

Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding

Ontwerprichtlijn geokunststoffen voor
filterconstructies in Nederlandse kust- en
oeverbescherming

Ontwerprichtlijn

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

Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding

Ontwerprichtlijn geokunststoffen voor
filterconstructies in Nederlandse kust- en
oeverbescherming

Ontwerprichtlijn

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

De rapportage die voor u ligt “Ontwerprichtlijn geokunststoffen onder steenbekleding” bevat het hoofdverslag van het afstudeerproject dat door ondergetekenden is uitgevoerd voor de studie Civiele Techniek aan de Hogeschool Zeeland (HZ) te Vlissingen.

Het afstudeerproject betreft een voortraject voor het opzetten van een CUR-publicatie waarin ontwerprichtlijnen worden opgezet met betrekking op geokunststoffen in de Nederlandse waterbouw. In het voortraject worden conclusies getrokken en aanbevelingen opgesteld voor het opvolgend onderzoek. De opdracht wordt verstrekt door projectbureau Zeeweringen dat als onderdeel fungeert voor de overheidsinstantie Rijkswaterstaat.

Vanuit de ontstane schadebeelden na verloop van tijd is men nagegaan waardoor deze op kunnen treden. Bij deze analyse is gebleken dat het ontwerp van de geokunststoffen niet gegrond is op ontwerprichtlijnen maar dat men toepast wat zeer lange tijd geleden is voorgeschreven. Hierdoor wordt geen rekening gehouden met de condities van de desbetreffende locatie waardoor mogelijk het geokunststof wordt over gedimensioneerd of het tegenovergestelde hiervan. Met ons afstudeerproject vervullen wij de behoefte aan een ontwerprichtlijn, door middel van het opstellen van ontwerprichtlijnen en het uitbrengen van aanbevelingen.

Deze rapportage is bedoeld voor ontwerpers die actief zijn in de Nederlandse waterbouw waarmee een ontwerp kan worden gemaakt voor geotextiel (weefsels en vliezen) dienend als onderdeel van het filter in de Nederlandse kust- en oeververdediging.

Dank wordt uitgebracht aan ing. Y.M. Provoost vanwege de begeleiding tijdens het afstudeerproject en de belangrijke bijdrage bij de totstandkoming van de inhoud van het rapport. Ook wordt ir. W. Voskamp dank toegezegd vanwege de belangrijke bijdrage en beoordeling die geleverd is aan de inhoud van deze rapportage.

Middelburg, augustus 2012

Frank Bakker
Kevin van Stee

Samenvatting

Nederland ligt voor een groot deel onder de zeespiegel waardoor zeeweringen benodigd zijn om het achterliggende land te beschermen tegen het water. De zeeweringen dienen bestand te zijn tegen de hydraulische invloeden die door de zee worden uitgeoefend, waarvoor steenmaterialen op grondlichamen worden toegepast zodat verplaatsing door stromingen en golven niet mogelijk is. Onder deze steenbestorting en –zettingen worden voor het voorkomen van het uitspoelen het onderliggende materiaal geokunststoffen toegepast. Wegens het ontbreken van een complete ontwerphandleiding worden geokunststoffen voorgeschreven op basis van ervaring en routine, waardoor schadebeelden zijn ontstaan. Door de schadebeelden vanuit de praktijk is de vraag opgekomen of men op het gebied van het ontwerp van de geokunststoffen in Nederland op de juiste manier bezig is. In deze ontwerprichtlijn worden nader ingegaan op het ontwerp van geokunststoffen in de Nederlandse dijk- 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.

Het doel van deze ontwerprichtlijn is om de ontwerper handvaten te geven voor het ontwerp van geotextielen als onderdeel van het filter in dijk- en oeververdedigende constructies. Hierdoor wordt een ontwerp gemaakt met betrekking tot de desbetreffende projectcondities waardoor schades worden voorkomen.

Het ontwerpen van het geotextiel is onderverdeeld in een drietal niveaus, namelijk de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode. Het ontwerp volgens de eenvoudige methode is op basis van grove aannames en schattingen, waarbij snel en gemakkelijk een ontwerp kan worden gemaakt dat tevens een financieel voordeel heeft. De eenvoudige methode is toepasbaar voor standaardsituaties. De gedetailleerde methode wordt gebruikt voor situaties met afwijkende condities, zoals grote hydraulische invloeden, etc. Hierbij wordt op basis van rekenregels een nauwkeuriger ontwerp gemaakt voor het toe te passen geotextiel. Wanneer het geotextiel onderhevig is aan extreme condities wordt de geavanceerde methode gehanteerd. Bij de geavanceerde methode gebruik gemaakt van modelproeven en deskundigen van het desbetreffende vakgebied.

In de ontwerprichtlijn wordt aandacht besteed aan de optredende belastingen op geotextiele constructies in zowel de uitvoeringsfase als de gebruiksfase. Hieruit blijkt dat de uitvoeringsfase maatgevend is vanwege de hogere belastingen. Het geotextiel wordt ontworpen op de functionaliteit en de robuustheid. Het ontwerp van de functionaliteit van het geotextiele doek bestaat uit het stellen van eisen aan de waterdoorlatendheid en grondichtheid. Het ontwerp van de robuustheid van het geotextiele doek bestaat uit het stellen van eisen aan de perforatieweerstand, doorponsweerstand, treksterkte en het rekvermogen.

Door middel van verificatietesten wordt aangetoond dat het geotextiel voldoet aan de gestelde eisen voortkomend uit het ontwerp. Voor de functionaliteit van het geotextiel worden de doorstroomtest en de turbulente stroomtest gehanteerd. De perforatietest, doorponstest en trektest worden gehanteerd voor de verificatie van de robuustheid. Aan de hand van de perforatietest en de doorponstest wordt het gewenste rekvermogen van het geotextiel bepaald.

Aan de hand van een drietal niveaus kan een ontwerp worden gemaakt voor geotextielen door middel van het stellen van eisen aan de eigenschappen. Hierbij vergt het gedetailleerde ontwerp een controle door middel van praktijktesten omdat deze methode gebaseerd is op eigen inzichten. Daarnaast zal verder onderzoek moeten worden gedaan naar de modelproeven en verificatietesten.

Summary

A large extent of the Netherlands lies below sea level wherefore coastal defenses are needed to protect the land behind from water. The coastal defenses must be able to withstand the hydraulic influences which are exerted by the sea, wherefore stone materials are used so that displacement by currents and waves are not possible. Under these armour and covering stones geosynthetics shall be applied to prevent the underlying material, consisting of sand and/or clay. In the absence of a design manual, geosynthetics are prescribed based on experience and routine whereby damage images were created. The damage images from the practice rises the question if the design of geosynthetics in the Netherlands are executed properly. This handbook discusses the design of geosynthetics in the Dutch dike- and embankment defenses. This report only deals with the design of geotextiles with a filter function, geotextiles is a collective name for the wovens and nonwovens.

The purpose of this publication is to provide handgrips for the designer for the design of geotextiles in dike and embankment defenses. Because of this, a design is made with respect to the respective project conditions which could prevent damage images.

The design process of the geotextile fabric is divided into three levels consisting of the simple, detailed and sophisticated method. The design according to the simple method is based on coarse assumptions and estimations whereby quick and easily a design can be made, which also has a financial advantage. The simple method is applicable to standard situations. The detailed method is used for situations with different conditions, such as large hydraulic influences, etc. This design method is based on calculations which provide a more accurate design for the geotextile to be applied. When the geotextile subjected to extreme conditions, the sophisticated method is used. The sophisticated method uses model tests and experts in the corresponding field.

The publication focuses on the occurring loads on geotextile structures in the implementation phase and the operational phase. It turns out that the implementation phase is decisive because of the higher loads. The geotextile is designed on the functionality and robustness aspects. The design of the functionality of the geotextile fabric consists of a set of demands on the water permeability and soil tightness. The design of the robustness of the geotextile fabric consists of a set of demands on the perforation resistance, puncture resistance, tensile strength and elongation.

By means of the verification tests, it demonstrates that the geotextile meets the requirements arising from the design. For the functionality of the geotextile, the flow through test and the turbulent flow test are used. The perforation test, puncture test and tensile test are used for verifying the robustness. Using the perforation and puncture test, the elongation of the geotextile can be determined.

Based on three levels, a design can be made for the geotextiles by making demands on the properties. The detailed design method requires a control by field tests because the method is based on own insights. In addition, further research should be made on the model tests and verification tests.

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.
Belastingspreiding	Verdeling van de belasting op het onderliggende materiaal.
Belastingafdracht	De wijze waarop de belasting wordt afgedragen op het onderliggende materiaal.
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.
Bulkbestorting	Het bestorten van materiaal in grotere hoeveelheid, bulkbestorting bij breuksteen bestaat uit het bestorten met meerdere stenen tegelijk.
Clogging	Reductie van de waterdoorlatendheid doordat materiaal zich in het geotextiel vestigt.
Cohesie	Kracht waarmee afzonderlijke grondkorrels samenhangen.
Composiet	Materiaal dat bestaat uit 2 of meer lagen geotextiel en dat speciale eigenschappen kan hebben of speciale functies kan vervullen.
Dichtheid	Massa van het betreffende materiaal per volume-eenheid (kg/m^3), heel vaak soortelijke massa of soortelijk gewicht genoemd.
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	Dit is 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 gloopingsconstructie.
Maatgevende belasting	De belasting waarop een constructie moet worden gedimensioneerd.
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.
Ongedraineerde schuifsterkte	De mate waarin de grond gevoelig is voor het afglijden waarbij de cohesie en hoek van inwendige wrijving hierbij van belang zijn.
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.
Permittiviteit	De verhouding van de waterdoorlatendheid van het geotextiel, loodrecht op het vlak van de dikte van het geotextiel.
Plasticiteitsindex	De mate waarin de grond zich plastisch gedraagt.
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.
Steensortering	Breuksteen 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.
Zate	Terrein dat wordt gebruikt voor de constructie van een zink- of kraagstuk.
Zeefkromme	Zie graderingskromme.
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.

Symbolenlijst

Symbol	Betekenis	Eenheid
A_0	oppervlakte geotextiel in een vlakke positie	m^2
a_b	aantal wiepen over de breedte van het zink- of kraagstuk	-
A_g	een functie van de golfsteilheid en golf gradiënt (of breker index ξ)	-
A_c	contactoppervlak van het ondervlak met de stroming	m^2
a_l	aantal wiepen over de lengte van het zink- of kraagstuk	-
A_s	oppervlak van het ondervlak (zink- of kraagstuk)	m^2
b	breedte van een enkele steen ter plaatse van het grensvlak geotextiel	m
b_z	breedte van het zink- of kraagstuk	m
C_B	factor volgens Beyer	-
C_D	sleepkrachtcoëfficiënt	-
C_{golf}	dempingsfactor golfslag	-
C_m	constante afhankelijk van het basismateriaal	-
C_r	reductiefactor ondergrond	-
C_s	conusweerstand	N/m^2
C_u	uniformiteitscoëfficiënt (D_{60}/D_{10})	-
D	maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883)	m
d	breedte van de waterbouwsteen ter plaatse van het grensvlak geotextiel ($d = D * 0,5$)	m
D_5	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 5% de zeef passeert	m
D_{10}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert	m
D_{50}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 50% de zeef passeert	m
D_{60}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 60% de zeef passeert	m
D_{85}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 85% de zeef passeert	m
D_{90}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 90% de zeef passeert	m
D_b	korreldiameter van granulair basismateriaal die door b % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderschreden	m
e	belastingspreidingsfactor	-
E_N	valenergie loodrecht op het geotextiel	Nm
E_s	energie die afglijden van het waterbouwsteen veroorzaakt	Nm
$E_{surface}$	elasticiteitsmodulus van de ondergrond	N/m^2
E_z	de val energie op het geotextiel	Nm
F_0	lange duur sterkte	kN/m^1
F_A	ankerkracht	N
F_d	reductiefactor voor beschadiging tijdens inbouw	-
F_e	reductiefactor voor chemische invloeden	-
f_i	veiligheidsfactor voor inschattingfouten	-
F_k	reductiefactor voor kruip	-
F_{kar}	karakteristieke sterkte van het geotextiel	kN/m^1

