van de toepassing.

De belangrijkste aspecten in het toepassingsgebied per hoofdconstructie zijn, voor glooiingsconstructie het voorkomen van erosie, voor de kreukelberm het voorkomen van verzakkingen van losse stenen en het voorkomen van erosie en voor de vooroeververdediging het transporteren en belasten van het zinkstuk en het voorkomen van verzakkingen van losse stenen.

3.2.3 Eisen uit uitvoering

De uitvoeringsfase betreft niet alleen het installeren van de geotextielen op de gewenste locatie, maar ook het opslaan en transporteren van het geotextiel. De uitvoering is op te verdelen in twee uitvoeringsmethodieken, dit zijn uitvoering in den droge en uitvoering in den natte. Beide uitvoeringsmethoden ondervinden andere belastingen en zullen verschillen in eisen, de eisen uit de uitvoering kunnen echter nog wel wijzigen naar aanleiding van dit rapport. Tevens dient er gedurende de uitvoering bij zowel in den natte als in den droge rekening te worden gehouden met bepaalde uitvoeringsaspecten (zoals de maximale valhoogte van de steenbestorting, zorgen voor een vlakke ondergrond, etc.) en aspecten gedurende transport en opslag. Deze transport-, opslag- en uitvoeringsaspecten zijn weergegeven in de CUR 115 "Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw" [2].

3.2.3.1 Uitvoering in den natte

Bij uitvoering in den natte wordt er een zinkstuk geprefabriceerd, waarna het zinkstuk getransporteerd wordt over het water naar de plaats van verwerking en vervolgens wordt afgezonken. Tijdens de uitvoering in den natte treden significante belastingen op tijdens het transporteren en installeren van het zinkstuk. Deze belastingen brengen een aantal faalmechanismen ten behoeve van zinkstukken met zich mee. Om deze faalmechanismen te voorkomen tijdens de

uitvoering, dient er een ontwerp te worden gemaakt, waarbij de faalmechanismen worden begrensd. Voor het ontwerpen zijn er randvoorwaarden benodigd, bijvoorbeeld bodemgesteldheid en de aan te brengen beschermende top laag. Aan de hand van deze belastingen, faalmechanismen en randvoorwaarden worden er eisen opgesteld waaraan het geotextiel tijdens de uitvoering aan dient te voldoen.

3.2.3.2 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 breuksteen. Gedurende de uitvoering in den droge treden er belastingen tijdens de opslag, transport, installatie geotextiel en het aanbrengen van de steenbekleding op. Deze belastingen brengen een aantal faalmechanismen met zich mee. Om deze faalmechanismen te voorkomen tijdens de uitvoering, dient er een ontwerp te worden gemaakt, waarbij de faalmechanismen worden begrensd. Voor het ontwerpen zijn er randvoorwaarden benodigd, bijvoorbeeld bodemgesteldheid en de aan te brengen beschermende top laag. Aan de hand van deze belastingen, faalmechanismen en randvoorwaarden worden er eisen opgesteld waaraan het geotextiel tijdens de uitvoering aan dient te voldoen.

3.2.4 Eisen op basis van de locatie

De locatie waar de dijk of dam gelegen is heeft een dusdanige invloed op de eisen die gesteld worden aan de eigenschappen van het geotextiel. Wanneer een dijk of dam gelokaliseerd is in de monding van een rivier, zal er op de dijk of dam hogere golfslag zijn dan wanneer de dijk of dam meer landinwaarts in de rivier gelegen is. De hydraulische randvoorwaarden tijdens de gebruiksduur kunnen dus grootte verschillen vertonen op de verschillende locaties. Dit heeft vervolgens weer invloed op de eisen die worden gesteld aan het geotextiel. Hieronder volgen de aspecten die kunnen verschillen per locatie.

- Diep of ondiep water;
- Bodemgesteldheid;
- Hoog- en laagwater;
- Golfbelasting;
- Medegebruik;
- Stroming of stilstand water.

4. Huidige Ontwerpmethodiek

Zowel de huidige Nederlandse als de Duitse voorschriften zijn de basis voor het opzetten van een nieuwe ontwerpmethodiek, waarbij eisen worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiel die wordt toegepast in een filterconstructie in de kust- en oeververdediging. Er dient te worden aangetoond of de beschikbare huidige voorschriften bruikbaar zijn voor het gestelde doel van de nieuw op te stellen ontwerpmethodiek.

Nederland heeft niet de beschikking over een daadwerkelijke ontwerpvoorschrift, maar hanteert de CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [1] als ontwerprichtlijn. Terwijl Duitsland, een ver vooruitstrevend land op het gebied van geokunststoffen in de waterbouw, de ontwerpmethodiek volgens de "Code of Practice Use of Geotextile Filters on Waterways (MAG)" [3] hanteert. De Duitse ontwerpmethodiek als voorbeeld dienen voor het opzetten van de nieuwe ontwerpmethodiek. Dit hoofdstuk zal tot slot ingaan op de verschillen tussen de huidige Nederlandse en Duitse ontwerpmethodiek.

4.1 Huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften

In de huidige situatie worden de geokunststoffen vaak op basis van ervaring voorgeschreven in plaats van dat er daadwerkelijk een ontwerp aan ten grondslag ligt. Voldoet een geokunststof in een voorgaand project op basis van functionaliteit dan zal het geotextiel in het komende projecten dezelfde eigenschappen bevatten. In de Nederlandse waterbouw is simpelweg geen duidelijke handleiding wat betreft het maken van een ontwerp voor geotextielen. De ontwerprichtlijn die gehanteerd wordt in Nederland is volgens de CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [1]. De ontwerprichtlijn stelt echter enkel eisen aan de functionaliteit en houdt geen rekening met bezwijking tijdens de uitvoering.

4.1.1 Functionaliteit

De eisen die gesteld zijn aan de functionaliteit van het geotextiel zijn gebaseerd op ontwerpcriteria, die op basis van onderzoek zijn opgesteld. Beide ontwerpcriteria zijn afhankelijk van de aanwezige ondergrond, dit heeft namelijk invloed op de waterdoorlatendheid en de zanddichtheid van het geotextiel. Hieronder is een beschrijving weergegeven van de ontwerpcriteria.

4.1.1.1 Gronddichtheid

De ontwerpcriteria voor het bepalen van de gronddichtheid geeft het verband weer tussen grondeigenschappen, deeltjesgrootte en de korrelverdeling. Een essentieel onderdeel hierbij is hoe goed het materiaal is opgesloten in het geotextiel. Als het geotextiel strak tegen de onderliggende laag ligt, is er de mogelijkheid dat de fijne deeltjes dichtbij het geotextiel uitspoelen en er een filter in het basismateriaal direct onder het geotextiel ontstaat. Indien het geotextiel niet strak tegen de onderliggende laag aanligt en de korrels van het basismateriaal onder invloed van (hydraulische) belasting vrij kunnen bewegen, zullen er steeds nieuwe deeltjes in de directe omgeving van het geotextiel kunnen komen waardoor er ook steeds kleine deeltjes kunnen uitspoelen. Dit heeft invloed op de strengheid van de filterregels.

4.1.1.2 Waterdoorlatendheid

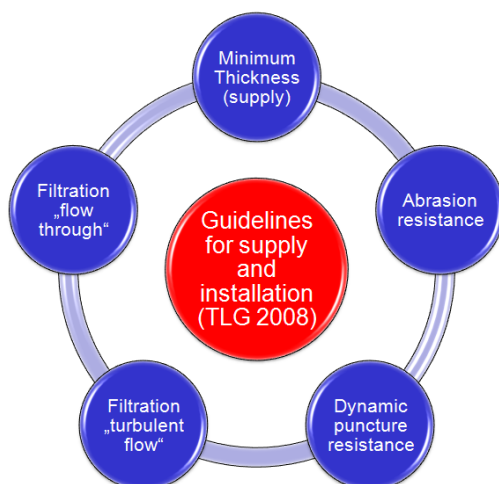
De waterdoorlatendheid van het geotextiel mag geen belemmering zijn voor de afvoercapaciteit van de constructie. Bijvoorbeeld bij een taludverdediging, waar uitredend water bij onvoldoende doorlatendheid instabiliteit van het talud kan veroorzaken. Er dient aandacht te worden besteed aan de effectieve doorlatendheid van het geotextiel als het wordt toegepast in een constructie, deze zal kleiner worden en zal van dezelfde orde zijn als de doorlatendheid van de ondergrond.

4.1.2 Uitvoering

De Nederlandse ontwerpvoorschriften stellen geen eisen aan de eigenschappen die benodigd zijn tijdens de uitvoering, om weerstand te bieden tegen werkende belastingen. Er kan daarom ook niet aangetoond worden of de geotextielen voldoen tijdens de gebruiksduur of dat deze bezwijken.

4.2 Duitse ontwerpvoorschriften

De huidige Duitse voorschriften zijn gebaseerd op performancetesten, performancetesten zijn testen waarmee aangetoond wordt welke eigenschappen een geotextiel moet bevatten bij bepaalde condities. De performancetesten zijn gebaseerd op lange termijn ervaring en empirische onderzoeken naar de eigenschappen van geotextielen, deze zijn voor zowel functionaliteit als robuustheid. Op basis van deze onderzoeken zijn er minimum waarden als eis gesteld waaraan het geotextiel moet voldoen. De gestelde minimum eisen geven een uiterst veilige waarde waarbij is gesteld dat de eigenschappen van het geotextiel voldoen aan de aanwezige condities. De Duitse onderzoeken stellen eisen aan een geotextiel dat zeker voldoet aan de aanwezige condities. Op basis van deze veiligheid en het nagenoeg geen verschil in kosten tussen verschillende geotextielen, is er gesteld dat er niet onderzocht hoeft te worden of een minder zwaar geotextiel moet worden toegepast. Echter de Duitse "Bundesanstalt für Wasserbau" (BAW) heeft toch onderzoek uitgevoerd en gesteld dat de gehanteerde waardes lager kunnen zijn dan nu het geval is. Hierdoor kan gesteld worden dat de huidige Duitse ontwerpvoorschriften een marge op de robuustheid hanteert. In figuur 8 zijn de eigenschappen waaraan het geotextiel moet voldoen weergegeven. De ontwerpvoorschriften die worden gehanteerd zijn volgens de "Code of Practice Use of Geotextile Filters on Waterways (MAG)" [3] en "Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstrassen (TLG)" [4]. De uitgevoerde performancetesten zijn volgens de "Guidelines for Testing Geotextiles for Navigable Waterways (RPG)" [5].



Figuur 8: Richtlijnen op basis van functionaliteit en uitvoering

4.2.1 Functionaliteit

De eisen die gesteld zijn aan de functionaliteit van het geotextiel zijn gebaseerd op de performancetesten "flow through" en "turbulent flow". Beide testen zijn afhankelijk van de aanwezige ondergrond, is de ondergrond een grof korrelige of fijn korrelige grond. Dit heeft namelijk invloed op de waterdoorlatendheid en de gronddichtheid van het geotextiel. Naast de waterdoorlatendheid en gronddichtheid is ook de dikte van het geotextiel een belangrijk aspect, dit is gebaseerd op het verkleinen van de kans op reductie van de doorlatendheid. De dikte die is vast gesteld is op basis van de resultaten van onderstaande testen. Hierbij is de dikte van het meest optimaal functionerende geotextiel als waarde genomen voor de minimaal benodigde dikte. Hieronder is een korte beschrijving gegeven van de performance testen.

4.2.1.1 Flow through (doorstroming)

De performancetest “flow through” (ofwel doorstroming) is gebruikt om de mechanische filterstabiliteit van geotextielen in combinatie met zandige of licht siltige gronden ($D_{20} \geq 0,06$ mm) die blootgesteld zijn aan afwisselende stromingen door het materiaal te testen. De mechanische filtratiestabiliteit wordt bepaald door het meten van de grond die het geotextiel passeert. Geotextielen zijn geacht stabiele filters te zijn voor grindzand, mediumzand met fijn zand en licht silt fijn zand tot medium zand, als de totale hoeveelheid grondpassage door het filter en de hoeveelheid passage tijdens de laatste testfase niet groter is dan de maximale toegestane hoeveelheidspecificaties.

4.2.1.2 Turbulent flow (turbulente stroming)

De performance test “turbulent flow” (ofwel turbulente stroming) is gebruikt om de mechanische filtratie stabiliteit van geotextielen in combinatie met zeer fijn gegradeerde gronden ($D_{20} < 0,06$ mm) die blootgesteld worden aan externe turbulente stromingscondities te testen. De mechanische filterstabiliteit wordt bepaald door het meten van de grondpassage door het filter in elke fase van de test. De test simuleert de blootstelling van geotextielen aan turbulente omstandigheden zoals deze kunnen voorkomen tijdens bijvoorbeeld het passeren van een schip met een kritische transversale hekgolf of schroef. Geotextielen zijn geacht stabiele filters te zijn voor medium tot grof siltige gronden, als de hoeveelheid grondpassage door het filter tijdens de laatste testfase niet groter is dan de maximale toegestane hoeveelheidspecificaties.

4.2.2 Uitvoering

De eisen die gesteld zijn aan het geotextiel tijdens de uitvoering zijn gebaseerd op de performance testen “Dynamic puncture resistance” en “Abrasion resistance”. Beide testen zijn afhankelijk van de aan te brengen steenbekleding, bijvoorbeeld het gewicht van de steenbekleding of de valhoogte van de steenbekleding. Hieronder is een korte beschrijving gegeven van de performance testen die van toepassing zijn op de robuustheid.

4.2.2.1 Dynamic puncture resistance

De performance test “dynamic puncture resistance” (ofwel weerstand tegen dynamische perforatie) is gebruikt voor het testen van geotextielen op dynamische perforatiebelastingen (inslag). Het type en de strengheid van de testbelastingen simuleren de belastingen die voor kunnen komen op de bouwplaats, bijvoorbeeld tijdens de installatie van de beschermingslaag. Het testen van de weerstand tegen dynamische perforatiebelastingen wordt uitgevoerd door een stamper met een bepaalde valenergie te laten vallen op het geotextiele monster wat geplaatst is op de testgrond en vastgezet rond de rand. De test geeft een resultaat wat gedefinieerd kan worden in het slagen of falen van het geotextiele monster.

4.2.2.2 Abrasion resistance

De performance test “abrasion resistance” (ofwel de schuringsweerstand) simuleert schuringsbelastingen op geotextielen zoals deze kunnen worden veroorzaakt door beweging van stenen in een bekleding. Een mengsel van steenslag en water gaat over de geotextiele monsters die aangebracht zijn in een roterende trommel die 40.000 omwentelingen met de klok mee en 40.000 omwentelingen in tegengestelde richting draait. Indien de monsters niet verdwenen zijn door de test dan moet de trekkracht, dikte en massa per oppervlakte-eenheid worden bepaald. De veranderingen in de testwaarden tijdens de test worden gebruikt voor het beoordelen van de schuringsweerstand.

4.3 Verschillen

Naar aanleiding van het onderzoek naar de huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften en de Duitse ontwerpmethodiek zijn een aantal verschillen naar voren gekomen. De verschillen tussen beide landen zijn:

- Er worden verschillende materialen en eigenschappen toegepast;
- Nederland is gebaseerd op praktijkervaring en Duitsland op basis van empirisch onderzoek;
- Duitsland gaat in op eisen tijdens de uitvoering, terwijl Nederland hier geen aandacht aan besteedt.

4.3.1 Materialen

In Nederland worden voornamelijk geotextielen in de vorm van weefsels toegepast, een belangrijke eigenschap hiervan is dat weefsel een grote treksterkte en een kleine rek hebben. Duitsland past enkel geotextielen in de vorm van vliezen toe, enkel bij composieten (combinatie van vlies en weefsel) worden weefselgebruikt. Een ander verschil tussen beide toepassingen is op het gebied van de dikte van het geotextiel, Duitsland past geotextiel vanaf een dikte van 4,5 mm toe terwijl Nederland een maximale dikte van 5 mm hanteert.

4.3.2 Praktijkervaring versus Performance testen

Door praktijkexperts kan niet beargumenteerd worden of de eigenschappen van de toegepaste geotextielen in Nederland voldoen op basis van de uitvoering. De eigenschappen van de geotextielen die in Duitsland worden toegepast zijn gebaseerd op performancetesten, hierbij is aantoonbaar welke eigenschappen een geotextiel moet bevatten bij een bepaalde conditie.

4.3.3 Eisen tijdens de uitvoering

In Nederland worden de eigenschappen van het geotextiel enkel ontworpen op basis van functionaliteit tijdens de gebruiksduur. Terwijl de eigenschappen van het geotextiel dat toegepast wordt in Duitsland op basis van de performance testen “dynamic puncture resistance” en “abrasion resistance” wordt aangetoond.

4.4 Overeenkomsten

Na aanleiding van het onderzoek naar de huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften en de Duitse ontwerpmethodiek is een overeenkomst naar voren gekomen. De overeenkomst tussen beide landen is dat zowel Duitsland als Nederland in gaat op functionaliteit.

Zowel Nederland als Duitsland past geotextielen toe waarbij aantoonbaar eisen worden gesteld op basis van functionaliteit. De eisen die Nederland stelt aan de functionaliteit van het geotextiel zijn gebaseerd op ontwerpcriteria, die op basis van onderzoek zijn opgesteld. De eisen die Duitsland stelt aan de functionaliteit van het geotextiel zijn gebaseerd op performance testen.

4.5 Conclusie

Op basis van de verschillen en overeenkomsten tussen de huidige Nederlandse ontwerpvoorschriften en de Duitse ontwerpmethodiek, kan het volgende geconcludeerd worden. Er dient te worden onderzocht of de Duitse methode, gebaseerd op empirische onderzoek met vliezen, toepasbaar is voor de veelal in Nederland gebruikte weefsels. Deze methode zal moeten leiden tot een ontwerp waarmee de geschikte eigenschappen voldoen aan de functionele eisen en de eisen tijdens de uitvoering. Wat betreft de dikte van het geotextiel zal voor de weefsels een hekelpunt zijn waardoor onderzocht moet worden wat en hoe groot het effect is van de dikte van het geotextiel. Aan de hand van de toepassingen in Nederland, zal onderzocht worden of het mogelijk is om op basis van performance testen zoals in Duitsland een ontwerpmethodiek op te stellen. Zo ja, dan zal deze omgezet worden naar de Nederlandse ontwerpmethodiek. Hierbij zal deze dienst doen als een methode op basis van tabellen waarmee gemakkelijk en eenvoudig een ontwerp kan worden gemaakt.

De geotextielen die in Nederland worden toegepast dienen te voldoen aan zowel de functionaliteit als gedurende de uitvoering. De eisen die gelden voor de eigenschappen dienen tevens aantoonbaar te zijn.

5. Ontwerprichtlijn

De huidige Nederlandse methodiek geeft geen volledigheid wat betreft het ontwerp van geotextielen in de Nederlandse kust- en oeververdediging. Het opstellen van een nieuwe methodiek die volledig is en alle risico's dekt wordt gezien als een noodzaak. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de opbouw van de nieuwe ontwerpmethodiek.

5.1 Algemeen

In Nederland zijn de huidige ontwerpvoorschriften niet compleet wat betreft het ontwerp voor geotextielen in de kust- en oeververdediging. In Nederland verlangt men naar een overzichtelijk en duidelijk stappenplan voor het ontwerp van geotextielen in de kust- en oeververdediging. Het ontwerp gaat in op de het functioneren van het geotextiel (functionaliteit) en de weerstand tegen belastingen (robuustheid).

Bij de functionaliteit worden eisen gesteld aan de functie die het desbetreffende geotextiel dient te vervullen (gebruiksfase). Er zijn twee eigenschappen die kenmerkend zijn voor de functionaliteit van het geotextiel, namelijk de gronddichtheid en waterdoorlatendheid. De waterdoorlatendheid van het geotextiel gaat in op de snelheid waarmee het water door het geotextiele doek kan stromen. Wanneer een hoge waterdoorlatendheid wordt gehanteerd, dient echter de gronddichtheid te worden gewaarborgd. Voor een hoge waterdoorlatendheid vergt het geotextiel een grote karakteristieke openingsgrootte wat uitspoeling van het basismateriaal als mogelijk gevolg kan hebben. Voor het ontwerp worden eisen gesteld aan deze twee eigenschappen.

Eisen gesteld aan de robuustheid van het geotextiel komen voort uit de belastingen die optreden uit de maatgevende fase, namelijk de uitvoeringsfase. Tijdens het construeren, transporteren en verwerken van het geotextiel treden verschillende krachten op, waardoor deze als eisen kunnen worden gesteld aan de eigenschappen van het geotextiele doek. Hantering van de eisen en voorgeschreven voorwaarden zullen leiden tot een correct functionerend geotextiel zonder schadebeelden.

5.2 Eisen aan de eigenschappen van het geotextiel

Het geotextiel dient zowel tijdens de uitvoeringsfase (robuustheid) als de gebruiksfase (functionaliteit) niet te bezwijken onder de aanwezige belastingen. Om deze reden zal het geotextiel over bepaalde eigenschappen moeten beschikken waarmee aangetoond wordt dat het geotextiel voldoet tijdens de uitvoeringsfase en de gebruiksfase, zie tabel 2 die ingaat op zowel functionaliteit als robuustheid.

Tabel 2: Eigenschappen van het geotextiel

Ontwerp eisen	Eigenschappen	Omschrijving
Functionaliteit	Gronddichtheid	De mate waarin het geotextiel het onderliggende materiaal tegenhoudt, afhankelijk van de karakteristieke openingsgrootte.
	Waterdoorlatendheid	De mate waarin water door het geotextiele doek kan stromen zonder dat erosie of overdrukken ontstaan.
Robuustheid	Perforatie weerstand	De weerstand van het geotextiel tegen het scheuren van het geotextiel als gevolg van het vallen van stenen.
	Doorpons weerstand	De mate waarin het geotextiel bestand is tegen belastingen als gevolg van doorpons, waarbij doorponsbelastingen veroorzaakt worden doordat groot materiaal en golfslag kracht uitoefenen op de steenbekleding.
	Rekvermogen	De mate van elasticiteit van het geotextiel, geeft aan in hoeverre het geotextiel bestand is tegen invloeden die rek veroorzaken.
	Treksterkte	Spanning waarbij een materiaal onder trekspanning bezwijkt.
	Slijtsterkte	Geeft aan in hoeverre het geotextiel bestand is tegen schuringsbelastingen.

5.3 Ontwerpniveaus

De ontwerpmethodiek is onderverdeeld in een drietal niveaus, waar op basis van risico's, kosten en innovatie de eisen aan de eigenschappen van het geotextiel kunnen worden ontworpen. Hierdoor is de ontwerpmethodiek onderverdeeld in een eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode.

5.3.1 Eenvoudige methode

De eenvoudige ontwerpmethodiek betreft de minst geoptimaliseerde methode op basis van tabellen, waarbij de risico's op bezwijken van de (dijk)constructie het laagst is en de minste kosten moeten worden gemaakt. De eenvoudige methode is namelijk gebaseerd op standaard eisen die op basis van performance testen zijn opgesteld. Deze performance testen stellen eisen waarbij enige veiligheid is ingebouwd.

5.3.2 Gedetailleerde methode

De gedetailleerde ontwerpmethodiek betreft een meer geoptimaliseerde methode op basis van rekenregels, waarbij de risico's op bezwijken van de (dijk)constructie hoger is dan bij de eenvoudige methode en de kosten aanzienlijk toenemen door grondonderzoeken. Deze ontwerpmethodiek is pas aantrekkelijk wanneer er meer dan 10000 m² geotextiel moet worden aangebracht. Tevens is de gedetailleerde methode toepasbaar bij innovatieve ontwerpen, hier kan het innovatieve ontwerp op basis van rekenregels worden ontworpen.

5.3.3 Geavanceerde methode

De geavanceerde ontwerpmethodiek is de meest geoptimaliseerde methode op basis van laboratoriumproeven of modelproeven, waarbij de risico's op bezwijken van de (dijk)constructie extreem hoog is en de meeste kosten worden gemaakt. Deze methode is aantrekkelijk bij: "extreme" belastingen op de kustverdedigingen, "extreme" kunstwerken of "extreme" hoeveelheden. Hierbij kan er door de eenvoudige en gedetailleerde methode geen zekerheid worden geboden omtrent de eisen aan de eigenschappen van het geotextiel.

5.4 Eenvoudige methode

Vaak dient een ontwerp in een kort tijdsbestek te worden gemaakt, waardoor de eenvoudige methode op een gemakkelijke en snelle wijze leidt tot het ontwerp van het geotextiel. Het ontwerp is een algemene methode waarbij niet gedetailleerd wordt ingegaan op de omgevingscondities waardoor over-dimensionering mogelijk is.

5.4.1 Algemeen

De eenvoudige methode is zo opgezet dat een ontwerp kan worden gemaakt op basis van grove aannames en tabellen, waarbij de Duitse methodiek als voorbeeld is gebruikt. In de Duitse methodiek worden namelijk op basis van tabellen eisen gesteld aan de functionaliteit en de robuustheid waardoor in de gebruik- en uitvoeringfase het geotextiel onbeschadigd blijft. Uit empirische onderzoeken en performancetesten is gebleken dat het geotextiel voldoet onder de geteste condities, hierbij is enige over-dimensionering is echter mogelijk. Op basis van deze methodiek is voor de ontwerprichtlijn een eenvoudige ontwerpmethodiek ontwikkeld die in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" nader beschreven is. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in functionaliteit en robuustheid van het geotextiel.

5.4.2 Functionaliteit

Voor het opzetten van de functionaliteit van het geotextiel is de Duitse methode als voorbeeld genomen. De filterfunctie waarover het geotextiel beschikt bestaat uit twee onderdelen, namelijk de waterdoorlatendheid en de gronddichtheid. Het bepalen van beide eigenschappen is gebaseerd op de ondergrond waarop het geotextiel wordt toegepast. Op basis van een grondclassificatie worden

met behulp van tabellen eisen gesteld aan de eerder genoemde eigenschappen van het geotextiele doek.