F_m	reductiefactor voor extrapolatie en productie nauwkeurigheid	-
F_{mk}	meewerkende kracht ten gevolge van de helling	kN
F_N	normaalkracht	kN
$F_{naainaad}$	reductiefactor voor effect van naainaden	-
f_{ov}	veiligheidsfactor voor het opdrijvend vermogen	-
F_R	doorponskracht	kN
F_{rups}	belastingafdracht graafmachine aan één rupspan	kN
F_t	trekkracht	kN/m
F_{tt}	totale trekkracht	kN
F_w	wrijvingskracht	kN/m
F_z	zwaartekracht	N
g	valversnelling	m/s^2
G	gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak	kN/m^2
h	laagdikte van de steenbekleding	m
H_s	significante golfhoogte	m
h_{val}	de valhoogte van het waterbouwsteen	m
k	lengte over de indrukking van de steen	m
k_n	loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel	m/s
k_p	doorlatendheid basismateriaal	m/s
l	lengte van het zink- of kraagstuk loodrecht op de aanstroomrichting	m
L^1	horizontale projectie op het wateroppervlak van het deel van het zink- of kraagstuk dat onder water zit	m
L_{geo}	lengte geotextiel langs het talud	m
l_k	lengte van het geotextiel evenwijdig aan de kruin	m
l_{wb}	lengte van de wiep over de breedte van het zink- of kraagstuk	m
l_{wl}	lengte van de wiep over de lengte van het zink- of kraagstuk	m
l_z	lengte van het zink- of kraagstuk	m
m	massa voorwerp	kg
μ_w	wrijvingscoëfficiënt	-
$N_{surface}$	coëfficiënt van Poisson van de ondergrond	-
O_{90}	poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de gemiddelde diameter van die zandfractie waarbij 10 % door het geotextiel valt (droge of natte zeefmethode)	m
O_{95}	effectieve openingsgrootte die correspondeert met de korrelgrootte van de zandfractie waarvan 10%, bepaald met de natte zeefmethode	m
P_{golf}	golfbelasting	kN/m^2
$P_{N;golf}$	druk neerwaarts op het grensvlak	kN/m^2
$P_{N;mat}$	druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak	kN/m^2
P_{Neer}	bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding	kN/m^2
P_{Opw}	reactiekracht van de ondergrond	kN/m^2
R	straal van de steen	m
Re	getal van Reynolds	-
R_{res}	vervormingsstraal	m
t_g	dikte van het geotextiel	m
T_p	golfperiode bij de piek van het golfspectrum	s

u	stroomsnelheid	m/s
u_o	snelheid van het water ten opzichte van het ondervlak	m/s
v	gemiddelde snelheid van een vloeistof	m/s
V_e	evenwichtssnelheid	m/s
ψ	permittiviteit	1/s
z	indrukkingsdiepte bij perforatie in combinatie met doorpons steenbekleding	m
α	hellingshoek	°
α_t	een coëfficiënt direct volgend van de stroomsnelheid en het drijvend vermogen	-
β	hoek van de punt met de zwaartekracht lijn	°
γ	middelpuntshoek	°
γ_g	gewicht van het geotextiel	kg/m ²
γ_s	volumieke massa steenbekleding	kN/m ³
γ_w	gewicht van de wiep	kg/m ¹
δ	indrukkingsdiepte steenbekleding	m
δ_w	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond	°
ΔA	oppervlakte vervorming geotextiel	m ²
ΔL	lengte vervorming geotextiel	m
ϵ_{opp}	rekvermogen geotextiel over het gehele ingeklemde oppervlak	%
ξ_{op}	golfbrekerparameter [-]	-
ρ_s	massadichtheid waterbouwsteen	kg/m ³
ρ_w	massadichtheid water	kg/m ³
ν	kinematische viscositeit	m ² /s

Inhoudsopgave

1. Ontwerpfilosofie	1
1.1 Inleiding.....	1
1.2 Toepassingsgebied	1
1.3 Filterconstructie	1
1.4 Ontwerp niveau	2
1.4.1 Eenvoudige methode	2
1.4.2 Gedetailleerde methode	3
1.4.3 Geavanceerde methode.....	3
2. Functionaliteit	4
2.1 Algemeen	4
2.2 Eenvoudige methode	4
2.2.1 Algemeen.....	4
2.2.2 Grondclassificatie	5
2.2.3 Functionaliteit	7
2.3 Gedetailleerde methode	8
2.3.1 Algemeen.....	8
2.3.2 Gronddichtheid.....	8
2.3.3 Waterdoorlatendheid.....	11
2.4 Geavanceerde methode.....	13
2.4.1 Algemeen.....	14
2.4.2 Gronddichtheid.....	14
2.4.3 Waterdoorlatendheid.....	15
3. Robuustheid	17
3.1 Algemeen	17
3.2 Eenvoudige methode	17
3.2.1 Algemeen.....	17
3.2.2 Robuustheid	18
3.3 Gedetailleerde methode	19
3.3.1 Algemeen.....	19
3.3.2 Perforatieweerstand	19
3.3.3 Doorpons weerstand.....	24
3.3.4 Rekvermogen.....	33
3.3.5 Treksterkte	41
3.4 Geavanceerde methode.....	53
3.4.1 Algemeen.....	53
3.4.2 Perforatieweerstand	54
3.4.3 Doorponsweerstand.....	54
3.4.4 Treksterkte	56
3.4.5 Rekvermogen.....	56

4. Eisen t.a.v. geotextielen	59
4.1 Eigenschappen geotextiel	59
4.2 Maatgevende eigenschappen	59
4.2.1 In den droge	60
4.2.2 In den natte:	60
5. Verificatie	61
5.1 Functionaliteit	62
5.1.1 Doorstroomtest	62
5.1.2 Turbulente stroomtest	63
5.2 Robuustheid	64
5.2.1 Perforatieweerstand	64
5.2.2 Doorponsweerstand	64
5.2.3 Treksterkte	65
5.2.4 Rekvermogen.....	65
5.2.5 Slijtsterkte.....	65
5.3 Levensduur	66
6. Conclusies en aanbevelingen.....	67
6.1 Conclusie	67
6.2 Aanbeveling.....	68
Literatuur	69
Bijlagen.....	70
Bijlage 1. Eenvoudige methode: Grondclassificaties.....	71
Bijlage 2. Eenvoudige methode: Functionaliteit.....	78
Bijlage 3. Eenvoudige methode: Robuustheid.....	98
Bijlage 4. Gedetailleerde methode: Gronddichtheid.....	138
Bijlage 5. Gedetailleerde methode: Waterdoorlatendheid.....	185
Bijlage 6. Gedetailleerde methode: Perforatie weerstand.....	202
Bijlage 7. Gedetailleerde methode: Doorpons weerstand.....	214
Bijlage 8. Gedetailleerde methode: Rekvermogen.....	229
Bijlage 9. Gedetailleerde methode: Treksterkte.....	242

1. Ontwerpfilosofie

1.1 Inleiding

In de Nederlandse kust- en oeververdediging is een grote vraag naar de toepasbaarheid van geotextielen in een filterconstructie. Dit verzoek leidde tot de vraag naar een ontwerprichtlijn die toegankelijk is voor het gebruik door ontwerpers in de waterbouw. Aan de hand van de ontwerprichtlijn moet een geotextiel kunnen worden ontworpen dat voldoet aan de eisen op basis van functionaliteit (zie hoofdstuk 2) en aan de eisen op basis van de robuustheid (zie hoofdstuk 3).

De ontwerprichtlijn is voornamelijk een verdiepingsslag op het gebied van de uitvoering (robuustheid), in het verleden werden namelijk geen eisen gesteld aan de belastingen gedurende de uitvoering. Dit leverde vragen op over de toepasbaarheid van het geotextiel in de praktijk. Naast de eisen die volgen uit de uitvoering, dient het geotextiel ook op functionaliteit te worden ontworpen. Een filterconstructie zal namelijk een evenwicht moeten vinden tussen de weerstand van het stromend water op de korreldeeltjes en de uitspoeling van de korreldeeltjes. Naar de functionaliteit van het geotextiel in een filterconstructie is in het verleden diepgaand onderzoek uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn verwerkt in de onderliggende ontwerprichtlijn.

Gedurende het ontwerpproces wordt uitgegaan van functionele en robuuste eisen, die zijn bepaald aan de hand van de omgevingscondities en belastingen. Met andere woorden: het geotextiel dient zo ontworpen te worden dat dit, bij bepaalde omgevingscondities en belastingen, zowel tijdens de uitvoeringsfase aan de gestelde robuuste eisen voldoet als gedurende de gebruiksduur (economische levensduur) aan de gestelde functionele eisen voldoet.

Naast de ontwerpmethodiek bevat de ontwerprichtlijn ook een verificatie (zie hoofdstuk 5), waarmee aangetoond kan worden of het geotextiel in de praktijk daadwerkelijk voldoet aan de gestelde eisen. De verificatie gaat zowel in op de functionaliteit (zie hoofdstuk 2) als de robuustheid (zie hoofdstuk 3) en dient ter bevestiging van de eigenschappen van het geotextiel.

1.2 Toepassingsgebied

De ontwerprichtlijn is bedoeld voor het ontwerp van geotextielen in filterconstructies in een dijk of dam. De richtlijn beslaat de hele dijk of dam, dus de vooroever-, de kreukelberm- en de glooiingsconstructie. Daarnaast bestrijkt de richtlijn zowel uitvoering in den droge als in den natte en zowel in-situ aangelegd als on-site geprefabriceerd. De ontwerprichtlijn is dus zowel van toepassing voor een zink- of kraagstuk als voor een los geotextiel, waarbij de keuze ligt bij de ontwerper welk geotextiel wordt toegepast, dit kan zijn een vlies, weefsel of een composiet.

Centraal in de ontwerprichtlijn staan de ondergrond, de steenbekleding en het geotextiel; deze drie onderdelen hebben een onderlinge relatie. Als gedurende de uitvoering het geotextiel onderhevig is aan extreme belasting afkomstig van de steenbekleding, waarop het geotextiel niet is ontworpen zal het geotextiel beschadigingen oplopen zoals gaten of scheuren. Het beschadigen van het geotextiel heeft vervolgens gevolgen voor de functionaliteit gedurende de gebruiksduur. Bij scheuren of gaten in het geotextiel zal de ondergrond uitspoelen, wat leidt tot een vergrote kans op bezwijken van de dijk of dam. Het geotextiel dient daarom zowel te voldoen op functionaliteit als op robuustheid.

1.3 Filterconstructie

Een kust- en vooroeververdediging is meestal opgebouwd uit een toplaag (de steenbekleding), een filterconstructie (granulair materiaal en/of geotextiel) en een basismateriaal (bij de kustverdediging is dit vaak een waterremmende kleilaag). Deze ontwerprichtlijn behandelt enkel eisen aan het geotextiel dat onderdeel is van de filterconstructie, in relatie met de toplaag en onderlaag. Een filterconstructie heeft als primair doel het vasthouden van de korreldeeltjes van het basismateriaal zonder dat er veranderingen optreden in de filterwerking van de constructie. Er zal door de

filterconstructie een evenwicht moeten worden gevonden tussen de weerstand van het stromend water op de korreldeeltjes en de uitspoeling van de korreldeeltjes. Het gedrag van een filterconstructie wordt bepaald door de openingsgroottes, de samenstelling van de basislaag, ook de toplaag en de optredende belastingen. Er kunnen twee typen filters worden onderscheiden dit zijn geometrisch dichte filters en geometrisch open filters.

Geometrisch dichte filters

Het geometrisch dicht filter dient om zorg te dragen dat er geen transport van materiaal uit de basislaag door het filter mogelijk is, onafhankelijk van de op het filter uitgeoefende hydraulische belastingen. Hier dienen de openingen dermate klein te zijn dat er geen materiaal uit de basislaag door het filter kunnen uitspoelen.

Geometrisch open filters

In het geval van een geometrisch open filter is er door de dermate grote openingen van het filter transport mogelijk, van het materiaal uit de basislaag door de filterconstructie. Echter reduceert het filter de optredende hydraulische belastingen zodanig dat deze kleiner zijn dan de kritieke belastingen. Door de reductie van de hydraulische belastingen zal er geen transport van het materiaal uit de basislaag plaatsvinden.

De ontwerprichtlijn gaat echter niet uit van een reductie van de hydraulische belastingen door de filterconstructie en geeft dus enkel een ontwerp voor een geometrisch dichte filterconstructie. Dit omdat de eis is, dat er een zodanige filterconstructie moet worden ontworpen die voldoende weerstand biedt om onder maatgevende condities te blijven functioneren. Op basis van de onderstaande voorwaarden wordt voor een geometrisch dicht filter gekozen, omdat het geometrische open filter geen significante kostenvoordelen met zich meebrengt, maar er wel risico's aan verbonden zijn.

1.4 Ontwerp niveau

De ontwerprichtlijn heeft een onderverdeling in drie verschillende niveaus voor het bepalen van de eisen aan de eigenschappen van het geotextiel. De onderverdeling is een eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode. De keuze tussen de verschillende niveaus is op basis van het kostenplaatje. Zo is de eenvoudigste methode het goedkoopst, hier moet nagenoeg geen onderzoek worden uitgevoerd en is de geavanceerde methode het duurst, hier zal een diepgaand onderzoek moeten worden uitgevoerd. De geavanceerde methode leidt echter tot een geoptimaliseerd ontwerp van het geotextiel dat specifiek ingaat op de eigenschappen door middel van proeven.

1.4.1 Eenvoudige methode

De eenvoudige methode is de standaard methode voor het bepalen van de eigenschappen van het geotextiel. Het is de meest toegepaste methode voor het bepalen van de eigenschappen van het geotextiel. De eenvoudige methode is namelijk gebaseerd op eisen die op basis van performance testen zijn opgesteld. Waarbij niet de minimale vereiste eigenschappen worden gehanteerd, maar waar er wordt over gedimensioneerd. Dit levert dus een geotextiel waarbij is te veronderstellen dat de eigenschappen van het geotextiel zowel op functionaliteit als robuustheid voldoen.

De eenvoudige methode gaat uit van tabellen voor functionaliteit en robuustheid. Er kan na enkele onderzoeken afgelezen worden welke eigenschappen het geotextiel moet bevatten. Er dient hier enkel onderzoeken te worden gedaan naar de graderingskromme van de ondergrond. Daarnaast dient bekend te zijn welke steenbekleding er wordt aangebracht en of de uitvoering in den droge of in den natte geschiedt.

1.4.2 Gedetailleerde methode

De gedetailleerde methode bepaalt de eisen aan het geotextiel door middel van rekenregels. Deze methode wordt aangeraden indien er meer dan 10000 m² geotextiel moet worden aangebracht, deze minimale oppervlakte is gerelateerd aan de eis die geldt voor het bepalen van een grondmonster [1]. De eisen die hieruit volgen zullen lager uitvallen dan de eisen die volgen uit de eenvoudige methode. Dit leidt tot een lagere vierkante meter prijs van het geotextiel. Hier kan zo winst gehaald worden in het toepassen van de afwijkende eigenschappen ten opzichte van de eenvoudige methode. De gedetailleerde methode is op basis van formules, hierbij kan gerekend worden met verschillende condities. Voor de gedetailleerde methode dient echter meer onderzoek te worden uitgevoerd naar de eigenschappen van de ondergrond. De volgende parameters dienen bekend te zijn voor het bepalen van de eisen waaraan het geotextiel moet voldoen.

- Graderingskromme;
- Plasticiteitsindex;
- Ongedraineerde schuifsterkte;
- CBR-waarde;
- Conusweerstand;
- Hydraulische ontwerprandvoorwaarden.

Daarnaast dienen de volgende uitvoeringstechnische specificaties bekend te zijn:

- De aan te brengen steenbekleding (bijv. waterbouwsteen volgens NEN-EN 13883);
- Uitvoering in den droge;
 - Uitvoeringsmethode, manoeuvreren op nieuwe bekleding, etc.
 - Omvang van het groot materieel op het bouwterrein.
- Uitvoering in den natte;
 - Gewicht en afmetingen zinstuk;
 - Plaats van prefabricage.

1.4.3 Geavanceerde methode

De geavanceerde methode is de meest complexe methode, hier worden eisen aan het geotextiel gesteld op basis van laboratoriumproeven of modelproeven. Deze methode dient gehanteerd te worden bij: "extreme" belastingen op de kustverdedigingen, "extreme" kunstwerken of "extreme" hoeveelheden. Denk hierbij aan de kust nabij de Oosterscheldekering, dit is een extreem kunstwerk waarbij extreme belastingen voorkomen waarbij de eenvoudige en gedetailleerde methode geen zekerheid kunnen bieden omtrent de eisen aan de eigenschappen van het geotextiel. Door de vele onderzoeken die hier uitgevoerd moeten worden, is dit de duurste methode. Deze kosten wegen uiteraard op tegen een veilige dijk, die garant staat voor een droog achterland.

De geavanceerde methode is op basis van laboratoriumproeven of modelproeven door specialisten. Hierbij kan een situatie nagebootst worden die overeenkomt met de werkelijkheid. Er dient echter wel diepgaand onderzoek te worden uitgevoerd naar de omgevingscondities. De volgende onderzoeken dienen uitgevoerd te worden voor het bepalen van de eisen aan de eigenschappen van het geotextiel:

- Modelproef perforatie;
- Modelproef / indextest doorpons;
- Modelproef treksterkte;
- Modelproef rekvermogen;
- Graderingskromme;
- Plasticiteitsindex;
- Ongedraineerde schuifsterkte;
- Waterdoorlatendheid van de ondergrond.

2. Functionaliteit

Het primaire doel van een filterconstructie is het vasthouden van de korreldeeltjes van het basismateriaal zonder verandering van de filterfunctie van de constructie. Een filterconstructie zal hoe dan ook een evenwicht moeten vinden tussen de weerstand van het stromend water op de korreldeeltjes en de uitspoeling van de korreldeeltjes. De prestaties van een afvoersysteem is gerelateerd aan de interne beweging van de onderlinge korreldeeltjes, die twee nadelige invloeden met zich mee kunnen brengen:

- Het uitspoelen van deeltjes van de basislaag die gelegen zijn direct onder het geotextiel;
- Het verstopping van de openingen van het geotextiel, wat vervolgens wateroverdrukken in de dijk of dam veroorzaakt.

Op basis van de functionaliteit van een geotextiel kunnen op een drietal niveaus eisen worden gesteld aan de functionaliteit van het geotextiel, namelijk conform de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode (zie bijlage 1 t/m 9).

2.1 Algemeen

Het type geotextiel wat dient te worden toegepast is afhankelijk van de ondergrond, toplaag, hydraulische belastingen en uitvoeringswijze. Deze vier factoren zijn van invloed op de belastingen die werken op het geotextiel en dienen in het ontwerp te worden meegenomen. De eenvoudige ontwerpmethode stelt op basis van tabellen eisen aan de eigenschappen van het toe te passen geotextiel. De waarden die in deze tabellen wordt gehanteerd zijn op basis van de grondclassificaties geldende voor de Nederlandse bodemgesteldheid. Bij het gebruik van de gedetailleerde methode wordt door middel van berekeningen een nauwkeuriger ontwerp gemaakt voor het geotextiel. Bij grote oppervlakten kan vanuit financieel oogpunt een gedetailleerd ontwerp worden verlangd. Wanneer sprake is van zeer complexe condities waarin het geotextiel verkeert, kan door middel van modelproeven en deskundigen, een ontwerp worden verkregen voor het toe te passen geotextiel. Deze laatste wijze wordt aangeduid als de geavanceerde methode.

Bij het ontwerp van het geotextiel wordt alleen ingegaan op geotextielen die onder een waterdoorlatend bekledingsmateriaal worden toegepast. Waarbij ingegaan wordt op de functionaliteit van geotextielen, bestaande uit de waterdoorlatendheid en gronddichtheid, die worden toegepast in de Nederlandse kust- en oeververdediging.

2.2 Eenvoudige methode

Op basis van grove aannames en bepaling van eigenschappen kan door middel van tabellen op een snelle en eenvoudige wijze ontwerpeisen voor het geotextiel worden verkregen. De onderbouwing van de eenvoudige methode op basis van functionaliteit is weergegeven in bijlage 1 en 2.

2.2.1 Algemeen

Door middel van performance testen (zie hoofdstuk 5 voor nadere toelichting van de testen) en empirische kennis zijn eisen vastgesteld betreffende de functionaliteit van het geotextiel. De functionaliteit omvat de filterstabiliteit van het geotextiel waar rekening wordt gehouden met de gronddichtheid en waterdoorlatendheid.

De eenvoudige methode met behulp van tabellen en grove aannames is gebaseerd op dynamisch hydraulische belastingen, een continu veranderlijke belasting, die toepasbaar is op zowel vliezen als weefsels. Hierbij is uitgegaan van het feit dat dynamisch hydraulische belastingen een grotere invloed hebben dan statisch hydraulische belastingen, een niet veranderlijke belasting binnen een gestelde periode, waardoor het geotextiel eveneens voldoet aan de statisch hydraulische belastingen.

2.2.2 Grondclassificatie

De ondergrond waarop het geotextiel wordt toegepast is bepalend voor de eigenschappen van het geotextiel wat betreft de functionaliteit. Voor het ontwerp op basis van tabellen is gebruik gemaakt van een grondclassificatie waarin zes verschillende grondsoorten zijn opgenomen die in twee groepen kunnen worden verdeeld, namelijk de samenhangende en de niet-samenhangende gronden. In bijlage 1 is beschreven hoe de grondclassificaties voor de ontwerprichtlijn tot stand zijn gekomen.

2.2.2.1 Niet-cohesieve grondsoort

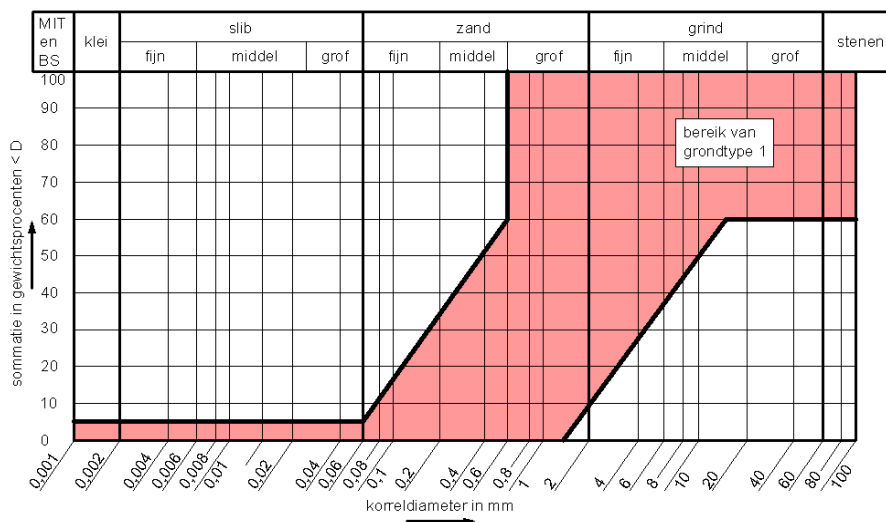
De korrels van de grondsoorten die zich tot deze klasse kenmerken hebben onderling een slechte samenhang waardoor deze gevoelig zijn voor erosie van het materiaal. Wanneer een geotextiel op niet-cohesieve gronden wordt toegepast is de kans op blocking en clogging groot. Het geotextiel dient een juiste grond dichtheid te hebben voor het beperken van het uitspoelen van zand. Om overdrukken te voorkomen mag de waterdoorlatendheid van het geotextiel niet nadelig worden beïnvloed door een te grote grond dichtheid.

2.2.2.2 Cohesieve grondsoort

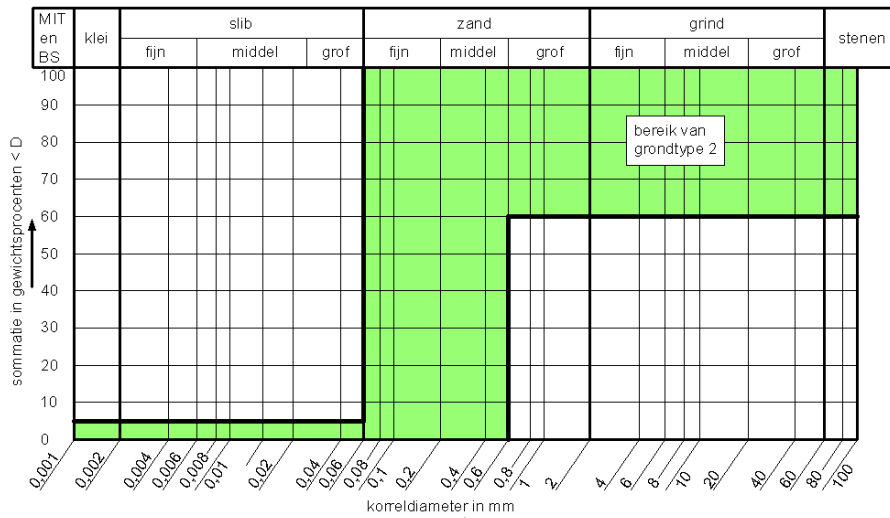
Voor de verschillende soorten grond die zich onder deze klasse scharen geldt dat een onderlinge samenhang tussen de korrels aanwezig is. Door de cohesie van de grond zijn de korrels niet mobiel en zullen niet afzonderlijk uitspoelen maar in brokjes met een grootte van enkele millimeters. In tegenstelling tot de niet-cohesieve grondsoorten zal er minder snel uitspoeling van de ondergrond zijn. Hierdoor is er minder gevaar voor het blokken en cloggen van het geotextiel. Een ander kenmerk van cohesieve grondsoorten is dat deze over een fijne korrel fractie beschikken en daardoor een lage waterdoorlatendheid hebben. Er is onderscheid gemaakt in sterk en licht cohesieve gronden.

2.2.2.3 Bepalen grondklasse

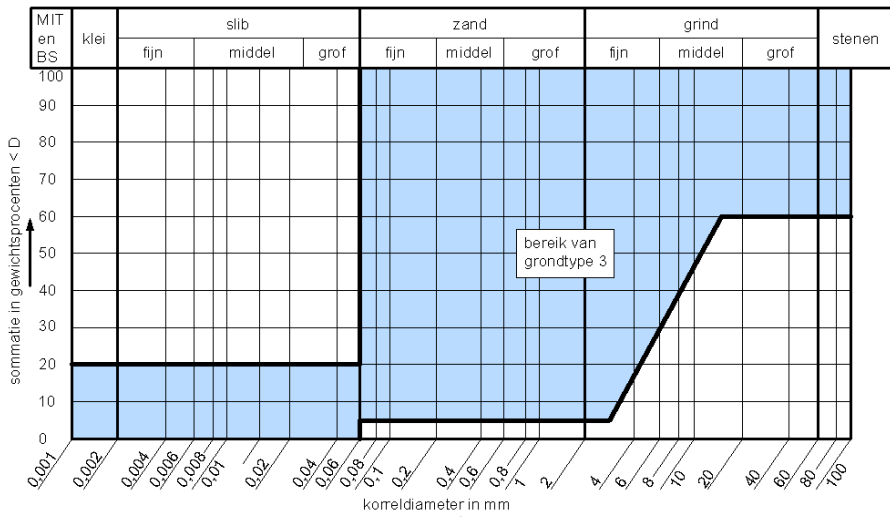
Voor het bepalen van de grondklasse die van toepassing is op de ondergrond dient een zeefanalyse te worden uitgevoerd van de desbetreffende grond. Aan de hand van de opgestelde zeefkromme uit de analyse dient de grondklasse te worden bepaald aan de hand van de grondclassificatie die hieronder zijn weergegeven.