5.4.2.1 Grondclassificatie

Bij de grondclassificatie in de nieuwe ontwerprichtlijn wordt onderscheid gemaakt in cohesieve en niet-cohesieve grondsoorten. Voor het omzetten is met name naar de korrelfractie gekeken (op basis van de kenmerkende Nederlandse grondsoorten in de CUR 174 "Geokunststoffen in de waterbouw" [1]). In het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" zijn de minimale en maximale waarden van deze korrelfracties gegeven van zowel de Duitse als de Nederlandse grondsoorten. Wanneer deze met elkaar worden vergeleken valt op dat de korrelfracties d_5 , d_{20} en d_{60} van de Nederlandse grondsoorten binnen de maatgevende korrelfracties van de Duitse grondtypen vallen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de grondclassificatie volgens de "Bundesanstalt für Wasserbau" gebruikt kan worden in de nieuwe Nederlandse methodiek.

5.4.2.2 Functionele eigenschappen

De filter- en scheidingsfunctie van het geotextiel, waar in het kader van dit onderzoek op wordt ingegaan, wordt gekenmerkt door de gronddichtheid en waterdoorlatendheid. Beide filteraspecten zijn afhankelijk van de eigenschappen van de ondergrond. Door middel van tabel 3 kan eenvoudig, op basis van de grondclassificatie, de waterdoorlatendheid en gronddichtheid worden bepaald. De waarden die bepaald zijn voor beide filteraspecten zijn gebaseerd op de doorlatendheid en graderingskromme van de ondergrond. Voor het bepalen van de waarden voor de zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Waterdoorlatendheid
 - o De waterdoorlatendheid van het geotextiel dient groter te zijn dan de waterdoorlatendheid van de ondergrond;
 - o Er dient een veiligheid in de waarden te worden ingebouwd als gevolg van de reducerende invloeden (clogging en blocking) op de filterfunctie, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" paragraaf 2.2.3.
- Gronddichtheid
 - o Een toelaatbare hoeveelheid grond mag uitspoelen m.b.t. het vormen van een natuurlijk filter, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" paragraaf 2.2.3.

De waarden die zijn bepaald aan de hand van de voorgaande genoemde uitgangspunten dienen toepasbaar te zijn op zowel vliezen als weefsels. Omdat de grondklassen overeenkomen kan de hoeveelheid uitspoelende grond gelijk worden gesteld. Op basis hiervan kan worden gesteld dat de eisen aan de gronddichtheid toepasbaar zijn voor Nederlandse grondsoorten. Voor het stellen van eisen aan de waterdoorlatendheid zijn de kenmerkende Nederlandse grondsoorten als uitgangspunt gebruikt, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding".

De functionaliteit wordt door de gronddichtheid en waterdoorlatendheid gegarandeerd waardoor geen eisen gesteld worden aan de dikte van het geotextiel. Hierdoor is de eenvoudige methode toepasbaar op zowel vliezen als weefsels. De waarden bepaald voor de filtereigenschappen staan garant voor een juiste filterwerking onder standaard omstandigheden, zie tabel 3 voor deze waarden. Bij afwijkende of zeer extreme omstandigheden dient het geotextiel te worden ontworpen volgens de gedetailleerde of geavanceerde methode. In de ontwerprichtlijn zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" wordt specifiek ingegaan op de standaard en afwijkende omstandigheden.

Tabel 3: Standaard vereisten aan filtratie eigenschappen van een geotextiel

Onder een waterdoorlatende toplaag				
1	2	3	4	5
Nr.	Grondtype van ondergrond	Toelaatbaar grondverlies		K _n waarde vereist aan het geotextiel ⁴⁾ (m/s)
		Totaal uitgespoelde grond (M _t) (g/184 cm ²) ¹⁾	Uitgespoelde grond (M ₁) in laatste testfase (g/184 cm ²) ¹⁾	
1	Grondtype 1	M _t ≤ 300 ³⁾	M ₁ ≤ 30	K _n ≥ 2·10 ⁻³
2	Grondtype 2			K _n ≥ 1,2·10 ⁻³
3	Grondtype 3			K _n ≥ 1·10 ⁻⁴
4	Grondtype 4			K _n ≥ 5·10 ⁻⁷
5	Samenhangende grond C _u ≥ 10 kN/m ² en I _p ≥ 0,15 ⁴⁾	Vereisten met betrekking tot bodemtypes 1-4 (vrije selectie) van toepassing		Vereisten met betrekking tot bodemtype 4 van toepassing
6	Samenhangende grond C _u < 10 kN/m ² of I _p < 0,15 ⁴⁾	Vereisten met betrekking tot bodemtype 4 toepassen		

¹⁾ Gram, gerelateerd aan het blootgestelde testgebied
²⁾ Is alleen geldig voor gradering die tot vermindering van waterdoorlatendheid leidt, kan door middel van verstopping of blokkering
³⁾ 300 g/ 184 cm² = 16,3 kg/m²
⁴⁾ Waar C_u en I_p niet bekend zijn, vereisten met betrekking tot bodemtype 4 toepassen
⁵⁾ h = 0,25 m

5.4.3 Robuustheid

Ook voor de robuustheid geldt de Duitse methode als voorbeeld die gekenmerkt wordt door de treksterkte, slijtsterkte en perforatieweerstand van het geotextiel. Om de methode toepasbaar te maken op vliezen en weefsels is de doorpingsweerstand en het rekvermogen van een geotextiel toegevoegd, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Op basis van het toe te passen bekledingsmateriaal wordt met behulp van tabel 4 eisen gesteld aan de robuustheid van het geotextiel.

5.4.3.1 Steenclassificatie

De eisen die gesteld worden aan de robuustheid van het geotextiel volgens de Duitse methode zijn gebaseerd op het bekledingsmateriaal dat wordt toegepast, waarbij onderscheid wordt gemaakt in waterbouwsteen en zetsteen. Zowel in Nederland als in Duitsland wordt voor de toepassingen in de dijk- en in de oeververdedigingen gebruik gemaakt van steenmaterialen volgens de NEN-EN 13383. Waarden op basis van de steenclassificatie kunnen worden omgezet naar de Nederlandse methodiek.

5.4.3.2 Robuuste eigenschappen

De toegepaste steenmaterialen in de huidige Nederlandse kust- en oeververdediging komen overeen met de Duitse steenclassificatie. Daarnaast worden dezelfde uitvoeringswijzen gehanteerd op grondsoorten die sterk overeen komen. Op basis hiervan wordt gesteld dat de Duitse methode toepasbaar is in de Nederlandse praktijk. De betrouwbaarheid van de opgestelde waarden van de eigenschappen is gering vanwege het ontbreken van een uitgewerkte theoretische onderbouwingen. Daarnaast zijn de waarden voor de eigenschappen 40 jaar geleden bepaald met behulp van empirisch onderzoek op vliezen. Huidige technieken en kennis geven naar alle waarschijnlijkheid andere waarden. De ontwerprichtlijn geldend voor zowel vliezen als weefsels is bepaald op basis van de gedetailleerde methode met als uitgangspunt:

- De eigenschappen van het geotextiel dienen voldoende robuust te zijn ten opzichte van de, door de gedetailleerde methode verkregen waarden.

Uitgangspunten van de verschillende robuustheidscriteria zijn vermeld in paragraaf 5.5.2. De waarden verkregen met behulp van de eenvoudige methode staan garant voor een geotextiel dat zowel tijdens de uitvoering- als de gebruiksfase niet beschadigt of bezwijkt voor standaard situaties, zie tabel 4 voor de waarden die geëist worden volgens de eenvoudige methode. Bij afwijkende of zeer extreme omstandigheden dient het geotextiel te worden ontworpen volgens de gedetailleerde of geavanceerde methode. In de ontwerprichtlijn zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding" wordt specifiek ingegaan op standaard en afwijkende omstandigheden.

Tabel 4: Ontwerpeisen aan de robuustheid van het geotextiel

Nr.	Materiaaleigenschappen		Waterbouwsteen			Steenzetting
			CP _{90/250} (30 kg)	LMB _{5/40} (60 kg)	LMB _{10/60} (90 kg)	
1	Treksterkte volgens DIN EN ISO 10319 in lengte en dwarsrichting (kN/m)		≥ 10,0 ¹	≥ 11,0 ¹	≥ 14,0 ¹	≥ 16,5 ¹
2	Doorponsweerstand	In den droge (kN)	≥ 6			≥ 2
		In den natte (kN)	≥ 12			≥ 15
3	Rekvermogen	In den droge (%)	≥ 70,0	≥ 70,0	≥ 70,0	≥ 10,0
		In den natte (%)	≥ 25,0	≥ 25,0	≥ 25,0	-
4	Slijtsterkte		De resterende treksterkte mag na de test met niet meer dan 25 % zijn afgenomen			
5	Perforatieweerstand (Nm)		≥ 736	≥ 1472	≥ 2208	-

¹ Wanneer sprake is van een teenconstructie in de bekledingsconstructie van een glooiing betekent dit dat er geen afglijding optreedt, waardoor geen trekkrachten ontstaan en de minimale sterkte-eis van 10,0 kN/m kan worden aangehouden.

5.5 Gedetailleerde methode

Het ontwerp volgens de gedetailleerde methode wordt uitgevoerd bij afwijkende omstandigheden waarvoor de eenvoudige methode niet afdoende is. Daarnaast kan vanuit financiële redenen een ontwerp volgens de gedetailleerde methode worden gemaakt. Gelijk de eenvoudige methode wordt ingegaan op de functionaliteit en de robuustheid van het geotextiel. Het verschil met de eenvoudige methode is dat eisen worden gesteld op basis van rekenregels.

5.5.1 Functionaliteit

De benadering voor het stellen van eisen aan de eigenschappen is zoals eerder beschreven gebaseerd op de ondergrond. Voor de gedetailleerde methode worden aan de hand van berekeningen de kenmerkende eigenschappen van de filterfunctie berekend. De ondergrond is bepalend waardoor een optimale samenwerking van de eigenschappen waterdoorlatendheid en grondichtheid van groot belang is voor een juiste filterwerking van het geotextiel.

5.5.1.1 Waterdoorlatendheid

Voor het bepalen van de waterdoorlatendheid conform de gedetailleerde methode zijn de Nederlandse voorschriften vergeleken met de Duitse ontwerpmethodiek. Het uitgangspunt bij de waterdoorlatendheid van het geotextiel is dat deze groter dient te zijn dan de doorlatendheid van de ondergrond om overdrukken, en daarmee het afdrukken van de bekledingsconstructie te voorkomen. Daarnaast dient een zekere veiligheid in de waarden te worden ingebouwd vanwege de reducerende invloeden op de waterdoorlatendheid van het geotextiel zoals clogging als blocking. De rekenregels van beide methoden zijn toegepast op grof- en fijnkorrelige grondsoorten waarbij onderscheid is gemaakt in de uniformiteit van de grondsoort. De rekenmethode die voor de grondsoorten de hoogste waterdoorlatendheid geeft is als maatgevend beschouwd en zal worden gehanteerd in de ontwerprichtlijn. Voor de waterdoorlatendheid blijkt dat de Nederlandse rekenmethode kan worden aangehouden voor zowel grof- als fijnkorrelige grondsoorten die niet

uniform zijn, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". De Duitse rekenmethode is maatgevend voor de uniforme grof- en fijnkorrelige grondsoorten. In de gedetailleerde rekenmethode dient, voorafgaand aan de berekening, de uniformiteit van de desbetreffende grondsoort na te worden gegaan.

5.5.1.2 Gronddichtheid

Om de waterdoorlatendheid te garanderen, zal het geotextiel beschikken over een zekere openingsgrootte. Afhankelijk van de korrelgrootte van het basismateriaal heeft dit mogelijke gronduitspoeling tot gevolg waardoor de openingen een beperkte grootte dienen te hebben. Ook voor de gronddichtheid geldt dat door zowel de Nederlandse voorschriften als de Duitse ontwerpmethodiek ingegaan wordt op deze filtereigenschap door middel van rekenregels. Bij de vergelijking tussen beiden methoden op fijn- en grofkorrelige grondsoorten die onderscheiden zijn op basis van de stabiliteit van de grondsoort, in combinatie met een belastingsgeval (stationair, dynamische en dynamisch met een niet aanliggend geotextiel) staan de volgende uitgangspunten centraal:

- Ter voorkoming van een ontoelaatbare hoeveelheid uitgespoelde grond, dient de karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel kleiner te zijn dan de karakteristieke korreldiameter van de ondergrond;
- Het voorkomen van vermindering op doorlatendheid van het geotextiel tijdens de gebruiksfase, hierbij moet worden gedacht aan het dichtslibben van het geotextiel doordat fijne deeltjes uit het basismateriaal zich op lange termijn in het geotextiel dringen zo het geotextiel zijn functie waterdoorlatendheid verliest;
- De minimale karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel, gebaseerd op de aantoonbaarheid van de fabrikanten, een grote kans op dichtslibben van het geotextiel en een te lage waterdoorlatendheid van het geotextiel.

Uit de vergelijking tussen beide methodieken, zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", is gebleken dat de Nederlandse methodiek voor de belastingen "stationair en dynamische met een niet aanliggende geotextiel" maatgevend zijn. Terwijl de Duitse methodiek maatgevend is voor de dynamische belasting. In tabel 5 zijn uitkomsten van de afweging op gronddichtheid weergegeven.