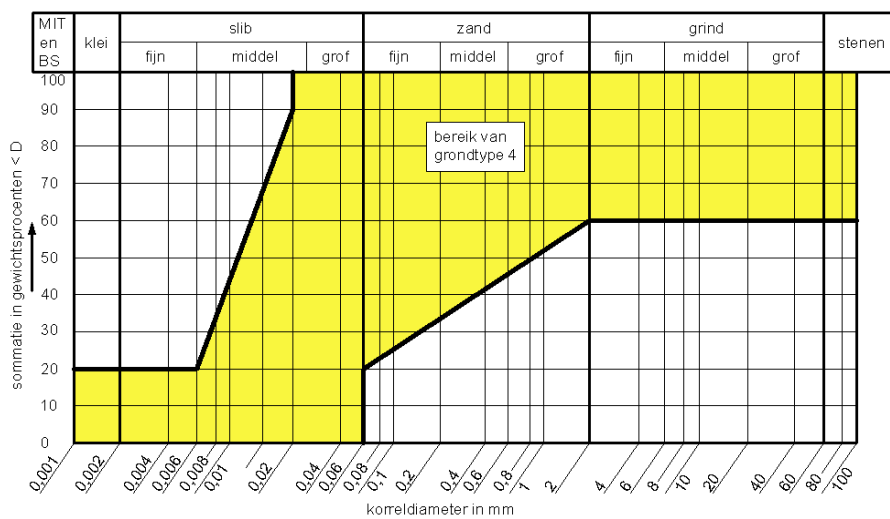
Figuur 1a: Grondklasse 1: Zandig grind en grind



Figuur 1b: Grondklasse 2: Uniform korrelig zand



Figuur 1c: Grondklasse 3: Zand, zandig grind en grind



Figuur 1d: Grondklasse 4: Zandig klei en zand (zowel cohesieve als niet-cohesieve gronden)

2.2.3 Functionaliteit

Aan de hand van de grondklasse waarin de desbetreffende ondergrond zich bevindt kunnen met behulp van tabel 1 (zie bijlage 2) de eisen met betrekking op de functionaliteit van het geotextiel worden bepaald. Wanneer een zeefkromme zich in de grenszone tussen cohesief en niet-cohesief bevindt dient de filterstabiliteit van het geotextiel altijd te worden ontworpen rekening houdend met de fijnste niet-cohesieve zeefkromme. In bijlage 2 is beschreven hoe de bepaling van functionaliteit op basis van de eenvoudige methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

Tabel 1: 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	$M_t \leq 300$ ²⁾	$M_1 \leq 30$	$K_n \geq 2 \cdot 10^{-3}$
2	Grondtype 2			$K_n \geq 1,2 \cdot 10^{-3}$
3	Grondtype 3			$K_n \geq 1 \cdot 10^{-4}$
4	Grondtype 4			$K_n \geq 5 \cdot 10^{-7}$
5	Samenhangende grond $C_u \geq 10$ kN/m ² en $I_p \geq 0,15$ ³⁾	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 $I_p < 0,15$ ³⁾	Vereisten met betrekking tot bodemtype 4 toepassen		

¹⁾ Gram, gerelateerd aan het blootgestelde testgebied
²⁾ 300 g/ 184 cm² = 16,3 kg/m²
³⁾ Waar C_u en I_p niet bekend zijn, vereisten met betrekking tot bodemtype 4 toepassen
⁴⁾ h = 0,25 m

De functionaliteit van het geotextiel wordt door bovenstaande tabel gewaarborgd door het toelaatbare grondverlies en de waterdoorlatendheid. Om deze tabel toepasbaar te maken voor zowel weefsels als vliezen worden er geen eisen gesteld aan de dikte van het materiaal.

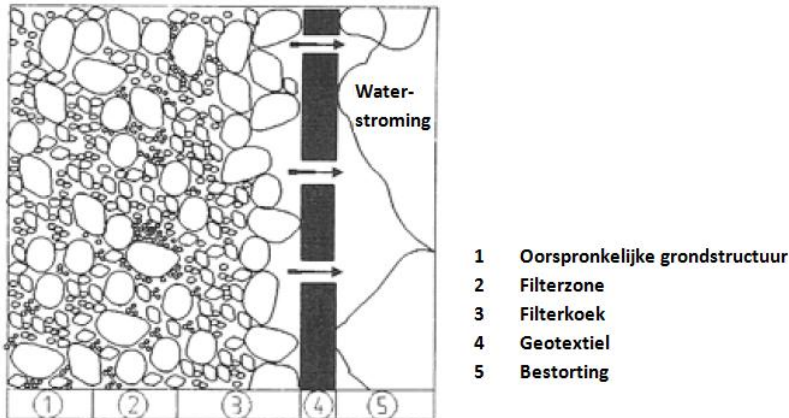
Wanneer een ondergrond bestaat uit graderingkrommen die buiten het geldende bereik van een grondtype valt, dient het geotextiele filter te worden ontworpen voor alle grondtypen waarvan het geldend bereik wordt doorsneden door de graderingband van de korrelfracties $D_5 - D_{60}$. De meest ongunstige waarden worden als maatgevend beschouwd en zullen worden opgenomen in het ontwerp van het geotextiel.

Er is onderscheid gemaakt in samenhangende en niet-samenhangende grondsoorten. De niet-samenhangende grondsoorten (1-4) bevatten de grondsoorten van klein tot grind en zijn niet cohesief, de grondsoorten vijf en zes zijn wel cohesief.

2.2.3.1 Gronddichtheid

De minimale gronddichtheid van een geotextiel is bepaald door testen waarin de dynamische hydraulische filterbelastingen worden nagebootst zoals deze in de kust- en oeververdediging aanwezig kunnen zijn. Deze testen bestaan uit de doorstromingsmethode en turbulente stromingsmethode. Voor waterdoorlatende gronden (grondtype 1-3) geeft de doorstromingsmethode de meest onveilige waarden wat betreft grondverlies door het filter, voor slecht doorlatende gronden (grondtype 4) geldt dit voor de turbulente stromingsmethode (zie

hoofdstuk 5 voor meer informatie van de testen). Met behulp van de testen kan het percentage grond wat het geotextiel passeert worden bepaald. Ook de waterdoorlatendheid kan door middel van deze testen worden bepaald. De testen zijn verdeeld in verschillende fasen. De hoeveelheid grond die het geotextiel in de laatste testfase passeert geeft een indicatie over de stabiliteit van het grondverlies. Spoelt er een grote hoeveelheid grond uit in de laatste testfase dan heeft er zich geen bruggennetwerk (natuurlijk filter) gevormd, zie figuur 2.



Figuur 2: Opbouw van een natuurlijk filter

Bij een kleine hoeveelheid is het bruggennetwerk reeds gevormd en zal geen uitspoeling meer plaatsvinden waardoor het geotextiel zich in een stabiele situatie bevindt. Er vindt namelijk geen grondverlies plaats en de waterdoorlatende functie van het geotextiel blijft behouden.

2.2.3.2 Waterdoorlatendheid

Uitgangspunt waarom een constructie waterdoorlatend dient te zijn is het voorkomen van wateroverdrukken. Hiervoor is een voldoende grote afvoercapaciteit benodigd die per grondsoort in tabel 1 is weergegeven. Deze doorlatendheden zijn door middel van onderzoeken bepaald waarbij vanuit gegaan is dat de waterdoorlatendheid van het geotextiel groter dient te zijn dan van de ondergrond. Bij hantering van deze waarden is gevaar voor blocking en clogging geweken.

2.3 Gedetailleerde methode

Door middel van rekenregels worden eisen verkregen aan de eigenschappen die leiden tot het ontwerp van een geotextiel. Verschil met de eenvoudige methode is dat een specifiek ontwerp wordt verkregen door gebruik van rekenregels en gemeten waarden. Voor de onderbouwing van de gedetailleerde methode op basis van gronddichtheid zie bijlage 4 en op basis van waterdoorlatendheid zie bijlage 5.

2.3.1 Algemeen

Door het toepassen van de gedetailleerde methode wordt op basis van berekeningen in de hierop volgende hoofdstukken eisen gesteld aan de eigenschappen van de functionaliteit van het geotextiel, namelijk de gronddichtheid en waterdoorlatendheid. Hierdoor wordt het ontwerp toegespitst op de condities waaraan het geotextiel blootgesteld waardoor een nauwkeuriger ontwerp wordt verkregen. Vanuit financieel oogpunt kan het aantrekkelijk zijn om de gedetailleerde methode uit te voeren wanneer op een groot oppervlak een geotextiel dient toe te worden gepast. Met behulp van de gedetailleerde methode kan een ontwerp worden verkregen voor zowel vliezen als weefsels.

2.3.2 Gronddichtheid

Om uitspoeling van het basismateriaal te voorkomen dient het geotextiel gronddicht te zijn. Gronddicht betekent in feite dat de uit korrels van dezelfde diameter, tegengehouden worden door

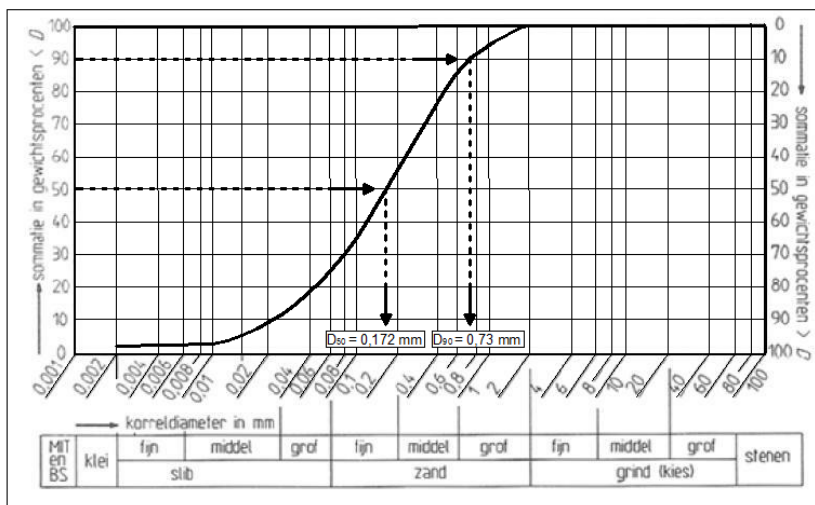
het geotextiel. Dit is het geval als de karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel kleiner is dan de korreldiameter van het basismateriaal. In bijlage 4 is beschreven hoe de bepaling van gronddichtheid op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

2.3.2.1 Karakteristieke openingsgrootte

Om uitspoeling van deeltjes van de basislaag en het verstopping van de openingen van het geotextiel te voorkomen of te beheersen dient de filteropening van een geotextiel te worden bepaald. Op basis van onderzoek naar de huidige Nederlandse en Duitse criteria omtrent filterregels voor geotextiel kan de O_{90} van het geotextiel bepaald worden. De O_{90} staat voor de poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de gemiddelde diameter van de zandfractie waarbij 10 % het geotextiel passeert. Er dient een situatie te ontstaan waarbij de grotere korrels een boog achter het geotextiel vormen en zo de kleinere deeltjes tegenhoudt, dit noemt men een “natuurlijk filter” (zie figuur 2). Het uitgangspunt voor het bepalen van de vereiste poriënafmeting van een geometrisch dicht geotextiel, is dat slecht een zeer gering deel mag uitspoelen ongeacht de optredende belasting, waarbij tevens de constructie wel voldoende waterdoorlatend moet zijn.

2.3.2.2 Bepalen karakteristieke korreldiameter

Voor het bepalen van de poriënafmeting van een geotextiel dient de karakteristieke korreldiameter van de onderliggende laag bekend te zijn. Het bepalen van de karakteristieke korreldiameter gebeurt doormiddel van zeefanalyses, waaruit een graderingskromme van de grond uit voort komt. Uit deze graderingskromme is vervolgens de karakteristieke korreldiameter af te lezen. In figuur 3 is een voorbeeld gegeven van de bepaling van de karakteristieke korreldiameters D_{90} en D_{50} .



Figuur 3: Bepaling karakteristieke korreldiameters

2.3.2.3 Belastinggevallen

Kust- en oeververdedigingen kunnen onderhevig zijn aan een drietal soorten hydraulische belastinggevallen, stationaire belasting, dynamische belasting en dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel. Hieronder zijn de drie verschillende belastingen beschreven en weergegeven in figuur 4.

1. *Stationaire belasting*

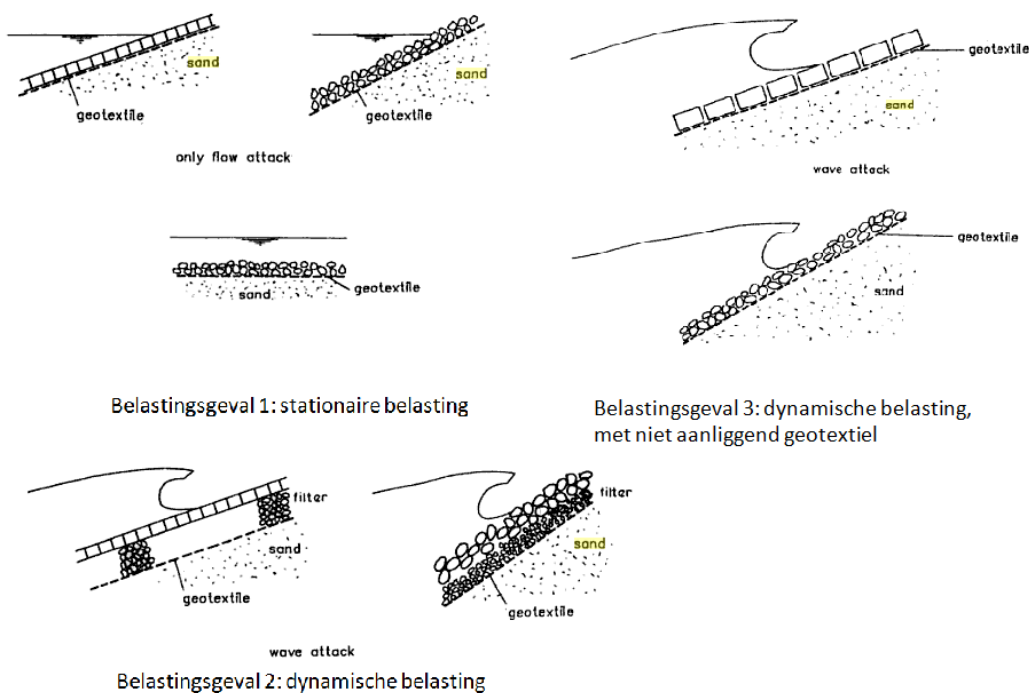
Een stationaire belasting is een niet veranderlijke belasting binnen gestelde periode die van werking is op een voorwerp. Hier kan bij een gegeven korrelgrootte de grootste openingen in het geotextiel toegelaten worden.