Tabel 5: Ontwerpcriteria karakteristieke openingsgrootte

	Grondsoort			
	D ₄₀ < 60 µm		D ₄₀ > 60 µm	
	Stabiele grond	Instabiele grond	Stabiele grond	Instabiele grond
Stationaire belasting	O ₉₀ < 10 * D ₅₀ en O ₉₀ < 2 * D ₉₀	O ₉₀ < 10 * D ₅₀ en O ₉₀ < D ₉₀	O ₉₀ < 5 * D ₁₀ * √(C _u) en O ₉₀ < 2 * D ₉₀	O ₉₀ < 5 * D ₁₀ * √(C _u) en O ₉₀ < D ₉₀
Dynamische belasting	O ₉₀ < D ₉₀ en O ₉₀ < 300 µm		O ₉₀ < 1,5 * D ₁₀ * √(C _u) en O ₉₀ < D ₅₀ < 500 µm	
Dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel	O ₉₅ < 0,5 * D ₈₅ en O ₉₅ < 300 µm		O ₉₅ < 1,5 * D ₁₀ * √(C _u) en O ₉₅ < 300 µm	

5.5.2 Robuustheid

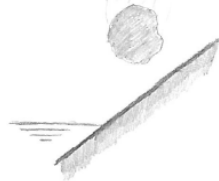
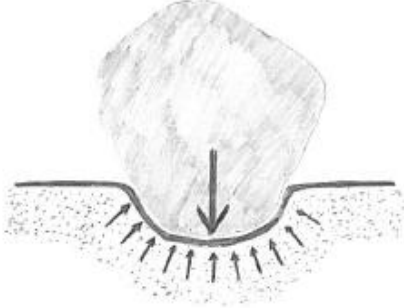
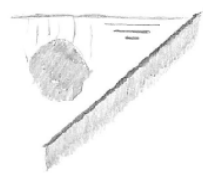
De gedetailleerde ontwerpmethodiek stelt eisen aan de eigenschappen van het geotextiel op basis van rekenregels. Hierin wordt nader ingegaan op perforatie weerstand, doorpons weerstand, rekvermogen en treksterke.

5.5.2.1 Perforatie weerstand

Gedurende het aanbrengen van de waterbouwsteen doormiddel van storten, komt er een valenergie vrij bij treffen tussen vallend waterbouwsteen en het geotextiel. Het geotextiel dat dient te worden toegepast dient weerstand te kunnen bieden tegen de vrijkomende valenergie. Er dient een eis te worden gesteld aan de perforatieweerstand zodat dynamische perforatie van het geotextiel door steenbestorting belet wordt. De valenergie die vrijkomt tijdens het treffen van de vallende steen met het geotextiel kan worden bepaald aan de hand van de gedetailleerde methode zoals beschreven is in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Voor het opstellen van de rekenregels is uitgegaan van de situaties zoals weergegeven in tabel 6, waarbij de volgende aspecten als uitgangspunten zijn beschouwd:

- De perforatieweerstand van het geotextiel dient groter te zijn dan de optredende valenergie, die vrijkomt tijdens het storten van de waterbouwsteen bij het treffen van de ondergrond;
- De methode dient waarden te geven voor de verschillende uitvoeringswijzen, namelijk uitvoering in den natte en in den droge;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor constructies met of zonder helling.

Tabel 6: Uitgangspunten voor de perforatieweerstand

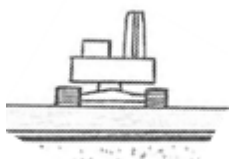
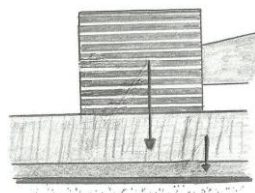
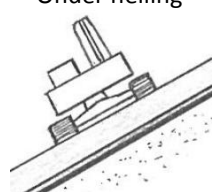
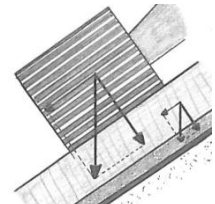
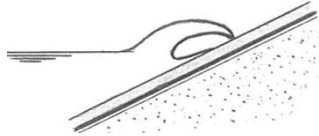
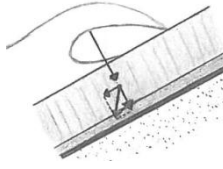
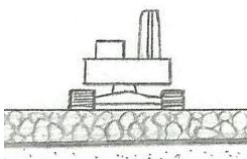
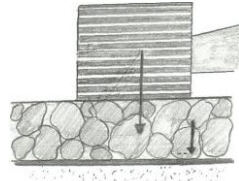
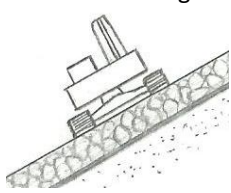
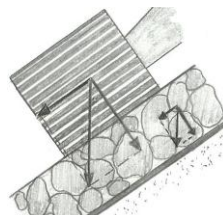

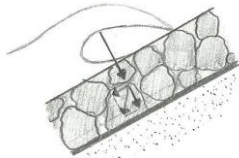
Wijze van uitvoering	Belastingsituatie	Krachtschema	Locatie formule
In den droge			Voor de formules zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 3.3.2.2
In den natte			Voor de formules zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 3.3.2.2

5.5.2.2 Doorpons weerstand

Gedurende de uitvoeringsfase en gebruiksfase waarin het geotextiel zich bevindt, is het geotextiel onderhevig aan doorponskrachten afkomstig van een neerwaartse kracht. Er dient in de constructie een geotextiel te worden toegepast waarbij een eis is gesteld aan de doorponsweerstand, zodat doorpons van het geotextiel door neerwaartse krachten belet wordt. De optredende doorponskracht kan worden bepaald aan de hand van de gedetailleerde methode zoals deze beschreven is in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Voor het opstellen van de rekenregels is uitgegaan van de situaties zoals weergegeven in tabel 7, waarbij de volgende aspecten als uitgangspunten zijn beschouwd:

- De doorponsweerstand van het geotextiel dient groter te zijn dan de optredende doorponskrachten tijdens de gebruiks- en uitvoeringsfase;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor verschillende bekledingsmaterialen, namelijk waterbouwsteen en zetsteen;
- De methode dient waarden te geven voor de verschillende belastingsituaties, namelijk belasting afkomstig van groot materieel en belasting afkomstig van golfslag;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor constructies met of zonder helling.

Tabel 7: Uitgangspunten voor de doorponsweerstand

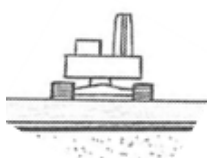
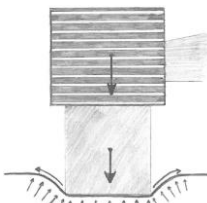
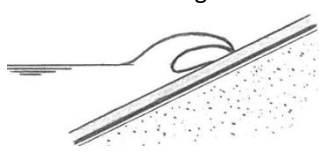
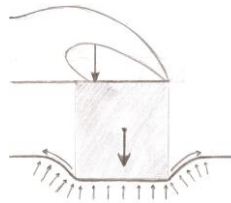
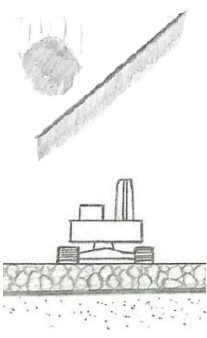
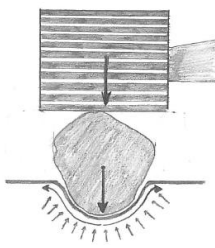
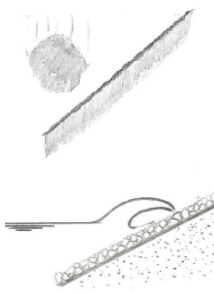
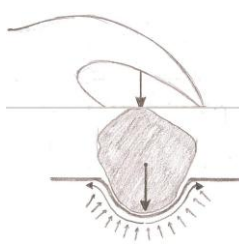
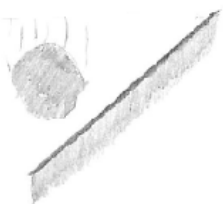
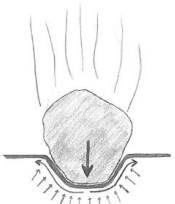
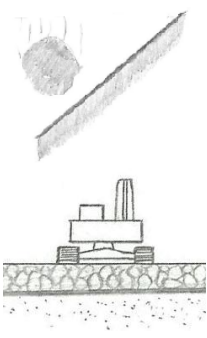
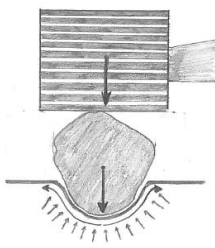
Bekledings type	Fase	Belastingsituatie		Krachtschema	Locatie formule
Zetsteen	Uitvoerings-fase	Belasting afkomstig van groot materieel	Vlak 		Voor de formules zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 3.3.3.2
			Onder helling 		
	Gebruiks-fase	Belasting afkomstig van golfslag 			
Waterbouw steen	Uitvoerings-fase	Belasting afkomstig van groot materieel	Vlak 		Voor de formules zie het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 3.3.3.3
			Onder helling 		
	Gebruiks-fase	Belasting afkomstig van golfslag 			

5.5.2.3 Rekvermogen

Gedurende de uitvoeringsfase en gebruiksfase waarin het geotextiel zich bevindt, is het geotextiel zowel onder invloed van perforatie en/of statische doorpons. Onder invloed van dynamische en/of statische doorpons dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond. Er dient in de constructie een geotextiel te worden toegepast waarbij een eis is gesteld aan het rekvermogen, zodat gat- en scheurvorming wordt voorkomen en in de gebruiksfase circulatie van de korreldeeltjes van de onderliggende basislaag direct onder het geotextiel te voorkomen. De optredende rek kan worden bepaald aan de hand van de gedetailleerde methode zoals deze beschreven is in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Voor het opstellen van de rekenregels is uitgegaan van de situaties zoals weergegeven in tabel 8, waarbij de volgende aspecten als uitgangspunten zijn beschouwd:

- Het rekvermogen van het geotextiel dient groter te zijn dan de optredende rek tijdens de gebruiks- en uitvoeringsfase;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor verschillende bekledingsmaterialen, namelijk waterbouwsteen en zetsteen;
- De methode dient waarden te geven voor de verschillende belastingsituaties, namelijk belasting afkomstig van groot materieel, belasting afkomstig van golfslag en een valenergie geleverd door vallend waterbouwsteen;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor constructies met of zonder helling.

Tabel 8: Uitgangspunten voor de treksterkte

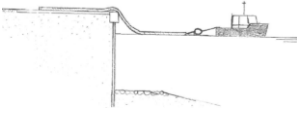
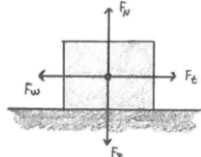
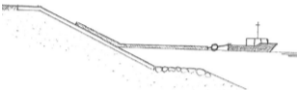
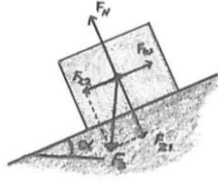
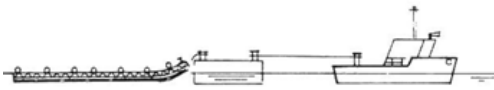
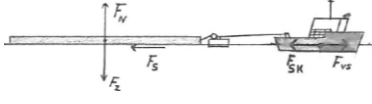
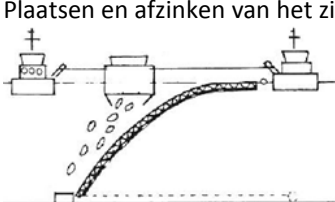
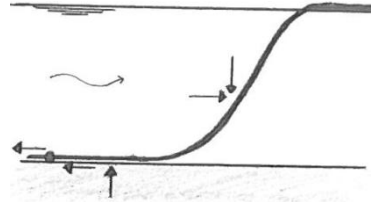
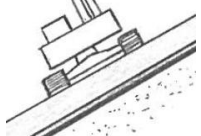
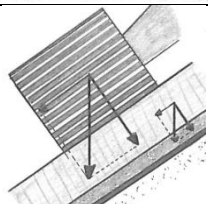
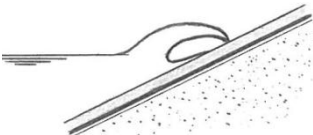
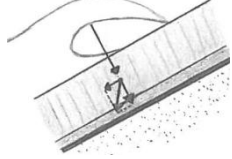
Bekledings type	Fase	Belastingssituatie	Krachtschema	Locatie formule
Zetsteen	Doorpons	Materieel 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.4.3
		Golfslag 		
Waterbouw steen	Perforatie + doorpons	Perforatie+ doorpons, (materieel) 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.4.4
		Perforatie+ doorpons, (golfslag) 		
	Perforatie			
				

5.5.2.4 *Treksterkte*

Gedurende de uitvoeringsfase en gebruiksfase waarin het geotextiel zich bevindt, treden trekkrachten op die kunnen leiden tot het bezwijken van het geotextiel. In een project dient een geotextiel te worden toegepast waarbij een eis is gesteld aan de treksterkte zodat bezwijken van het geotextiel door trekkracht wordt voorkomen. De optredende trekkracht kan worden bepaald aan de hand van de gedetailleerde methode zoals deze beschreven is in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding". Voor het opstellen van de rekenregels is uitgegaan van de situaties zoals weergegeven in tabel 9, waarbij de volgende aspecten als uitgangspunten zijn beschouwd:

- De treksterkte van het geotextiel dient groter te zijn dan de optredende trekkrachten tijdens de gebruiks- en uitvoeringsfase;
- De methode dient waarden te geven voor de verschillende uitvoeringswijzen, namelijk uitvoering in den natte en in den droge;
- De methode dient toepasbaar te zijn voor verschillende bekledingsmaterialen, namelijk waterbouwsteen en zetsteen.

Tabel 9: *Uitgangspunten voor de treksterkte*

Fase (met wijze van uitvoering)		Belastingssituatie		Krachtschema	Locatie formule
Uitvoerings- fase	In den natte	Het zinkstuk (of kraagstuk) van de zate aftrekken	Zonder helling: 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.2.1.
			Met helling: 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.2.1.
		Transporteren van het zinkstuk: 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.2.2.	
		Plaatsen en afzinken van het zinkstuk: 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.2.3.	
In den droge	Ten gevolge van doorpons	Materieel 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.2.4.	
Gebbruiksfase	Ten gevolge van doorpons	Golfslag 		Voor de formules zie bijlage 6, paragraaf 3.3.5.3.	

5.6 Geavanceerde methode

Het meest geoptimaliseerde ontwerpniveau is de geavanceerde methode die op basis van laboratoriumproeven en modelproeven eisen stelt aan de eigenschappen van het geotextiel. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de kenmerken functionaliteit en robuustheid.

5.6.1 Functionaliteit

Onder zeer extreme omstandigheden waarin het geotextiele doek verkeert zal een ontwerp moeten worden gemaakt conform de geavanceerde methode. Voorgaande ontwerpmethoden (eenvoudig en gedetailleerd) geven voor het bepalen van de benodigde eigenschappen niet voldoende inzicht in het correct functioneren van het geotextiele doek in deze omstandigheden. Aan de hand van deskundigen en modelproeven wordt inzicht verkregen in het gedrag van het geotextiel. Hierdoor worden nauwkeurige inschattingen gemaakt voor de benodigde eigenschappen van het geotextiel en wordt een ontwerp verkregen met een geheel schadevrij en correct functionerend geotextiel. Deze methode dient bijvoorbeeld toegepast te worden bij een constructie die het achterland beschermt tegen een rivier of zee waarbij schepen zich dicht langs de kust verplaatsen. Ook dient deze methode te worden toegepast bij een dijkconstructie nabij de "Oosterscheldekering", dit is een extreem kunstwerk waarbij extreme belastingen voorkomen, zie figuur 9.



Figuur 9: Extreme golfbelastingen bij de oosterscheldekering

5.6.2 Robuustheid

Het geotextiel dient ten allen tijden robuust genoeg te zijn om tijdens de uitvoering niet beschadigd te raken, zo ook bij kunstwerken waar extreme omgevingscondities aanwezig zijn. Het geotextiel zal namelijk kwetsbaarder zijn gedurende de gebruiksfase, wanneer het geotextiel tijdens de uitvoering is beschadigd. Dit zal leiden tot eerder bezwijken van het geotextiel en zo ook de (dijk)constructie. Om deze reden kan er niet van aannames en schattingen worden uitgegaan, maar dienen er proeven en onderzoeken te worden uitgevoerd, die een nauwkeurige eis aan de robuustheid van het geotextiel stellen. De eigenschappen van het geotextiel waarvoor laboratorium- of modelproeven moeten worden uitgevoerd zijn de perforatieweerstand, doorponswaarde, treksterkte en het rekvermogen. Deze methode dient bijvoorbeeld toegepast te worden bij een kustverdedigingsconstructie waarbij extreem grote materialen worden toegepast, zoals bijvoorbeeld betonnen kuub blokken of waar tetra blokken worden toegepast, zie figuur 10.



Figuur 10: Kustverdediging van tetra blokken

6. Beproevingmethoden

Om aan te tonen of de eigenschappen van het ontworpen geotextiel de juiste kwaliteit bevat, dient het geotextiel in de praktijk te worden getest. Door dit te testen wordt een geotextiel in de kust- en oeververdediging toegepast, waarbij gegarandeerd kan worden dat dit geotextiel zowel op functionaliteit als robuustheid zal voldoen. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de verificatie testen die moeten worden uitgevoerd.

6.1 Functionaliteit

Gedurende de gebruiksfase dient het geotextiel grond dicht te zijn om uitspoeling van de onderliggende basislaag te beletten en waterdoorlatend om wateroverdrukken in de (dijk)constructie te voorkomen. Deze eigenschappen van het geotextiel dienen aangetoond te worden, om zo de kwaliteit van het geotextiel te kunnen garanderen. Voor het aantonen van de waterdoorlatendheid en de grond dichtheid wordt er onderscheid gemaakt in de grondklassen, die onderverdeeld zijn in samenhangende en niet samenhangende gronden.

6.1.1 Niet-samenhangende gronden

Grind en zand gronden zijn niet samenhangende gronden, die een grote waterdoorlatendheid hebben. Bij dijk- of damconstructies die opgebouwd zijn uit deze gronden, komen wateroverdrukken nagenoeg niet voor. Hier is het al voldoende om enkel de uitspoeling van de onderliggende grondlaag te meten bij afwisselende stromen in de constructie. Waaruit volgt of het geotextiel voldoende grond dicht is om bezwijken van de dijk- of damconstructie te beletten. Dit wordt waargenomen met behulp van de doorstroomtest, welke beschreven is in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.1.1.

6.1.2 Samenhangende gronden

Klei en silt gronden zijn samenhangende gronden, die over het algemeen een lage waterdoorlatendheid bevatten. Een lage waterdoorlatendheid kan bij grote fluctuatie van het waterpeil, waarbij het waterpeil van de dijk- of damconstructie niet mee fluctueert, leiden tot enorme wateroverdrukken in de dijk- of damconstructie waarbij de bekledingsconstructie kan worden afgedrukt. Daarom dient een test worden uitgevoerd die de waterafvoer in een bepaalde tijd meet en direct ook de uitspoeling van de onderliggende laag waarneemt. Hieruit kan geconcludeerd worden of de constructie waterdoorlatend genoeg is om wateroverdrukken te voorkomen. Dit wordt onderzocht met behulp van de turbulente stroomtest, welke nader is beschreven in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.1.2.

6.2 Robuustheid

Tijdens de uitvoering is het geotextiel onderhevig aan extreme belastingen en omgevingscondities. Om te voorkomen dat het geotextiel gedurende de uitvoering zal beschadigen en vervolgens niet kan garanderen of het geotextiel op basis van functionaliteit voldoet, zal aangetoond moeten worden dat de eigenschappen van het geotextiel op basis van robuustheid voldoen. De eigenschappen ten aanzien van robuustheid zijn perforatieweerstand, doorponsweerstand, rekvermogen, treksterkte en slijtsterkte.

6.2.1 Perforatieweerstand

Om aan te tonen of de perforatieweerstand van het geotextiel bestendig is tegen vallende stenen tijdens de uitvoering, dient de valtest uitgevoerd te worden. Deze test komt overeen met de werkelijkheid en kan daarom eenzelfde energie veroorzaken bij het treffen van het geotextiel. Uit de test volgt vervolgens een resultaat wat gedefinieerd kan worden in het slagen of falen van het geotextiele monster. Indien er perforatie of enige zichtbare verandering wordt waargenomen, geeft

dit een reductie in filterstabiliteit en sterkte en kan worden beschouwd als schade. De test is nader beschreven in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.2.1.

6.2.2 Doorponsweerstand

Gedurende de uitvoering en gebruiksfase is het geotextiel onderhevig aan doorponskrachten van groot materieel of golfslag. Om te voorkomen dat het geotextiel zal bezwijken gedurende de uitvoering dient aangetoond te worden dat het geotextiel voldoet op doorponsweerstand. Er dient een statische doorponstest te worden uitgevoerd, die aantoont of het geotextiel bestand is tegen de doorponskracht. De belasting die gedurende uitvoering op het geotextiel werkt kan nagebootst worden door deze test, wat leidt tot een nauwkeurige bepaling van de maximale druk afhankelijk van de kracht op het geotextiel en de verplaatsing van het geotextiel (rek). In het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.2.2, is deze test nader toegelicht.

6.2.3 Treksterkte

Het geotextiel dient tijdens zowel de uitvoeringsfase als gebruiksfase over een treksterkte te beschikken, die weerstand kan bieden tegen optredende trekkrachten. De treksterkte van het geotextiel kan aangetoond worden met de trektest, hieruit volgt een maximale trekkracht die het geotextiel laat bezwijken. De beschrijving van de test is weergegeven in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.2.3.

6.2.4 Rekvermogen

Het aantonen van het rekvermogen van het geotextiel geschiedt door middel van het uitvoeren van de valtest en de doorponstest, dit komt overeen met de benodigde rek in werkelijkheid. Hieruit volgt een resultaat dat aantoont of het geotextiel over de kwaliteit beschikt om te voldoen aan de benodigde rek. De testen zijn weergegeven in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.2.4.

6.2.5 Slijtsterkte

Gedurende de uitvoering en gebruiksfase is het geotextiel onderhevig aan schuurbelastingen veroorzaakt door beweging van stenen in een bekleding. Het geotextiel dient bestand te zijn tegen deze schuurbelastingen. De testmethode voor het bepalen van de slijtsterkte geeft een verandering in de testwaarden, die gebruikt wordt voor het aantonen van de slijtsterkte van het geotextiel. In het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.2.5, is deze test nader toegelicht.

6.3 Levensduur

Een dijk- of damconstructie wordt ontworpen op een bepaalde levensduur, het spreekt voor zich dat het geotextiel dezelfde levensduur bevat als de dijk- of damconstructie. De minimale levensduur van het geotextiel wordt aangetoond met behulp van de oven test. Deze test stelt dat het geotextiel gedurende de gebruiksduur onderhevig is aan fysische en chemische veroudering. De testmethode voor het bepalen van de levensduur geeft een verandering in de testwaarden, die worden gebruikt voor het beoordelen van de levensduur. Deze test is nader toegelicht in het rapport "Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding", paragraaf 5.3.

7. Controle op het project “Willempolder, Abraham Wissepolder”

Het project waarop de ontwerprichtlijn wordt gecontroleerd betreft: het traject “Willempolder, Abraham Wissepolder” (zie figuur 11), hier wordt verwezen naar "Ontwerpnota Willempolder, Abraham Wissepolder" [6]. Er is voor dit project gekozen omdat voor het ontwerp van de steenbekleding onderzoek is gedaan naar de opbouw van de ondergrond. Dit is namelijk van belang voor het uit kunnen voeren van de gedetailleerde methode. De controle van het geotextiel zal geschieden nabij dijkpaal 642, zie bijlage 7. Tekeningen: Controle project "Willempolder, Abraham Wissepolder". Er zal een controle uitgevoerd worden voor de kreukelbermconstructie en de glooiingsconstructie. De onderhoudsstrook die zich boven de glooiingsconstructie bevindt wordt buiten beschouwing gelaten, het geotextiel dat hier wordt toegepast heeft namelijk meer de functie scheiden dan filter.



Figuur 11: Luchtfoto van het dijkvak dat ter controle dient

7.1 Kreukelberm

De kreukelberm is gelegen tussen de + 1,60 m NAP en de - 0,30 m NAP en bestaat uit twee typen steen sortering. De onderste 5 meter op een gelijke hoogte van - 0,30 m NAP bestaat uit breuksteen 40-200 kg, met een laagdikte van 0,70 meter en de oppervlakte tussen de + 1,60 m NAP en de - 0,30 m NAP bestaat uit breuksteen 10-60 kg, met een laagdikte van 0,40 meter. De uitvoeringswijze van het aanbrengen van de breuksteen en het geotextiel geschiedt doormiddel van aanbrengen vanaf den droge. Het geotextiel dient hier te voldoen aan de eisen perforatieweerstand, doorponsweerstand, rekvermogen, treksterkte, gronddichtheid en waterdoorlatendheid.

Het ontwerp zal enkel gebeuren op basis van de gedetailleerde methode en niet op de eenvoudige methode, dit omdat de eisen die gesteld worden in de eenvoudige methode maatgevend zijn voor de grootste breuksteen sortering. Echter de breuksteen sortering 40-200 kg wordt niet aangegeven in de tabel, hier wordt namelijk aanbevolen om het ontwerp te maken conform de gedetailleerde methode.

7.1.1 Ontwerp geotextielen

De ontwerpeisen aan een geotextiel die worden gehanteerd door het projectbureau “Zeeweringen” en de ontwerpeisen die voort zijn gekomen uit de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 10. Projectbureau “Zeeweringen” en de nieuwe ontwerprichtlijn stellen beiden eisen op basis van functionaliteit als robuustheid. Echter de ontwerprichtlijn heeft enige toevoegingen ten opzichte van de eisen die gesteld worden door projectbureau “Zeeweringen”. Zo geeft de ontwerprichtlijn nog eisen aan de doorponsweerstand en de waterdoorlatendheid, terwijl projectbureau “Zeeweringen” hier geen eisen aan stelt. De berekeningen van de eisen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in bijlage 5.