2. *Dynamische belasting*

Een dynamische belasting is een continu veranderlijke belasting op een voorwerp (ook wel cyclische belasting genoemd). De openingen in het geotextiel moeten kleiner zijn dan in het geval bij een stationaire belasting, om de grond achter het geotextiel te keren.

3. *Dynamische belasting, met een niet aanliggend geotextiel*

De belasting is dezelfde als bij belastinggeval 2, enkel ligt het geotextiel niet plaatsvast en kan het geotextiel bewegen ten opzicht van de onderliggende laag. Zanddichtheid is alleen gewaarborgd wanneer maar een heel klein gedeelte van de zandkorrels kleiner is dan de openingen in het geotextiel.



Figuur 4: De voorkomende belastingsgevallen op kust- en oeververdediging

2.3.2.4 Bepalen karakteristieke openingsgrootte

De karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel wordt bepaald met behulp van tabel 2. De tabel heeft een onderverdeling in fijn- en grof korrelige gronden. Naast fijn en grof korrelige gronden dient ook bepaald te worden of de grond stabiel of instabiel is. Een instabiele grond heeft niet de betekenis dat de grond van zichzelf instabiel is, maar het heeft betrekking op de mogelijkheid van uitspoelen van fijne korrels uit de grond. Het gaat hier in feite om een grond met een hoge korrel mobiliteit. Een instabiele grond heeft een hoge korrel mobiliteit wanneer het aan één van de volgende specificaties voldoet:

- De grond is fijnkorrelig (met een aanwezige korrelfractie < 0,06 mm) met een plasticiteitsindex kleiner dan 0,15 (geen cohesieve grond), indien de plasticiteitsindex niet bekend is kan de grond als probleem grond worden gezien als de kleikorrelfractie (hoeveelheid aan klei) minder dan 50 % van de siltkorrelfractie (hoeveelheid aan silt) is;
- 50 gewichtsprocenten van de korrels ligt tussen $0,02 < D_b < 0,1$ mm;
- Klei of slibhoudende grond met $C_u < 15$ ($C_u = d_{60} / d_{10}$).

Tabel 2: Ontwerpcriteria karakteristieke openingsgrootte

	Grondsoort			
	$D_{40} < 60 \mu\text{m}$		$D_{40} > 60 \mu\text{m}$	
	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 $O_{90} < D_{90}$	$O_{90} < 5 * D_{10} * \sqrt{(C_u)}$ en $O_{90} < 2 * D_{90}$	$O_{90} < 5 * D_{10} * \sqrt{(C_u)}$ en $O_{90} < D_{90}$
Dynamische belasting	$O_{90} < D_{90}$ en $O_{90} < 300 \mu\text{m}$		$O_{90} < 1,5 * D_{10} * \sqrt{(C_u)}$ en $O_{90} < D_{50} < 500 \mu\text{m}$	
Dynamische belasting met een niet aanliggend geotextiel	$O_{95} < 0,5 * D_{85}$ en $O_{95} < 300 \mu\text{m}$		$O_{95} < 1,5 * D_{10} * \sqrt{(C_u)}$ en $O_{95} < 300 \mu\text{m}$	

De karakteristieke openingsgroottes O_{90} en O_{95} , zijn niet gebaseerd op fysische fenomenen, maar op empirische formules. Dit heeft verder geen invloed op het ontwerp van de karakteristieke filteropening van het geotextiel. Volgt er een O_{90} uit het ontwerp dan zal deze aan de fabrikant gevraagd worden, volgt er een O_{95} uit het ontwerp dan dient deze aan de fabrikant gevraagd te worden.

2.3.2.5 Minimale openingsgrootte van het geotextiel

Op basis van de waterdoorlatendheid, vermindering van de doorlatendheid en de aantoonbaarheid door de fabrikant is er een eis gesteld aan de minimale karakteristieke openingsgrootte. De minimale karakteristieke openingsgrootte bedraagt $70 \mu\text{m}$. Indien er een kleinere karakteristieke openingsgrootte wordt toegepast, betekent dit dat de waterdoorlatendheid dusdanig klein is dat er water- overdruk en onderdruk in de dijk zal ontstaan. Dat zal leiden tot falen van de dijkconstructie. Daarnaast zal een kleinere karakteristieke openingsgrootte leiden tot verhoogde kans op vermindering van de doorlatendheid, waarbij de functionaliteit niet meer gewaarborgd kan worden. Tevens is het niet mogelijk door de fabrikant om aantoonbaar een karakteristieke openingsgrootte te leveren die kleiner is dan $70 \mu\text{m}$.

2.3.3 Waterdoorlatendheid

Het doorlatend zijn van het geotextiel is van cruciaal belang voor het voorkomen van overdrukken. In combinatie met de grondichtheid wordt een filter verkregen dat waterdoorlatend is en ervoor zorgt dat het basismateriaal niet uitspoelt. Uit testen zal moeten blijken of het gekozen geotextiel voldoet, echter hierover meer in hoofdstuk 5. In deze paragraaf wordt nader ingegaan over het stellen van eisen aan de waterdoorlatendheid van een geotextiel door middel van rekenregels. In bijlage 5 is beschreven hoe de bepaling van waterdoorlatendheid op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

2.3.3.1 Algemeen

In de Nederlandse waterbouw worden geotextielen toegepast om gronduitspoeling te voorkomen waardoor eisen worden gesteld aan de grondichtheid. Echter om overdrukken te voorkomen dient het geotextiel waterdoorlatend te zijn, namelijk groter dan de doorlatendheid van de ondergrond. Fenomenen als blocking en clogging die voor een reductie van de waterdoorlatendheid zorgen

dienen hiervoor te worden voorkomen. De praktijk leert echter dat hier niet aan te ontkomen is waardoor maatregelen genomen moeten worden zodat de invloeden toelaatbaar of nihil zijn.

Doordat een deel van de ondergrond wegspoelt en in het geotextiel terecht komt wordt na verloop van tijd de waterdoorlatendheid tijdens de gebruiksfase gereduceerd. Door een doorlatendheid toe te passen die enkele malen groter is dan van de ondergrond wordt een marge gecreëerd voor de reductie van de waterdoorlatendheid. Afhankelijk van de grondsoort is er meer of minder gevaar voor reductie van de waterdoorlatendheid.

2.3.3.2 Bepalen waterdoorlatendheid

Voor het bepalen van de waterdoorlatendheid van het geotextiel dient de doorlatendheid van de ondergrond waarop het geotextiel wordt toegepast bekend te zijn. Door middel van de uniformiteitscoëfficiënt C_u kan de doorlatendheid van de desbetreffende grond worden bepaald. Uit een zeefanalyse van de ondergrond kan de uniformiteitscoëfficiënt worden bepaald. Er geldt:

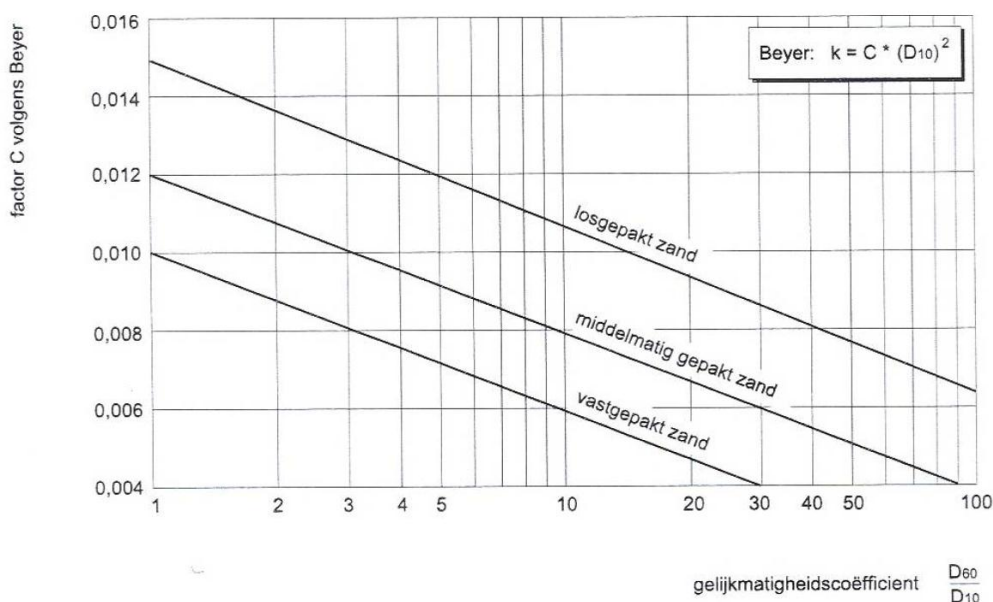
$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \mathbf{1}$$

waarin:

- C_U uniformiteitscoëfficiënt [-]
- D_{60} effectieve korrel diameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 60% de zeef passeert [m]
- D_{10} effectieve korrel diameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert [m]

Op basis van de uniformiteitscoëfficiënt van de grondsoort wordt onderscheid gemaakt in niet-uniforme en uniforme grondsoorten. Vervolgens kan voor beide grondsoorten de waterdoorlatendheid worden bepaald.

Voor niet-uniforme grondsoorten ($C_u > 5$) geldt bepaling van de waterdoorlatendheid op basis van de methode van Beyer [2]. Aan de hand van de uniformiteitscoëfficiënt kan nu de factor volgens Beyer worden bepaald met behulp van de figuur 5.



Figuur 5: Doorlatendheid zand volgens Beyer [2]

De doorlatendheid van de ondergrond kan worden berekend met de volgende formule [2]:

$$k_p = c_B \cdot (D_{10})^2 \quad 2$$

waarin:

- k_p doorlatendheid basismateriaal [m/s]
- c_B factor volgens Beyer (zie figuur 5) [-]
- D_{10} effectieve korrel diameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert [mm]

Voor uniforme grondsoorten ($C_u \leq 5$) geldt:

$$k_{grond} = 1,5 \cdot D_{10}^2 \quad [m/s] \quad (D_{10} \text{ in cm, } k \text{ in m/s}) \quad 3$$

Aan de hand van de korrelgradering voortkomend uit de zeefkromme wordt de veiligheidsfactor bepaald die garantie biedt voor het behouden van de waterdoorlatendheid tijdens de gebruiksfase.

Voor de veiligheidsfactor c_m worden door veel onderzoekers de volgende waarden gegeven:

- *Stationaire stroming*: Indien gevaar voor blocking en/of clogging bestaat wordt voor c_m een acceptabele waarde van 10 aangehouden. Een waarde voor c_m van 2 à 3 is voldoende wanneer geen gevaar voor dichtslibben bestaat.
- *Niet-stationaire stroming*
 - Voor niet-cohesief materiaal geldt $c_m = 10$.
 - Voor cohesief materiaal geldt $c_m = 100$.
- Er geldt een c_m van 16 – 20 voor een niet-cohesief basismateriaal bij grote hydraulische gradiënten.

Bovenstaande waarden worden wereldwijd toegepast en zijn bedoeld als waarden waarop men zich kan richten wanneer het basismateriaal voldoet aan de bijbehorende voorwaarden. Vervolgens kan met onderstaande formule de waterdoorlatendheid van het geotextiel worden berekend.

$$k_{geotextiel} = c_m \cdot k_{grond} \quad [m/s] \quad 4$$

De waterdoorlatendheid van het geotextiel wordt in deze test aangeduid als de permittiviteit ψ . Met behulp van de volgende formule kan de permittiviteit vertaald worden naar een k-waarde:

$$\psi = \frac{k_n}{t_g} \quad 5$$

waarin:

- ψ permittiviteit [1/s]
- k_n loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s]
- t_g dikte van het geotextiel [m]

2.4 Geavanceerde methode

Op basis van deskundigen en onderzoeken meer kunnen nauwkeurige ontwerpeisen voor het geotextiel worden verkregen dan bij de eenvoudige of gedetailleerde methode.

2.4.1 Algemeen

Bij extreme omgevingscondities waarbij er vraagtekens zijn bij de eisen die volgen uit de gedetailleerde methode, zoals bij omgevingscondities nabij de Oosterscheldekering. Dient er op basis van deskundigen en laboratoriumproeven of modelproeven, bepaald te worden welke eigenschappen het geotextiel moet bevatten. De eigenschappen die kenmerkend zijn voor filter- en of scheidingsfunctie waar er in dit rapport op in wordt gegaan zijn, gronddichtheid en waterdoorlatendheid.

Gedurende de gebruiksfase dient het geotextiel te allen tijde voldoende grond dicht en waterdoorlatend te zijn, om uitspoeling van korreldeeltjes uit de onderliggende basislaag te voorkomen en wateroverdrukken en –onderdrukken te voorkomen. Zo ook bij kunstwerken waar extreme omgevingscondities aanwezig zijn. Indien het geotextiel niet grond dicht en/of waterdoorlatend is, zal de (dijk)constructie bezwijken. Hier kan om deze reden niet van aannames en schattingen worden uitgegaan, maar dienen proeven en onderzoeken te worden uitgevoerd, die een nauwkeurige eis aan de functionaliteit van het geotextiel stellen. Deze onderzoeken en proeven moeten worden uitgevoerd door gecertificeerde instituten. Bij raadpleging van een deskundige wordt geacht dat deze werkzaam is bij een gerenommeerde instelling of organisatie, waarbij geotextielen nadrukkelijk van toepassing zijn. Het bepalen van de gronddichtheid en de waterdoorlatendheid van het geotextiele doek conform de geavanceerde methode wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht.