Tabel 10: Eisen geotextielen gesteld volgens projectbureau "Zeeweringen"

Eigenschappen	Eisen projectbureau "Zeeweringen"	Eisen volgens nieuwe ontwerprijlijn
Treksterkte	≥ 50 kN/m (ketting en inslag)	≥ 7,52 kN/m
Rekvermogen	≤ 20 % (ketting en inslag)	≥ 76,3 %
Perforatieweerstand	n.v.t.	≥ 2918 Nm
Doorponsweerstand	n.v.t.	≥ 12,7 kN
Waterdoorlatendheid	VIH50-index ≥ 15 mm	≥ 1,81 * 10 ⁻⁴ mm/s
Gronddichtheid	≤ 350 μm	≤ 138 μm
Gewicht geotextiel	n.v.t.	≥ 640 g/m ² (geen eis; inschatting)
Levensduurverwachting	≥ 50 jaar	≥ 50 jaar

Op basis van de eisen die zijn gesteld door projectbureau "Zeeweringen" en de eisen die zijn voortgekomen uit de gedetailleerde methode volgens de nieuwe ontwerprijlijn, zijn een viertal geotextielen met verschillende eigenschappen gekozen. Volgens de eisen gesteld door projectbureau "Zeeweringen", wordt het geotextiel "ProPex 60-7050+beschermvlies 170 g/m²" gehanteerd. De geotextielen die zijn gekozen aan de hand van eisen volgens de nieuwe ontwerprijlijn zijn "Geofabrics HPS 14", "Jogetex NG 40" en "TenCate Polyfelt F80". Het geotextiel "Geofabrics HPS 14" voldoet aan de eis aan de doorponskracht en de geotextielen "Jogetex NG 40" en "TenCate Polyfelt F80" voldoen aan de eis een kleine treksterkte met hoog rekvermogen. Het geotextiel "Geofabrics HPS 14" voldoet niet alleen op doorpons maar ook op de andere eigenschappen, dit geeft een extreem robuust geotextiel. Deze geotextielen zijn weergegeven in tabel 11.

De geotextielen voldoen allemaal op basis van perforatieweerstand, dit is noodzakelijk omdat de breuksteen aangebracht wordt doormiddel van storten. Bij het treffen van de ondergrond komt een valenergie vrij, afkomstig van de vallende steen, waar elk geotextiel bestand tegen moet zijn. De eis gesteld aan de perforatie is gegeven in een energie (Nm), echter omdat de leveranciers op dit de perforatieweerstand van het geotextiel weergeven in een maximale gatafmeting (in mm) dient de perforatieweerstand op een andere manier aangetoond te worden. Dit gebeurt met behulp van de formule van "Lawson". Lawson geeft namelijk een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte. Hierbij moet vermeld worden dat deze formule enkel een inschatting geeft en geen eis stelt. Op basis hiervan is een minimale inschatting te maken van het minimale gewicht van het geotextiel, zie bijlage 5.

Tabel 11: Eigenschappen van de huidige en gekozen geotextielen

Eigenschappen	Propex 60-7050 -weefsel		Geofabrics HPS 14 -vlies		Jogetex NG 40 -vlies		TenCate polyfelt F80 -vlies	
	ketting	inslag	ketting	inslag	ketting	inslag	ketting	inslag
Treksterkte	55	55 kN/m	75	kN/m	40	kN/m	35	kN/m
Rekvermogen	11	9 %	80	%	80	%	85	80 %
Doorpons	4,7	kN	14	kN	8	kN	6,5	kN
Perforatie	10	mm	0	mm	4	mm	7	mm
Gronddichtheid	100	μm	69	μm	70	μm	80	μm
Waterdoorlatendheid	25	mm/s	25	mm/s	20	mm/s	30	mm/s
Dikte	2,3	mm	7,8	mm	6	mm	6,5	mm
Massa opp. Eenheid	390	g/m ²	1400	g/m ²	800	g/m ²	800	g/m ²
Kosten	€ 3,50	per/m ²	€ 15,-	per/m ²	€ 6,50	per/m ²	€ 12,-	per/m ²

7.1.2 Afweging

Uit de vier geotextielen zal het meest geschikte geotextiel gekozen worden voor de kreukelbermconstructie. De afweging zal gebeuren op basis van de eisen die voort zijn gekomen uit de gedetailleerde methode volgens de nieuwe ontwerprichtlijn, dit stelt namelijk de meest realistische eigenschappen aan het geotextiel.

Gekozen is om een Multicriteria analyse op te stellen die bestaat uit twee aparte afwegingen, er gaat één afweging specifiek in op de eigenschappen en één afweging gaat in op de vraag en aanbod van uit de markt. De afwegingen specifiek op de eigenschappen en de afweging op vraag en aanbod hebben een even grote invloed op de eindafweging. De onderbouwing van de Multicriteria analyse en de scores van het geotextiel op de onderdelen zijn weergegeven in bijlage 5. De Multicriteria die specifiek ingaat op de eigenschappen is opgedeeld in 2 hoofdcriteria, met een onderverdeling in subcriteria:

- Technische aspecten (80%);
 - Robuustheid: Trek –rek (18%), doorponsweerstand (9%) en perforatieweerstand (18%);
 - Functionaliteit: gronddichtheid (12,5%), waterdoorlatendheid (12,5%) en vermindering doorlatendheid (10%);
- Aantoonbaarheid van de kwaliteit (20%);
 - Trek –rek (10%) en perforatieweerstand (10%).

De Multicriteria die ingaat op de vraag en aanbod van de markt is opgedeeld in 2 onderdelen:

- Verkrijgbaarheid (30%);
- Kosten (70%).

7.1.3 Conclusie

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel “Jogetex NG 40” het meest geschikte geotextiel is op basis van de eigenschappen in combinatie met de vraag en aanbod, er kan gesteld worden dat dit geotextiel een kwalitatief goed geotextiel is met een lage prijs. Tevens blijkt dat het huidige toegepaste geotextiel niet voldoet aan de eigenschappen, het scoort hier ruim onvoldoende ten opzichte van de andere gekozen geotextielen. Echter op vraag en aanbod scoort dit geotextiel het meest positief ten opzichte van de gekozen geotextielen, het is namelijk gemakkelijk verkrijgbaar en heeft een lage prijs.

7.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Daarnaast blijkt uit de afweging dat het huidig toegepaste geotextiel niet voldoet op robuustheid. Dit geotextiel staat dus niet garant voor de veiligheid van de (dijk)constructie. Om te voldoen op basis van robuustheid dient voor de perforatieweerstand een maximale valhoogte van 0,376 meter te worden gehanteerd, dit ten opzichte van 1 meter waarop is ontworpen. Voor de doorponsweerstand dient een maximale massa van het groot materieel van 7935 kg toe te worden gepast, dit ten opzichte van een maximaal gewicht van 22500 kg waarop is ontworpen. Hieruit volgt dan ook een minder groot benodigde rek, deze rek is echter altijd nog groter dan het huidige rekvermogen van het geotextiel. Op basis van de treksterkte kan geconcludeerd worden dat het geotextiel hieraan voldoet, de treksterkte is velen malen groter dan de optredende trekkrachten. De onderbouwing van deze waarden zijn weergegeven in bijlage 5.

7.2 Gloomingsconstructie

De glooiing is gelegen tussen de + 1,60 m NAP en de + 5,14 m NAP en bestaat uit betonzuilen met een dikte van 0,45 meter. Onder deze betonzuilen bevindt zich een uitvullaag van steenslag 14/32 mm met een dikte van 0,10 meter, in figuur 9 is een luchtfoto weergegeven van de locatie van het dijkvak om enige verduidelijking van de locatie te geven. De uitvoeringswijze van het aanbrengen van de betonzuilen, de uitvullaag en het geotextiel geschiedt doormiddel van aanbrengen vanaf den

droge. Het geotextiel dient hier te voldoen aan de eisen doorponsweerstand, rekvermogen, treksterkte, gronddichtheid en waterdoorlatendheid.

7.2.1 Ontwerp geotextielen

De ontwerpeisen aan een geotextiel die worden gehanteerd door het projectbureau “Zeeweringen” en de ontwerpeisen die voort zijn gekomen uit de eenvoudige- en gedetailleerde methode volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in tabel 12. Het projectbureau “Zeeweringen” en zowel de eenvoudige als de gedetailleerde ontwerpmethode volgens de nieuwe ontwerprichtlijn stellen eisen op basis van functionaliteit en robuustheid. Hierbij moet wel vermeldt worden dat de ontwerprichtlijn meerdere eisen stelt op zowel de functionaliteit en robuustheid. De ontwerprichtlijn geeft nog eisen aan de doorponsweerstand en de waterdoorlatendheid, terwijl het projectbureau “Zeeweringen” hier geen eisen aan stelt. De berekeningen van de eisen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in bijlage 5.

Tabel 12: Eisen geotextielen

Eigenschappen	Eisen projectbureau “Zeeweringen”	Eisen volgens nieuwe ontwerprichtlijn, eenvoudige methode	Eisen volgens nieuwe ontwerprichtlijn, eenvoudige methode
Treksterkte	≥ 20 kN/m (ketting en inslag)	≥ 13 kN/m	≥ 22 kN/m
Rekvermogen	≤ 60 % (ketting en inslag)	≥ 6 %	≥ 3,2 %
Doorponsweerstand	n.v.t.	≥ 10 kN	≥ 4,9 kN
Waterdoorlatendheid	n.v.t.	≥ 5·10 ⁻⁷ mm/s	≥ 1,81 * 10 ⁻⁴ mm/s
Gronddichtheid	≤ 100 μm	≤ 16,3 kg/m ² ≤ 1,63 kg/m ²	≤ 300 μm
Levensduurverwachting	≥ 50 jaar	≥ 50 jaar	≥ 50 jaar

Op basis van de eisen die zijn gesteld door het projectbureau “Zeeweringen” en de eisen die zijn voortgekomen uit de eenvoudige- en gedetailleerde methode volgens de nieuwe ontwerprichtlijn, zijn een viertal geotextielen met verschillende eigenschappen gekozen. Op basis van de eisen gesteld door het projectbureau “Zeeweringen”, wordt het geotextiel “Geopex NW 300” gehanteerd. Het geotextiel “Geopex Propex 7080” is gekozen op basis van de eisen uit de eenvoudige methode en de geotextielen “Geopex PP 25/25” en “Geopex PP 40/40” zijn op basis van de eisen uit de gedetailleerde methode. Het geotextiel “Geopex PP 25/25” is gekozen op basis van de eisen treksterkte en rekvermogen en het geotextiel “Geopex PP 40/40” is gekozen op basis van de eis aan de doorponsweerstand. Deze geotextielen zijn weergegeven in tabel 13.

Tabel 13: Eigenschappen van de huidige en gekozen geotextielen

Eigenschappen	Geopex NW 300 -vlies		Geopex Propex 7080 -weefsel			Geopex PP 25/25 -weefsel			Geopex PP 40/40 -weefsel		
	ketting	inslag	ketting	inslag		ketting	inslag		ketting	inslag	
Treksterkte	25	kN/m	85	85	kN/m	25	25	kN/m	40	40	kN/m
Rekvermogen	65	%	8,6	8,6	%	13	12	%	17	12	%
Doorpons	4,4	kN		10,5	kN		3	kN		5	kN
Gronddichtheid	70	μm		210	μm		200	μm		250	μm
Waterdoorlatendheid	65	mm/s		16	mm/s		12	mm/s		18	mm/s
Dikte	2	mm		n.v.t.	mm		n.v.t.	mm		n.v.t.	mm
Massa opp. Eenheid	300	g/m ²		375	g/m ²		124	g/m ²		186	g/m ²
Kosten	€ 1,75	per/m ²		€ 4,50	per/m ²		€ 1,50	per/m ²		€ 2,00	per/m ²

7.2.2 Afweging

Uit de vier geotextielen zal het meest geschikte geotextiel gekozen worden voor de glooiingsconstructie. De afweging zal gebeuren op basis van de eisen die voort zijn gekomen uit de gedetailleerde methode volgens de nieuwe ontwerprichtlijn, dit stelt namelijk de realistische eigenschappen aan het geotextiel.

Gekozen is om een Multicriteria analyse op te stellen die bestaat uit twee aparte afwegingen, er gaat één afweging specifiek in op de eigenschappen en één afweging gaat in op de vraag en aanbod van uit de markt. De afwegingen specifiek op de eigenschappen en de afweging op vraag en aanbod hebben een even grote invloed op de eindafweging. De onderbouwing van de Multicriteria analyse en de scores van het geotextiel op de onderdelen is weergegeven in bijlage 5. De Multicriteria die specifiek ingaat op de eigenschappen is opgedeeld in 2 hoofdcriteria, met een onderverdeling in subcriteria:

- Technische aspecten (80%);
 - Robuustheid: Trek –rek (22,5%) en doorponsweerstand (22,5%);
 - Functionaliteit: grondichtheid (12,5%), waterdoorlatendheid (12,5%) en vermindering doorlatendheid (10%);
- Aantoonbaarheid van de kwaliteit (20%);
 - Trek –rek (10%) en perforatieweerstand (10%).

De Multicriteria die ingaat op de vraag en aanbod van de markt is opgedeeld in 2 onderdelen:

- Verkrijgbaarheid (30%);
- Kosten (70%).

7.2.3 Conclusie

Uit de afweging blijkt dat het geotextiel “Geopex PP 40/40” het meest geschikte geotextiel is op basis van de eigenschappen in combinatie met de vraag en aanbod, er kan gesteld worden dat dit een geotextiel is die kwalitatief goed is met een lage prijs ten opzichte van de kwaliteit. Ook blijkt dat het huidige toegepaste geotextiel niet voldoet aan de eigenschappen, het scoort hier ruim onvoldoende ten opzichte van de andere gekozen geotextielen, terwijl het huidige toegepaste geotextiel niet de laagste prijs heeft. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het huidige geotextiel kwalitatief niet goed is, terwijl het economisch niet het voordeligst.