2.4.2 Gronddichtheid

De gronddichtheid van het geotextiele doek is afhankelijk van de korrelverdeling van de ondergrond. Daarnaast zijn eigenschappen als de cohesie en de plasticiteit ook van belang voor de gronddichtheid. Het grond dicht zijn van een geotextiel doek betekent in het kader van deze publicatie dat afhankelijk van de omstandigheden een bepaalde mate aan korrelfractie door het geotextiele doek heen mag. De voornaamste reden hiervoor is het creëren van een natuurlijk filter waardoor een stabiel filter wordt verkregen. Hiervoor moet een optimalisatie worden gevonden tussen de hoeveelheid grond die mag uitspoelen en de snelheid waarbij een natuurlijk filter ontstaat. Als het ontstaan van een natuurlijk filter (stabiel filter) veel tijd inneemt betekent dit dat er veel materiaal is uitgespoeld waardoor het geotextiel een te grote openingsgrootte heeft. De waterdoorlatendheid van het geotextiel dient echter wel groter te worden gehouden dan die van de ondergrond, zie paragraaf 2.2.3.2.

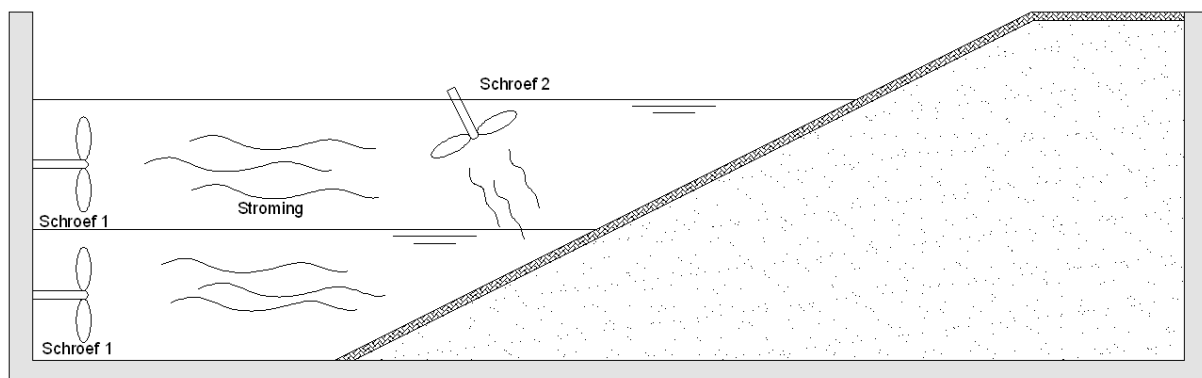
Voor het verkrijgen van een betrouwbare benadering van de meest geschikte gronddichtheid van het geotextiele doek zal deze moeten worden gebaseerd op gegevens vanuit de locatie van verwerking. De eerder benoemde proeven en testen zoals de zeefkromme-analyse zijn niet afdoende.

Aanbevolen wordt om de eigenschappen van de grond te laten onderzoeken in laboratoria of onderzoekscentra. Om een goed beeld te krijgen van de ondergrond moeten meerdere monsters worden genomen dan bij de eenvoudige of gedetailleerde methode. Hiervoor zijn richtlijnen opgenomen voor de hoeveelheid en soort van bodemonderzoek [3]. Hierbij dient men echter zich te realiseren dat in deze publicatie richtlijnen zijn opgenomen en dat het bodemonderzoek moet worden afgestemd op kosten en risico's. Daarnaast hangt het aantal ook af van de resultaten, namelijk bij grotere verschillen dienen meerder monster te worden genomen dan bij een homogene ondergrond. Hierbij moet in ieder geval onderzoek worden gedaan naar de volgende eigenschappen:

- Korrelgrootteverdeling;
- Ongedraineerde schuifsterkte (alleen de cohesie);
- Plasticiteitsindex (alleen klei).

Vervolgens kan met behulp van een deskundige op het gebied van grondmechanica na worden gegaan welke effecten het toepassen van een geotextiel doek heeft op de desbetreffende grond. Een deskundige beschikt over de kennis en ervaring om een analytische interpretatie te geven van het geotextiele doek in de desbetreffende constructie, en hierbij een advies te geven over het meest geschikte geotextiel voor de constructie. Het is belangrijk dat bij het geavanceerde ontwerp de grond dichtheid gerelateerd wordt aan de waterdoorlatendheid, zodat deze gewaarborgd blijft tijdens de gebruiksfase. Daarnaast kunnen modelproeven (extra t.o.v. eenvoudige of gedetailleerde methode) worden uitgevoerd waarbij het geotextiele doek met de desbetreffende grond wordt belast door de nagebootste werkelijke omstandigheden. Hierdoor wordt inzicht verkregen in het gedrag van het geotextiele doek op de desbetreffende grond en kan met het ontwerp hierop worden ingespeeld.

Het nabootsen van de werkelijke condities waarin het geotextiel verkeert is het voornaamste onderdeel van de modelproef. Onder de condities worden de ondergrond, hellingshoek en hydraulische invloeden verstaan. Voor de proef zal een geotextiel worden toegepast op een grondlichaam met een helling gelijk aan de projectsituatie. Door middel van schroeven (zie schroef één) kunnen de, op de projectlocatie optredende, stromingen worden nagebootst. Met schroef twee kan de belasting als gevolg van een scheepsschroef worden gemodelleerd. Daarnaast kan met behulp van de aan- en afvoer van het water de optredende variërende waterstanden worden gecreëerd. In figuur 6 wordt een weergave gegeven van een mogelijke opstelling voor de modelproef. De uitvoerder van de proef dient hierbij echter wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat: de schaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de schaalfactor en de onderbouwing van de proefresultaten vertaald naar de werkelijkheid. Hieruit volgt een inzicht van de toepassing van het geotextiel op de ondergrond waaruit een advies kan worden gegeven over het toe te passen geotextiel.



Figuur 6: Schematische weergave modelproef

2.4.3 Waterdoorlatendheid

De eis aan waterdoorlatendheid van het geotextiele doek is afhankelijk van de waterdoorlatendheid van de ondergrond. Naast de waterdoorlatendheid van de ondergrond zijn er andere aspecten zoals de cohesie van de ondergrond die van belang zijn voor het kunnen stellen van eisen aan de waterdoorlatendheid. Het waterdoorlatend zijn van een geotextiel doek betekent dat water in tegengestelde stromingsrichtingen het geotextiel kan passeren, zonder dat hierbij materiaal van het onderliggende grondlichaam wordt meegenomen. De korrelverdeling van de ondergrond is hierdoor van groot belang voor de aspecten zoals clogging en blocking die uitgeoefend worden op de waterdoorlatendheid. De fenomenen clogging en blocking zorgen voor een reductie van het waterdoorlatend vermogen van het geotextiel. Hierdoor dient een optimalisatie te worden verkregen tussen de waterdoorlatendheid van het geotextiel en de hoeveelheid toelaatbare fractie-uitspoeling.

In de gedetailleerde methode wordt de waterdoorlatendheid verkregen op basis van de zeefkromme-analyse. Echter voor het verkrijgen van een nauwkeurigere benadering van de waterdoorlatendheid van de ondergrond zullen laboriatesten moeten worden uitgevoerd op basis van monsters van de ondergrond vanuit de locatie van verwerking. Ook voor de waterdoorlatendheid wordt geadviseerd meerdere monsters te nemen. Hiervoor zijn richtlijnen opgenomen voor de hoeveelheid en soort van bodemonderzoek [3]. Ook hierbij dient men echter zich te realiseren dat in deze publicatie richtlijnen zijn opgenomen en dat het bodemonderzoek moet worden afgestemd op kosten en risico's. Voor het analyseren van de benodigde waterdoorlatendheid van het geotextiel moeten in ieder geval de volgende eigenschappen van de ondergrond bekend zijn, namelijk:

- Korrelgrootteverdeling;
- Ongedraineerde schuifsterkte (cohesie);
- Waterdoorlatendheid van de grond.

Het is van groot belang dat de analyse van de waterdoorlatendheid wordt gerelateerd aan de grondichtheid. Wanneer een grote waterdoorlatendheid benodigd is zal de openingsgrootte groter moeten zijn waardoor, afhankelijk van de gekozen openingsgrootte, bij een wijd gegradeerde korrelgrootteverdeling een grote hoeveelheid aan kleine korrelfractie zal uitspoelen. Aanbevolen wordt om een deskundige op het gebied van grondmechanica met kennis van de dijkenbouw een analyse te laten uitvoeren, met betrekking tot de benodigde waterdoorlatendheid van het geotextiel. In deze analyse moet worden ingegaan op invloeden zoals blocking en clogging die voor een reductie van de waterdoorlatendheid zorgen, waar uiteindelijk een advies uit voortkomt voor de waterdoorlatendheid. Voor de analyse kan gebruik gemaakt worden van de schematische opstelling zoals weergegeven in figuur 6. De uitvoerder van de proef dient hierbij echter wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat: de schaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de schaalfactor en de onderbouwing van de proefresultaten vertaald naar de werkelijkheid. Hieruit volgt de invloed van het geotextiel dat op het grondlichaam zal worden toegepast, waaruit een advies kan worden gegeven over het toe te passen geotextiel.

3. Robuustheid

In deze publicatie wordt ingegaan op geotextielen in dijk- en oeververdedigingen die een filterfunctie vervullen. Wanneer het geotextiel volgens de testen voldoet aan de eisen gesteld vanuit deze filterfunctie, kan deze worden aangebracht op de plaats van bestemming. De fase vanaf het construeren van het geotextiel (zinkstuk) tot aan de gebruiksfase wordt aangeduid als de uitvoeringsfase. In deze fase zorgen onder andere het vallen van stenen, het transporteren van het geotextiel, etc. voor belastingen op het geotextiel. Om niet te bezwijken als gevolg van deze belastingen dient het geotextiel een bepaalde weerstand te hebben. De weerstand tegen de belastingen wordt ook wel de robuustheid van het geotextiel genoemd. Ten gevolge van de uitvoeringsfase worden op een drietal niveaus eisen gesteld aan de robuustheid van het geotextiel.

3.1 Algemeen

De uitvoeringsfase waarin het geotextiel blootgesteld wordt aan diverse belastingen is afhankelijk van de wijze waarop het geotextiel wordt aangebracht. De uitvoering in den natte is geheel anders dan in den droge. Hierdoor werken er andere belastingen op de geotextiele doeken waarmee rekening moet worden gehouden. Aan het geotextiele doek worden verschillende eisen gesteld waarmee de robuustheid wordt gewaarborgd. Kenmerkende eigenschappen van de robuustheid waarop wordt ingegaan zijn de treksterkte, slijtsterkte, doorponsweerstand, perforatieweerstand en het rekvermogen. Bij het bepalen van de eisen aan de robuustheid van het geotextiel zal indien nodig verschillende berekeningen moeten worden uitgevoerd ten gevolge van de uitvoeringsmethode.

Het drietal niveaus waarin eisen worden gesteld aan de robuustheid van het geotextiel bestaat uit de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde methode. De eenvoudige methode bestaat uit het verkrijgen van eisen door middel van tabellen. Waarden die vanuit deze methode worden gehanteerd bevatten een hoge veiligheidsmarge in vergelijking met de gedetailleerde en geavanceerde methode. Bij de gedetailleerde methode wordt aan de hand van berekeningen de exacte eisen bepaald met betrekking tot de robuustheid. Wanneer berekeningen niet toereikend zijn, door het ontbreken van gegevens of om inzicht te krijgen in bepaalde processen die door middel van berekeningen niet kunnen worden aangetoond, wordt de geavanceerde methode toegepast.

In dit hoofdstuk van de publicatie kan een ontwerp worden gemaakt voor de robuustheid van het geotextiel door middel van het stellen van eisen aan de materiaaleigenschappen. Hierbij wordt alleen ingegaan op geotextiele doeken die onder een waterdoorlatende toplaag wordt toegepast (geometrisch dicht ontwerp). Daarnaast dienen deze geotextiele doek alleen een filter- en/of scheidingsfunctie te vervullen. Op de overige functies van deze doeken wordt in deze ontwerprichtlijn niet ingegaan.

3.2 Eenvoudige methode

Op basis van grove aannames en bepaling van eigenschappen kan door middel van tabellen op een snelle en eenvoudige wijze ontwerpeisen voor het geotextiel worden verkregen. In bijlage 3 is beschreven hoe de bepaling van robuustheid op basis van de eenvoudige methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen. Hierbij is gebruik gemaakt van de opgestelde rekenregels voor de gedetailleerde methode.

3.2.1 Algemeen

Het ontwerp op basis van de eenvoudige methode gaat in op een viertal materiaaleigenschappen van het geotextiel. Aan de hand van het bekledingsmateriaal worden verschillende eisen gesteld aan deze materiaaleigenschappen. Eigenschappen van deze bekledingsmaterialen staan vermeld in de CEN-ISO norm EN ISO 13383. Daarnaast is ook de wijze van uitvoering van belang omdat bij de aanleg

in den natte de transportbelastingen zeer hoog kan zijn, terwijl in de uitvoering in den droge voornamelijk het aanbrengen van het bekledingsmateriaal maatgevend is.

Het ontwerpen van de robuustheid van het geotextiel op basis van de tabellen in de eenvoudige methode is toepasbaar voor zowel weefsels als vliezen. Hierbij wordt uitgegaan dan dynamisch hydraulische belastingen omdat deze een grotere belasting leveren dan statisch hydraulische belastingen.