Ook blijkt uit de afweging dat de eenvoudige methode een veel robuuster ontwerp eist, dan de gedetailleerde methode. Dit geeft in prijsklasse een groot verschil, zo eist de eenvoudige methode een geotextiel met een hoge prijs, terwijl de gedetailleerde methode een geotextiel eist die prijstechnisch veel gunstiger is.

7.2.4 Gevoeligheidsanalyse

Daarnaast blijkt uit de afweging dat het huidig toegepast geotextiel niet voldoet op doorponsweerstand. Dit geotextiel staat dus niet garant voor de veiligheid van de (dijk)constructie. Om te voldoen op basis van robuustheid dient voor de doorponsweerstand een maximale massa van het groot materieel van 21955 kg toe te worden gepast, dit ten opzichte van een maximaal gewicht van 22500 kg waarop is ontworpen. De onderbouwing hiervan is weergegeven in bijlage 5.

8. Controle op het project “Schermdijk, IJsselooog”

Naast de controle op het project Abraham Wissepolder wordt de ontwerprichtlijn tevens gecontroleerd door het toepassen van de richtlijn op het traject “Schermdijk van het baggerspeciedepot IJsselooog”(zie figuur 12). Er is voor dit project gekozen vanwege de schadebeelden die aan het geotextiele doek zijn opgetreden na uitvoering van een inspectie. Hierdoor is het mogelijk om de verschillen met het huidige ontwerp en het nieuw verkregen ontwerp te analyseren en te concluderen welke geotextiel het meest geschikt is voor de Schermdijk van het IJsselooog. Tevens bevat dit traject een vooroeververdedigingsconstructie waaraan de ontwerprichtlijn kan worden onderworpen. Zie bijlage 7. Tekening: Controle project "Schermdijk, IJsselooog". Er zal een controle uitgevoerd worden voor de kreukelberm- en vooroeververdedigingsconstructie.



Figuur 12: Luchtfoto van het IJsselooog, gelegen in het Ketelmeer

Wegens het ontbreken van gegevens van de Schermdijk is voor het maken van de berekeningen gebruik gemaakt van de gegevens uit de "ontwerpnota van de vooroeververdediging Westerschelde locatie Hoedekenskerke" [7] en het rapport "schade aan geotextielen onder dijkbekleding van steenbestorting" [8].

8.1 Kreukelberm

De kreukelberm is gelegen tussen de + 2,35 m NAP en de - 0,10 m NAP en bestaat uit één type steensortering die onder twee verschillende hellingshoeken is aangelegd. Het onderste deel heeft een lengte van 6,96 meter met een helling van 1:3 ($18,4^{\circ}$) en het bovenste deel heeft een lengte van 1,90 meter met een helling van 1:20 ($2,9^{\circ}$). Beide delen hebben een laagdikte van breuksteen van 0,60 meter. De uitvoeringswijze van het aanbrengen van de breuksteen en het geotextiel geschiedt door middel van het aanbrengen vanaf den droge. Het geotextiel dient hier te voldoen aan de eisen perforatieweerstand, doorpousweerstand, rekvermogen, treksterkte, gronddichtheid en waterdoorlatendheid.

Het ontwerp zal enkel gemaakt worden op basis van de gedetailleerde methode en niet op de eenvoudige methode omdat de breuksteen sortering 40-200 kg niet wordt aangegeven in de eenvoudige methode, hier wordt namelijk aanbevolen om het ontwerp te maken conform de gedetailleerde methode.

8.1.1 Ontwerp geotextielen

Voor het ontwerp worden de eisen vanuit de nieuwe ontwerpmethodiek naast de eisen gelegd die van vanuit projectbureau Zeeweringen worden gesteld, zie tabel 14. Zowel projectbureau “Zeeweringen” als de nieuwe ontwerprichtlijn stelt eisen op basis van functionaliteit als robuustheid. Echter op het aspect robuustheid verdiept de ontwerprichtlijn zich ten opzichte van het projectbureau “Zeeweringen”. De eisen vanuit de ontwerpmethodiek zijn bepaald door middel van de gedetailleerde methodiek en geven een nauwkeuriger ontwerp met betrekking tot de omgevingscondities. Deze eisen worden aangehouden voor het bepalen van het meest geschikte geotextiele doek voor de Schermdijk van het IJsselooig. De berekeningen van de eisen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in bijlage 6.

Tabel 14: Eisen geotextielen gesteld volgens projectbureau “Zeeweringen” tegenover de eisen vanuit de ontwerprichtlijn

Eigenschappen	Eisen projectbureau “Zeeweringen”	Eisen volgens nieuwe ontwerprichtlijn
Treksterkte	≥ 50 kN/m (ketting en inslag)	≥ 9,2 kN/m
Rekvermogen	≤ 20 % (ketting en inslag)	≥ 25 %
Perforatieweerstand	n.v.t.	≥ 5539 Nm
Doorponsweerstand	n.v.t.	≥ 8,5 kN
Waterdoorlatendheid	VIH50-index ≥ 15 mm	≥ 4,6 * 10 ⁻² mm/s
Grondichtheid	≤ 350 μm	≤ 110 μm
Gewicht geotextiel	n.v.t.	≥ 900 g/m ² (geen eis; inschatting)
Levensduurverwachting	≥ 50 jaar	≥ 50 jaar

Vanuit de eisen die gesteld worden vanuit de ontwerprichtlijn zijn een aantal geotextielen gekozen met verschillende eigenschappen die zijn weergegeven in tabel 15. Vanuit de omgevingscondities en de uitvoeringsmethode wordt een hoge doorpons- en perforatieweerstand vereist. Vanuit projectbureau “Zeeweringen” wordt het geotextiel “ProPex 60-7050+beschermvlies 170 g/m²” gehanteerd. Vanuit wereldwijd gerenommeerde leveranciers zijn de geotextielen “Geofabrics HPS 9”, “TenCate Polyfelt PP400” en “TenCate Polyfelt P100” de meest geschikte geotextielen ten aanzien van de gestelde eisen vanuit de ontwerprichtlijn. De geotextielen zijn gekozen op basis van het voldoen aan perforatie en doorponsweerstand.

Tabel 15: Eigenschappen van de huidige en gekozen geotextielen

Eigenschappen	Propex 60-7050 -weefsel			Geofabrics HPS 9 -vlies			TenCate Polyfelt PP 400- weefsel		TenCate Polyfelt P100 - vlies		
	ketting	inslag		ketting	inslag		ketting	inslag	ketting	inslag	
Treksterkte	55	55	kN/m	50		kN/m	400		55		kN/m
Rekvermogen	11	9	%	80		%	9		100		%
Doorpons	4,7		kN	9		kN	12		9,6		kN
Perforatie	10		mm	2		mm	7		6		mm
Grondichtheid	100		μm	70		μm	250		75		μm
Waterdoorlatendheid	25		mm/s	4,8		mm/s	10		10		mm/s
Dikte	2,3		mm	6		mm	n.v.t.		7,2		mm
Massa opp. Eenheid	390		g/m ²	907		g/m ²	950		1000		g/m ²
Kosten	€ 3,50		per/m ²	€ 11		per/m ²	€ 15		€ 11		per/m ²

8.1.2 Afweging

De gedetailleerde methode van de ontwerprichtlijn stelt het nauwkeurigste en daarmee de meest realistische eisen aan de eigenschappen van het geotextiel. De gekozen geotextiele doeken voor de kreukelbermconstructie worden objectief beoordeeld waaruit het meest geschikte geotextiel voortkomt, en vervolgens kan worden toegepast.

Voor het maken van de objectieve beoordeling van het meest geschikte geotextiel wordt gebruik gemaakt van een Multicriteria analyse. Hierbij worden de geotextielen specifiek beoordeeld op de eigenschappen en op de vraag en aanbod vanuit de markt. Beide afwegingen hebben eenzelfde invloed op de eindafweging. De onderbouwing van de Multicriteria analyse en de scores van het geotextiel op de onderdelen is weergegeven in bijlage 6. De Multicriteria die specifiek ingaat op de eigenschappen is opgedeeld in twee hoofdcriteria, met een onderverdeling in subcriteria:

- Technische aspecten (75%);
 - Robuustheid: Trek –rek (18%), doorponsweerstand (9%) en perforatieweerstand (18%);
 - Functionaliteit: grondichtheid (11,25%), waterdoorlatendheid (11,25%) en vermindering doorlatendheid (7,5%);
- Aantoonbaarheid van de kwaliteit (25%);
 - Trek –rek (12,5%) en perforatieweerstand (12,5%).

De Multicriteria die ingaat op de vraag en aanbod van de markt is opgedeeld in 2 onderdelen:

- Verkrijgbaarheid (30%);
- Kosten (70%).

8.1.3 Conclusie

Er kunnen uit de afweging twee conclusie worden getrokken, de eerste conclusie is welk geotextiel het meest geschikt is om toe te passen en de tweede conclusie is of het huidige toegepaste geotextiel conform projectbureau "Zeeweringen" voldoet aan de eisen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn.

Uit de vergelijking van de eigenschappen met de vraag en aanbod van het geotextiel blijkt dat het geotextiel "TenCate Polyfelt P100" het meest geschikt is. Ondanks de hoge prijs wordt een geotextiel filterdoek verkregen dat zowel in de gebruik- als in de uitvoeringfase in tact blijft en de filterfunctie vervult. Het voorgeschreven geotextiel "ProPex 60-7050+beschermvlies 170 g/m²" vanuit projectbureau "Zeeweringen" dat in de objectieve beoordeling is meegenomen steekt ver boven de overige geotextielen uit wat betreft de kosten. Echter wordt dit geotextiel toegepast dan zal deze geen garantie geven aan het in tact blijven van het geotextiel tijdens de uitvoeringsfase, en kan hierdoor niet als meest geschikt geotextiel worden beschouwd.

8.1.4 Gevoeligheidsanalyse

Vanuit de objectieve beoordeling blijkt dat het standaard toegepaste geotextiel "ProPex 60-7050+beschermvlies 170 g/m²" conform projectbureau Zeeweringen niet voldoet op robuustheid, waardoor het geotextiel niet garant staat voor de veiligheid van de dijkconstructie. Het voldoen van het geotextiel op perforatie is mogelijk door het verkleinen van de maximale valhoogte van de te storten steensortering, namelijk een maximale valhoogte van 0,367 meter. Wat het rekvermogen en de doorponsweerstand betreft zijn deze afhankelijk van de hydraulische randvoorwaarden en de steensortering die wordt toegepast. Deze zijn aanwezig op de projectlocatie en kunnen niet worden gereduceerd door de uitvoeringswijze aan te passen. Vanuit dit oogpunt is er geen mogelijkheid tot het laten voldoen van het , door projectbureau Zeeweringen standaard toegepaste, geotextiel waardoor een ander geotextiel dient te worden gekozen en te worden toegepast.

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. 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 waardoor gesteld kan worden dat de cloggingsweg dermate wordt verlengd dat clogging en blocking mogelijk niet op kunnen treden. Het geotextiele vlies voldoet hierdoor aan het criteria "vermindering doorlatendheid". Bij toepassing van dit geotextiel hoeven geen eisen te worden gesteld met betrekking op de uitvoering. De onderbouwing van de bijbehorende waarden van beide geotextielen zijn weergegeven in bijlage 6.

8.2 Vooroeververdediging

De vooroeververdedigingsconstructie van de schermdijk van het IJsselooig is tweedelig, bestaande uit een vlak deel ter hoogte van de laagwaterlijn en een geheel onder water staand hellend deel (helling 14°) tussen -0,10 m NAP en -1,75 m NAP, zie bijlage 6. Het bekledingsmateriaal bestaat uit breuksteen 10-60 kg met een laagdikte van 0,6 m waardoor het gewicht neerkomt op 750 kg/m^2 . Vanuit het ontwerp van de kreukelbermconstructie is het niet mogelijk dat groot materieel zich verplaatst over de steenbekleding. Hierdoor zal de vooroeverconstructie aangelegd worden vanaf het water, namelijk in den natte met een kraagstuk van 12 x 50 meter. Het geotextiel dient hier te voldoen aan de eisen perforatieweerstand, doorponsweerstand, rekvermogen, treksterkte, grondichtheid en waterdoorlatendheid. Vanwege de toe te passen steensortering is het mogelijk een ontwerp te maken conform de eenvoudige methode van de ontwerprichtlijn. Het ontwerp zal bestaan uit een ontwerp conform de eenvoudige en gedetailleerde methode.

8.2.1 Ontwerp geotextiel

Vanuit projectbureau Zeeweringen zijn er standaard geotextielen opgesteld voor de toepassing in dijkconstructies. Echter voor de uitvoering in den natte, namelijk het toepassen van een kraagstuk, zijn geen standaard eisen opgesteld waardoor vanuit projectbureau Zeeweringen een gespecialiseerd ontwerp zal moeten worden gemaakt. Vanuit de eenvoudige en gedetailleerde methode worden in tabel 16 eisen gesteld aan de robuustheid en functionaliteit van het geotextiele doek. De gedetailleerde methode geeft door de rekenregels specifiek op de eigenschappen een verdieping ten opzichte van de eenvoudige methode. De berekeningen van de eisen volgens de nieuwe ontwerprichtlijn zijn weergegeven in bijlage 6.