3.2.2 Robuustheid

Vanuit het ontwerp voor de bekledingsconstructie van een dijk- of oeververdediging is bekend welke materiaal wordt toegepast en op welke wijze deze worden aangebracht. In deze methode wordt uitgegaan van standaard bekledingsmaterialen. Voor breuksteen wordt uitgegaan van de materialen zoals aangegeven in tabel 3 met een dichtheid van 2.650 kg/m³. Voor steenzetting wordt uitgegaan van materialen zoals basaltblokken, Haringmanblokken, etc. met een dichtheid van 2.300 kg/m³. Worden andere materialen toegepast dan voorgaande dan wordt geadviseerd om het ontwerp te maken conform de gedetailleerde (zie 3.3) en/of geavanceerde methode (zie 3.4).

Tabel 3: Ontwerpeisen aan de robuustheid van het geotextiel

Nr.	Materiaaleigenschap		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)		≥ 9,0 ¹	≥ 11,0 ¹	≥ 14,0 ¹	≥ 14,0 ¹	
2	Doorponsweerstand ²		Materieel			≥ 9	≥ 10
			Golfslag			≥ 6	≥ 1,5
3	Rekvermogen	In den droge (%)	≥ 66,0	≥ 66,0	≥ 66,0	≥ 6	
		In den natte (%)	≥ 32,0	≥ 32,0	≥ 32,0	-	
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 voor waterbouwsteen een treksterkte van 9,0 kN/m en voor zetsteen een treksterkte van 13 kN/m kan worden aangehouden.

² In de uitvoering in den natte wordt geen zetsteen toegepast.

De robuustheid van het geotextiel wordt door het voldoen aan de waarden uit tabel 3 gewaarborgd tijdens de uitvoeringsfase wanneer uitgegaan wordt van standaardsituaties. De eis gesteld aan de slijtsterkte in tabel 3 van het geotextiel is toepasbaar op zowel weefsels als vliezen.

De eisen in tabel 3 zijn geldig voor geotextielen die onder een beschermingslaag worden toegepast op hellingen van 1:2 of flauwer. Bij steilere hellingen dienen de benodigde trekkrachten gescheiden te worden bepaald door middel van de gedetailleerde methode.

Bij aanbrenging van een geotextiel in den natte wordt gebruik gemaakt van een zink- of kraagstuk. Bij toepassing van een zink- of kraagstuk kunnen eveneens de waarden van de eisen worden gehanteerd uit tabel 3. Het zink- of kraagstuk wordt in de standaard situatie uitgerust met een wiepenroosterwerk. Daarnaast wordt uitgegaan van een minimale breedte van 25 meter van de zink- of kraagstukken. Bij kleinere breedtes of bij meerdere lagen aan wiepen wordt aanbevolen deze te ontwerpen volgens de gedetailleerde methode.

Bij toepassingen in den droge waarbij het geotextiel op een talud zonder teenconstructie langer dan 15 meter wordt toegepast, wordt aanbevolen de treksterkte te ontwerpen volgens de gedetailleerde en/of geavanceerde methoden.

Voor beide methoden, zowel uitvoering in den natte als in den droge, geldt dat de storthoogte niet groter mag zijn dan 2 meter. Bij afwijkende valhoogten zal de perforatieweerstand van het geotextiel moeten worden bepaald met behulp van de gedetailleerde en/of geavanceerde methode.

In verband met de belastingafdracht tijdens het manoeuvreren van groot materieel over de steenbekleding en het rekvermogen van het geotextiel geldt voor het maximale gewicht van een rupskraan 15 ton. Indien er een rupskraan moet worden toegepast die een grotere massa dan 15 ton dient te hebben, moet de gedetailleerde methode worden uitgevoerd om te bepalen welke eigenschappen aan het geotextiel vereist zijn.

3.3 Gedetailleerde methode

Door middel van rekenregels worden eisen verkregen aan de eigenschappen die leiden tot het ontwerp van een geotextiel. Verschil met de eenvoudige methode is dat een specifiek ontwerp wordt verkregen door gebruik van rekenregels en gemeten waarden. De onderbouwing van de gedetailleerde methode op basis van robuustheid voor perforatieweerstand is weergegeven in bijlage 6, voor doorponsweerstand zie bijlage 7, voor rekvermogen zie bijlage 8 en de treksterkte is weergegeven in bijlage 9.

3.3.1 Algemeen

Door het toepassen van de gedetailleerde wordt op basis van berekeningen eisen gesteld aan de eigenschappen van de robuustheid van het geotextiel, namelijk de treksterkte, doorponsweerstand, perforatieweerstand en het rekvermogen. Voor de slijtsterkte wordt de eis aangehouden die gesteld is in de eenvoudige methode. Hierdoor wordt het ontwerp toegespitst op de condities waaraan het geotextiel blootgesteld waardoor een nauwkeuriger ontwerp wordt verkregen. Vanuit financieel oogpunt kan het aantrekkelijk zijn om de gedetailleerde methode uit te voeren wanneer op een groot oppervlak een geotextiel dient toe te worden gepast. Met behulp van de gedetailleerde methode kan een ontwerp worden verkregen voor zowel vliezen als weefsels.

3.3.2 Perforatieweerstand

Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in de kust- en oeververdediging, dient gedurende de uitvoeringsfase weerstand te kunnen bieden tegen de kinetische energie (valenergie) geleverd door de te storten waterbouwsteen. In bijlage 6 is beschreven hoe de bepaling van perforatieweerstand op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

3.3.2.1 Algemeen

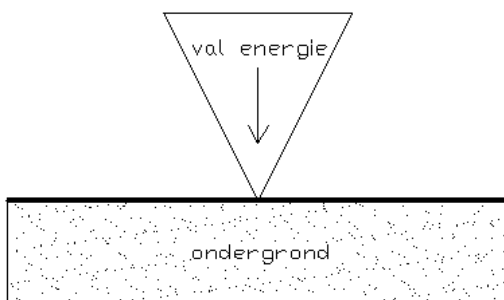
Het verschijnsel waarbij de valenergie wordt omgezet in indrukking van het geotextiel en de ondergrond wordt ook wel dynamische perforatie genoemd. Dynamische perforatie kan gaten veroorzaken in het geotextiel, waarbij na eventuele verschuiving van de steenbekleding het

geotextiel de functie gronddichtheid niet kan waarborgen. Dit leidt tot uitspoeling van de onderliggende basislaag, dat bezwijken van de dijk of dam tot gevolg heeft.

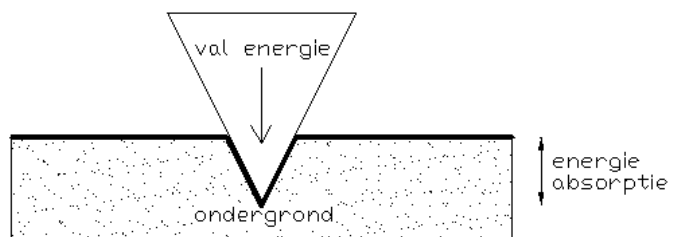
De werking van dynamische perforatie is als volgt: Vanaf een bepaalde hoogte wordt een waterbouwsteen losgelaten, deze waterbouwsteen bevat op het moment van loslaten potentiële energie. Tijdens het loslaten van de waterbouwsteen wordt de potentiële energie omgezet in kinetische energie (valenergie). Bij het treffen van de grond absorbeert de ondergrond de kinetische energie, waardoor indrukking van de waterbouwsteen in de ondergrond gereduceerd wordt door de negatieve versnelling geleverd door de ondergrond, zie figuur 7. Gedurende het moment van het raken van het geotextiel tot de uiteindelijke indrukking van de waterbouwsteen, dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond en is het niet toegestaan dat er gaten en scheuren waarneembaar zijn. Er zal een geotextiel moeten worden toegepast, waarbij een eis is gesteld aan de perforatie weerstand zodat dynamische perforatie van het geotextiel door steenbestorting belet wordt. Als algemene eis geldt:

Perforatie weerstand van het geotextiel > Valenergie geleverd door het waterbouwsteen

a) val energie



b) omzetten val energie in snelheids vertraging

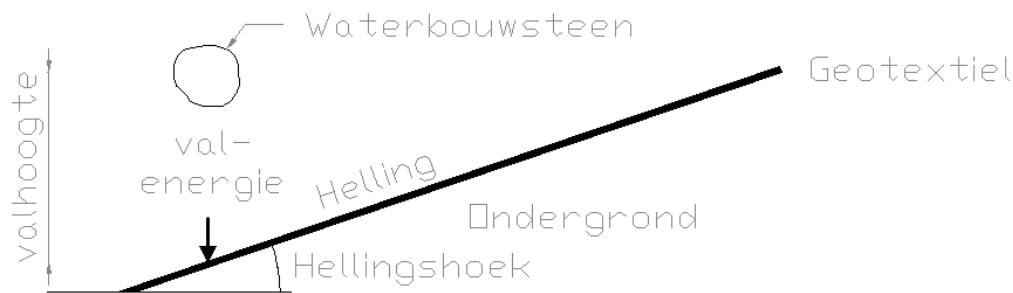


Figuur 7: Modellschets perforatie weerstand

De maatgevende situatie voor het bepalen van de perforatieweerstand van het geotextiel is bij een ingeklemd geotextiel waar vervolgens een enkele waterbouwsteen tussen wordt gestort. Ten opzicht van bulkstort is dat bij bulk stort in realiteit het geotextiel rondom niet is ingeklemd, waardoor het geotextiel mee kan vervormen over het gehele oppervlakte. Indien het geotextiel is ingeklemd kan het maar over een bepaald oppervlakte mee vervormen en zal in dit oppervlak de perforatie weerstand groter moeten zijn dan bij bulkstorten. Dynamische perforatie is zowel mogelijk gedurende uitvoering in den droge als uitvoering in den natte, hiervoor zijn echter verschillende condities van toepassing.

3.3.2.2 Uitvoering in den droge

De installatie van het geotextiel in den droge, geschiedt door eerst het geotextiel aan te brengen ter plaatse van verwerking en hier vervolgens de steenbekleding op aan te brengen. Indien dit gebeurt door middel van storten van waterbouwsteen is het geotextiel onderhevig aan een valenergie, die vrijkomt bij het treffen van het geotextiel en de ondergrond, zie figuur 8. De weerstand die het geotextiel moet leveren is niet alleen afhankelijk van de valenergie, maar ook van de draagkracht van de ondergrond.



Figuur 8: Schematische weergave valenergie in den droge

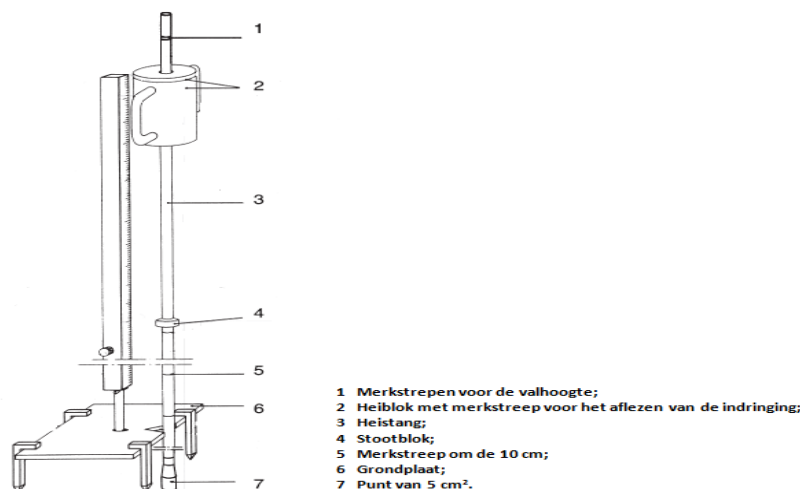
De valenergie die loodrecht op het geotextiel werkt kan berekend worden met behulp van formule 6:

$$E_N = 1,25 * m * g * h_{val} * c_r * \cos(\alpha) \quad 6$$

waarin:

- E_N valenergie loodrecht op het geotextiel [Nm]
- m maximale M_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [kg]
- g valversnelling [m/s^2]
- h_{val} valhoogte steen [m]
- c_r reductiefactor ondergrond [-]
- α hellingshoek [°]

In deze formule is een reductiefactor van de ondergrond toegevoegd, de draagkracht van de ondergrond werkt namelijk positief ten opzichte van de perforatie weerstand van het geotextiel ten opzichte van de valenergie. Er geldt namelijk hoe groter de draagkracht van de ondergrond, hoe groter de negatieve versnelling is, deze verkleint de indrukking van de waterbouwsteen. De draagkracht van de ondergrond wordt bepaald met behulp van de CBR-waarde van de ondergrond. De CBR-waarde is te bepalen met behulp van de proef met de lichte slagsonde, zie figuur 9. Deze proef is ontworpen om op een snelle en eenvoudige manier inzicht te krijgen in de draagkracht van de ondergrond, tot een geringe diepte. Tevens is het mogelijk om andere methoden te hanteren, maar hierbij moet wel duidelijk onderbouwd worden dat de CBR-waarde die volgt een nauwkeurig bepaalde waarde is. Er moet enkel van de slecht waterdoorlatende laag van de dijkconstructie een CBR-waarde bepaald worden. Deze is namelijk maatgevend voor het bepalen van de perforatieweerstand van het geotextiel.