Tabel 16: Eisen geotextielen

Eigenschappen	Eisen volgens nieuwe ontwerprichtlijn, eenvoudige methode	Eisen volgens nieuwe ontwerprichtlijn, eenvoudige methode
Treksterkte	$\geq 14 \text{ kN/m}$	$\geq 3,55 \text{ kN/m}$
Rekvermogen	$\geq 32 \%$	$\geq 22 \%$
Perforatieweerstand	$\geq 2208 \text{ Nm}$	$\geq 1856 \text{ Nm}$
Doorponsweerstand	n.v.t.	n.v.t.
Waterdoorlatendheid	$\geq 1 \cdot 10^{-4} \text{ mm/s}$	$\geq 4,6 \cdot 10^{-2} \text{ mm/s}$
Grondichtheid	$\leq 16,3 \text{ kg/m}^2$ $\leq 1,63 \text{ kg/m}^2$	$\leq 110 \mu\text{m}$
Gewicht geotextiel	n.v.t.	$\geq 630 \text{ g/m}^2$ (geen eis; inschatting)
Levensduurverwachting	$\geq 50 \text{ jaar}$	$\geq 50 \text{ jaar}$

Met betrekking op de eenvoudige methode is op basis van de robuustheids- en functionaliteitseisen gekozen voor het geotextiel "TenCate Polyfelt P70". Vanuit de gedetailleerde methode is gekozen voor een composiet en een "TenCate Polyfelt TS80". Het composiet is opgesteld op basis van de perforatie, rek en functionaliteitseisen en bestaat uit een "Geopex PP6057 weefsel" en een "Geopex NW560 vlies". Het geotextiel "TenCate Polyfelt TS80" is gekozen op basis van de eisen die worden gesteld aan de functionaliteit. Deze geotextielen zijn weergegeven in tabel 17.

Tabel 17: Eigenschappen van de huidige en gekozen geotextielen

Eigenschappen	TenCate Polyfelt P70 vlies			Geopex composiet			TenCate Polyfelt TS80 vlies		
				<i>ketting</i>	<i>inslag</i>				
<i>Treksterkte</i>	43	43	kN/m	40	40	kN/m	29	30	kN/m
<i>Rekvermogen</i>	90	73	%	28	28	%	100	40	%
<i>Doorpons</i>	7,5		kN	10,7		kN	4,4		kN
<i>Perforatie</i>	7		mm	20		mm	13		mm
<i>Gronddichtheid</i>	80		µm	60		µm	90		µm
<i>Waterdoorlatendheid</i>	30		mm/s	15		mm/s	55		mm/s
<i>Dikte</i>	4,4		mm	4,45		mm	3,3		mm
<i>Massa opp. Eenheid</i>	700		g/m ²	679		g/m ²	385		g/m ²
<i>Kosten</i>	€ 10		per/m ²	€ 16		per/m ²	€ 4,30		per/m ²

8.2.2 Afweging

Voor het maken van een objectieve keuze voor het meest geschikte geotextiel wordt gebruik gemaakt van een Multicriteria analyse, waarbij ingegaan wordt de technische aspecten en de vraag en aanbod van het geotextiel. Omdat vanuit het ontwerp geen eisen worden gesteld aan de doorponsweerstand wordt deze niet meegenomen in de objectieve beoordeling. Daarnaast is niet bekend welk geotextiel door projectbureau Zeeweringen als kraagstuk wordt toegepast waardoor de aantoonbaarheid van de kwaliteit bij alle drie de geotextielen hetzelfde is en deze zal vervallen. De onderbouwing van de Multicriteria analyse en de scores van het geotextiel op de onderdelen is weergegeven in bijlage 6. De Multicriteria die specifiek ingaat op de eigenschappen is opgedeeld in twee hoofdcriteria, met een onderverdeling in subcriteria:

- Technische aspecten (100%);
 - Robuustheid: Treksterkte (12,5%), rekvermogen (12,5%) en perforatieweerstand (25%);
 - Functionaliteit: gronddichtheid (18,75%), waterdoorlatendheid (18,75%) en vermindering doorlatendheid (12,5%);

De Multicriteria die ingaat op de vraag en aanbod van de markt is opgedeeld in 2 onderdelen:

- Verkrijgbaarheid (30%);
- Kosten (70%).

8.2.3 Conclusie

Uit de objectieve beoordeling van de geotextielen blijkt dat het geotextiel "TenCate Polyfelt TS80" het meest geschikt is op kwalitatief en financieel gebied. Ook blijkt uit de afweging dat de eenvoudige methode een veel robuuster ontwerp eist, dan de gedetailleerde methode. Dit geeft in prijsklasse een groot verschil, zo eist de eenvoudige methode een geotextiel met een hoge prijs, terwijl de gedetailleerde methode een geotextiel eist die prijstechnisch veel gunstiger is.

8.2.4 Gevoeligheidsanalyse

Het meest geschikte geotextiel voldoet niet wat betreft de perforatieweerstand waardoor de heelheid van het geotextiel niet kan worden gegarandeerd tijdens de uitvoering. De perforatiekracht is afhankelijk van de valhoogte van de te storten stenen. Om te voldoen op basis van robuustheid dient voor de perforatieweerstand een maximale valhoogte van 0,75 meter te worden gehanteerd, dit ten opzichte van 2 meter waarop is ontworpen. Hierdoor wordt een optimaal ontwerp verkregen waarbij het geotextiele doek tijdens de uitvoering in tact blijft en in de gebruiksfase de filterfunctie vervult. De onderbouwing van de bijbehorende waarden zijn weergegeven in bijlage 6.

9. Conclusie/Aanbeveling

Het doel van het onderzoek is om een ontwerpmethodiek op te stellen voor het ontwerpen van geokunststoffen in de filterconstructies in de Nederlandse kust- en oeverbescherming. Door kennis en inzichten vanuit de huidige en buitenlandse ontwerprichtlijnen, met name Duitsland, is een nieuwe ontwerprichtlijn opgesteld die toepasbaar is in de Nederlandse praktijk. In dit hoofdstuk wordt de conclusie van het onderzoek gegeven. Daarnaast worden aanbevelingen gegeven voor onderdelen van de ontwerpmethodiek waarvoor een diepere onderzoekslag dient te worden gemaakt.

9.1 Conclusie

Vanuit de praktijk zijn er schades opgetreden aan de geotextielen die zijn toegepast onder (steen)bekledingen in de Nederlandse kust- en oeververdediging. Er kan echter niet bevestigd worden dat de geotextielen die volgens de huidige richtlijnen worden ontworpen voldoen in de praktijk. Hierbij is de vraag of de huidige richtlijnen zoals deze nu in Nederland worden aangehouden wel afdoende zijn met betrekking tot de praktijk. De vraag die in dit onderzoek centraal staat is als volgt:

“Aan welke ontwerpvoorschriften moeten geotextielen die toegepast worden als filterconstructies onder (steen) bekledingen in de Nederlandse kust- en oeververdediging voldoen, inclusief de bijbehorende beproevingsmethoden die betrouwbaarheid van de ontwerpmethodiek waarborgen?”

Voor de geotextielen die worden toegepast in de kust- en oeverbescherming in Nederland zijn de huidige ontwerprichtlijnen niet afdoende voor een compleet ontwerp dat voldoet aan de desbetreffende condities, waarin de geotextielen in de Nederlandse waterbouw verkeren. Voor het verkrijgen van een compleet ontwerp is een programma van eisen opgesteld waarin na is gegaan waar het geotextiel aan dient te voldoen. Vanuit de eisen uit hoofdstuk 3 is een ontwerprichtlijn opgesteld waarmee een ontwerp kan worden gemaakt voor geotextielen die als filterconstructie worden toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging. De ontwerprichtlijn bestaat uit een drietal niveaus, namelijk de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode. Voor het toetsen of de geotextielen over de bepaalde eisen vanuit het ontwerp beschikken zijn tevens verificatiemethoden opgesteld.

Tenslotte is de opgestelde ontwerprichtlijn toegepast op een tweetal projecten waarbij een ontwerp is gemaakt voor het toe te passen geotextiel in vergelijking met de huidige geotextielen. Uit deze vergelijking blijkt dat de huidige geotextielen niet voldoen ten opzichte van de eisen die voortkomen vanuit de condities van de projectlocatie. De geotextielen gekozen op basis van de eisen vanuit de opgezette ontwerprichtlijn voldoen echter wel. Dit betekent dat de geotextielen robuuster zijn zodat de kans op beschadiging nihil is bij navolging van de ontwerp- en eventuele uitvoeringseisen, waarbij de veiligheid van de dijkconstructie gehandhaafd blijft. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor een theoretisch compleet ontwerp van geotextielen, die in de Nederlandse kust- en oeververdediging onder (steen)bekledingen worden toegepast, de opgezette ontwerprichtlijn “Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding” kan worden gehanteerd.

9.2 Aanbeveling

Omdat de ontwerprichtlijn is opgesteld op basis van onderzoeken uit het verleden en eigen inzichten, worden in deze paragraaf aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoeken.

- De waarden van de waterdoorlatendheid in de eenvoudige methode zijn gebaseerd op een theoretische benadering. Door middel van testen dient echter een verificatie te worden uitgevoerd waarbij de uiteindelijke waterdoorlatendheden van de grondsoorten worden vastgesteld.

- Op dit moment is de eenvoudige methode nagenoeg alleen toepasbaar op vliezen, omdat door de hoge minimale rekken de weefsels nagenoeg worden uitgesloten. Bij het bepalen van de waarden in de eenvoudige methode is uitgegaan van de maatgevende situatie op een kleiondergrond. Wanneer sprake is van een zandondergrond is het mogelijk dat het benodigde rekvermogen kleiner kan zijn. Om de eenvoudige methode toepasbaar te maken voor weefsels dient hier verder onderzoek naar te worden verricht. Voor een verdere onderzoekslag kan gebruik worden gemaakt van discussies met experts.
- De eisen die gesteld worden aan de perforatieweerstand van het geotextiel, zijn gebaseerd op eigen inzichten. Dit geeft een globaal inzicht in het valgedrag van waterbouwsteen en niet het gedetailleerde gewenste resultaat als benodigd. Dit is mede doordat rapporten van onderzoeken uit het verleden naar de invloed van storten op geotextielen verloren zijn gegaan en daardoor ook niet als achtergrond informatie konden worden beschouwd. Er dient daarom een evaluatie te worden uitgevoerd naar het gewenste geotextiel bij een bepaalde steenklasse, los gelaten vanaf een maximale hoogte van twee meter.
- De rekken die worden vereist zijn zeer hoog waardoor voornamelijk vliezen in aanmerking komen voor het meest geschikte geotextiel. Bij het opstellen van de berekeningen van het benodigde rekvermogen is geen rekening gehouden met het effect van de rekbaarheid van het geotextiele materiaal. Bij bepaling van de formules van de indrukking dient ook de terugverende kracht van het geotextiel te worden meegenomen. Mogelijk wordt hierdoor een lager rekvermogen verkregen waardoor aanbevolen wordt om op een diepere onderzoekslag te maken op dit aspect.
- De modelproeven die bij de geavanceerde methode moeten worden toegepast, dienen verder geconstrueerd te worden tot een model wat daadwerkelijk kan worden toegepast. In dit rapport zijn namelijk in grote lijnen de modelproeven beschreven.
- De levensduur van een geotextiel doek kan worden bepaald door middel van de oventest. Er zijn veel vragen rondom de aantoonbaarheid van de levensduur en daarmee de werking van de oventest. Op dit moment wordt een grootschalig onderzoek uitgevoerd naar de betrouwbaarheid van deze test. Resultaten van dit onderzoek kunnen in een vervolgstudie worden opgenomen.
- De verificatietesten in hoofdstuk 6 die uitgevoerd moeten worden ter controle van de kwaliteit van de toegepaste eigenschappen, dienen daadwerkelijk gerealiseerd te worden. Op basis van de verificatie methode dient de gedetailleerde ontwerpmethodete worden gecontroleerd. Bij afwijkende eisen tussen de verificatietest en de gedetailleerde ontwerpmethodete dient de gedetailleerde methode opnieuw verantwoord te worden en teruggekoppeld worden aan de verificatietest.

Literatuur

- [1] CURNET. (2009). *CUR-rapport 174: 'Geokunststoffen in de waterbouw – Tweede, herziene uitgave'*. Gouda: Stichting CURNET.
- [2] CURNET. (2011). *CUR- rapport 115: 'Uitvoering van geokunststoffen in de waterbouw'*. Gouda: Stichting CURNET
- [3] Bundesanstalt für Wasserbau. (1993). *'Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)'*. Karlsruhe: BAW.
- [4] Bundesanstalt für Wasserbau. (2008). *Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG)*. Karlsruhe: BAW
- [5] Bundesanstalt für Wasserbau. (1994). *'Richtlinien für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG)'*. Karlsruhe: BAW.
- [6] Projectbureau Zeeweringen. (2009). *Ontwerpnota: Willempolder, Abraham Wissepolder*. Middelburg.
- [7] Van Oord. (2011). *Vooroeverdediging Westerschelde locatie Hoedekenskerke*. Rotterdam.
- [8] Fugro Ingenieurs B.V. (2004). *Schade aan geotextiel onder dijkbekleding van steenbestorting*. Leidschendam.