Figuur 9: Lichte slagsonde

Een globale inschatting van de CBR-waarde kan gemaakt worden met de formule 7.

$$CBR\ waarde\ (\%) = 4 * C_s$$

7

waarin:

C_s conusweerstand [N/mm²]

Een exacte berekening van de CBR-waarde voor fijne gronden (leem en fijne zandsoorten), kan met behulp van formule 8 worden berekend.

$$\log CBR = -1,31 * \log X + 2,58$$

8

Een exacte berekening van de CBR-waarde voor grovere gronden, kan met behulp van formule 9 worden berekend.

$$\log CBR = -1,41 * \log X + 3,10$$

9

waarin:

X gemiddelde indringen per slag [mm]

$$X = \delta z / N$$

δz diepte van de indringen (\approx diepte van de slecht waterdoorlatende laag [mm])

N aantal bijbehorende slagen

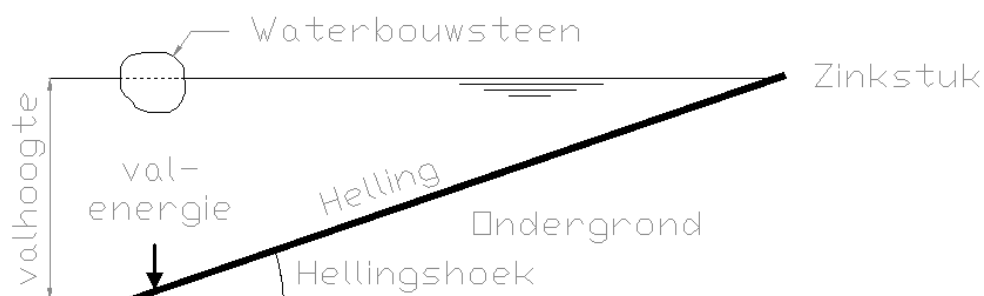
De berekende CBR-waarde moet omgezet worden naar een reductie factor, de reductiefactor is te bepalen met behulp van tabel 4.

Tabel 4: CBR-waarde met reductiefactor

Weerstand CBR-waarde (%)	Inclusief veiligheids-factor	Reductie factor (c_r)
0-20	0	1
20-40	10	0.9
40-60	20	0.8
60-80	30	0.7
80-100	40	0.6

3.3.2.3 Uitvoering in den natte

De installatie van het geotextiel in den natte, geschiedt door het zinkstuk af te zinken door het te bestorten met waterbouwsteen. Gedurende het bestorten is het geotextiel onderhevig aan een valenergie, die vrijkomt bij het treffen van het zinkstuk en de ondergrond, zie figuur 10. De valenergie geleverd door de waterbouwsteen is afkomstig van de evenwichtsnelheid van de waterbouwsteen in het water en zal geabsorbeerd worden door het geotextiel en de ondergrond.



Figuur 10: Omstandigheden t.b.v. perforatieweerstand in den natte

De valenergie die loodrecht werkt op het geotextiel kan berekend worden volgens formule 10

$$E_z = 0,625 * m * V_e^2 \quad 10$$

waarin:

- E_z de valenergie op het geotextiel [Nm]
- m maximale M_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [kg]
- V_e evenwichtssnelheid [m/s]

De evenwichtsnelheid is de snelheid waar de sleepkracht, de kracht die tegengesteld werkt aan de zwaarte kracht, in evenwicht is met de gewichtskracht van waterbouwsteen, de kracht die gelijk is aan de zwaartekracht. De evenwichtsnelheid van de waterbouwsteen kan met formule 11 worden berekend.

$$V_e = \sqrt{\frac{4 * \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}\right) * D * g}{3 * C_D}} \quad 11$$

waarin:

- V_e evenwichtssnelheid [m/s]
- ρ_s massadichtheid waterbouwsteen [kg/m³]
- ρ_w massadichtheid water [kg/m³]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- g versnelling zwaartekracht [m/s²]
- C_D sleepkrachtcoëfficiënt van de steen[-]

De sleepkrachtcoëfficiënt die van invloed is op de evenwichtsnelheid is een functie van het getal van Reynolds. De sleepkrachtcoëfficiënt van de waterbouwsteen wordt gelijk gesteld aan de sleepcoëfficiënt van een bol. De sleepkrachtcoëfficiënt is af te lezen uit tabel 5.

Tabel 5: Sleepkrachtcoëfficiënt $C_D = Re$

Waarden van C_D							
Voorwerp	Re						
	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
Bol	6,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Het getal van Reynolds wordt beïnvloed door de snelheid van de ongestoorde stroming, de diameter van het voorwerp en de kinematische viscositeit. Het getal van Reynolds kan berekend worden met formule 12.

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad 12$$

waarin:

- Re getal van Reynolds [-]
- v gemiddelde snelheid van een vloeistof [m/s]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- ν kinematische viscositeit [m²/s]

De kinematische viscositeit van water geeft de stroperigheid van deze vloeistof weer en staat in verband met de temperatuur van de vloeistof, in tabel 6 is de kinematische viscositeit van water weergegeven met een bepaald temperatuur.

Tabel 6: Kinematische viscositeit van water

Temperatuur - t - (°C)	Kinematische viscositeit - ν - (m ² /s) x 10 ⁻⁶
0	1,787
5	1,519
10	1,307
20	1,004
30	0,801
40	0,658
50	0,553
60	0,475
70	0,413
80	0,365
90	0,326
100	0,294

3.3.3 Doorpons weerstand

Het geotextiel dat is aangebracht als filterconstructie onder de steenbekleding in de kust- en oeververdediging dient gedurende de uitvoeringsfase en gebruiksfase weerstand te kunnen bieden tegen doorpons belastingen, afkomstig van groot materieel en golfslag. In bijlage 7 is beschreven hoe de bepaling van doorponsweerstand op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

3.3.3.1 Algemeen

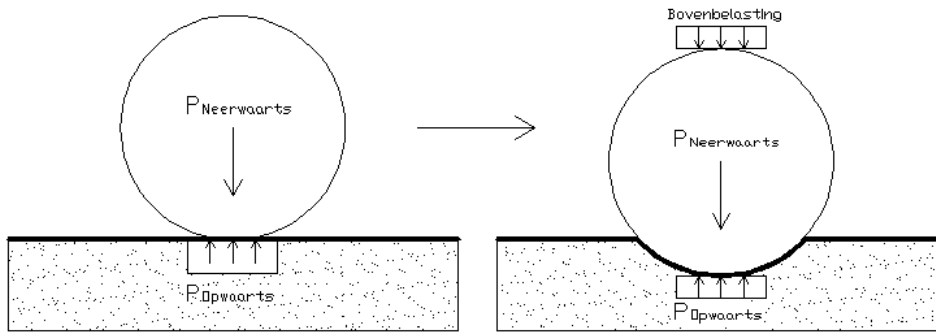
Het verschijnsel waarbij krachten geleverd worden op het geotextiel afkomstig van een belasting op de steenbekleding, wordt ook wel statische doorpons belasting genoemd. Statische doorpons kan gaten veroorzaken in het geotextiel, waarbij na eventuele verschuiving van de steenbekleding het geotextiel de functie gronddicht niet kan waarborgen. Dit leidt tot uitspoeling van de onderliggende basislaag, dat bezwijken van de dijk of dam tot gevolg heeft.

De werking van statische doorpons is als volgt: Wanneer er enkel een neerwaartse belasting van de steenbekleding werkt op de ondergrond, is de reactiekracht van de ondergrond in evenwicht met de verticale belasting afkomstig van de steenbekleding. Indien er grote belastingen op de steenbekleding voorkomen, waarbij de neerwaartse kracht groter is dan de reactiekracht van de ondergrond, zal de steenbekleding in feite naar beneden worden gedrukt, zie figuur 11. Deze indrukking is de resulterende kracht van de neerwaartse kracht en de reactiekracht, ofwel de doorpons kracht. Gedurende het doorpons proces dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond en is het niet toegestaan dat er gaten- en scheurvorming plaatsvindt. Er zal een geotextiel moeten worden toegepast, waarbij een eis is gesteld aan de doorpons weerstand zodat doorpons van het geotextiel door belasting van groot materieel en golfslag belet wordt. Als algemene eis geldt:

Doorpons weerstand van het geotextiel > Doorpons belasting op de steenbekleding

a) $P_{\text{Neerwaarts}} = P_{\text{Opwaarts}}$

b) $P_{\text{Neerwaarts}} > P_{\text{Opwaarts}}$

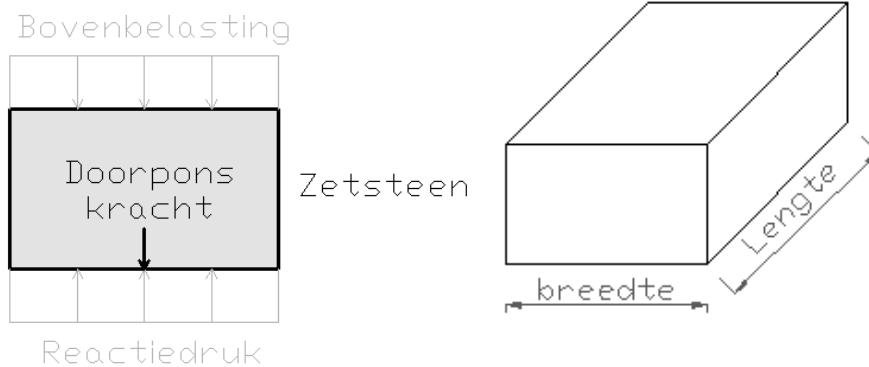


Figuur 11: Modellschets doorpons kracht

Voor doorponsweerstand van het geotextiel is onderscheid gemaakt in een steenbekleding van zetsteen en een steenbekleding van waterbouwsteen. Deze verschillende steenbekledingen stellen namelijk verschillende eisen aan het geotextiel. Voor het bepalen van de doorponskrachten afkomstig van groot materieel worden schranken en afremmen van het verplaatsende materieel buiten beschouwing gelaten.

3.3.3.2 Zetsteen bekleding

Het geotextiel dat wordt toegepast op een dam of dijk constructie is onderhevig aan belastingafdracht van groot materieel gedurende de uitvoering en belastingafdracht van golfslag gedurende de gebruiksfase. De belastingafdracht in combinatie met het gewicht van de steenbekleding zal gereduceerd worden door de draagkracht van de ondergrond, dit levert een totale doorpons kracht op het geotextiel. In figuur 12 is een schematisch weergave van zetsteen gegeven, waarbij de belastingen zijn gesitueerd.



Figuur 12: Belastingen op zetsteen

De doorponskracht die loodrecht op het geotextiel werkt afkomstig van groot materieel kan berekend worden met formule 13.

$$F_R = \cos(\alpha) * P_{\text{Neerwaarts}} * b^2 - P_{\text{Opwaarts}} * b^2 \tag{13}$$

De doorponskracht die loodrecht op het geotextiel werkt afkomstig van golfslag kan berekend worden met formule 14.

$$F_R = (P_{\text{golf}} + \gamma_{s1} * h_1 + \gamma_{s2} * h_2) * b^2 - P_{\text{Opwaarts}} * b^2 \tag{14}$$

Tevens geeft de verticale kracht afkomstig van de bovenbelasting en de steenbekleding, een kracht tot afschuiven van het geotextiel. Dit betekent dat er ook een trekkracht wordt geleverd, de trekkracht die geleverd wordt door groot materieel kan worden bepaald met behulp van formule 15 en de trekkracht die geleverd wordt door golfslag kan worden bepaald met behulp van formule 16. In de bijlagen 7 en 9 wordt de trekkracht die geleverd wordt tijdens de uitvoering nader behandeld.

$$F_t = \sin(\alpha) * P_{Neerwaarts} * b^2 \quad 15$$

$$F_t = \sin(\alpha) * (\gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} + \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)}) * b^2 \quad 16$$

waarin:

F_R	doorpons kracht [kN]
F_t	trek kracht [kN]
P_{Neer}	bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding [kN/m ²]
P_{Opw}	reactiekracht van de ondergrond [kN/m ²]
b	breedte van de zetsteen [m]
α	hellingshoek talud [°]
P_{golf}	golfbelasting [kN/m ²]
γ_s	volumieke massa zetsteen [kN/m ³]
h	laagdikte zetsteen [m]

De neerwaartse kracht (bovenbelasting) op het geotextiel dient bepaald te worden voor belastingafdracht door groot materieel en voor belastingafdracht door golfslag. De hoogste bovenbelasting die hieruit volgt is maatgevend.

3.3.3.2.1 Belastingspreidingsfactor

Een zetsteen bekleding wordt altijd aangebracht op een uitvullaag van granulair materiaal. De uitvullaag dient in feite als funderingslaag en draagt zorg voor een belastingspreiding van de bovenbelasting, waardoor de belasting beter verdeeld worden en zo de doorponskracht enigszins vermindert wordt. De richtwaarden voor de belastingspreidingsfactor voor funderingsmaterialen gelegen op ondergronden is weergegeven in tabel 7, hierbij is de grijs arceerde rij van toepassing bij een uitvullaag.

Tabel 7: Richtwaarden voor belastingspreidingsfactor e voor funderingsmaterialen gelegen op ondergronden

Funderingsmateriaal	CBR-waarde (%)	Spreidingsfactor e *
Onverdicht zand	< 5	0,25
Onverdicht ongebonden steenfundering	10	0,30
Opgespoten zand na verdichten	8 – 12	0,30
Fijne dekzanden na verdichting	12 – 18	0,35
Grindhoudend zand na verdichting	15 – 20	0,35
Zand gestabiliseerd met cement	25 – 50	0,40
Ongebonden steenfundering na verdichting	30 – 60	0,45
Hoogovenslakken na verdichting en binding	40 – 70	0,50

* $e = 0,25$; wil zeggen een spreiding van 4:1 (verticaal : horizontaal)

3.3.3.2.2 Belastingafdracht groot materieel

Gedurende de uitvoering zal het groot materieel manoeuvreren over de nieuw aangelegde bekleding op de constructie. Het maakt echter niet of de constructie zich bevindt onder helling voor de belastingafdracht van het groot materieel. Maatgevend is altijd dat het gehele gewicht van het groot

materieel gedragen wordt door één rups. De belastingafdracht aan één rupspan kan met behulp van formule 17 worden berekend.

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3} \quad 17$$

waarin:

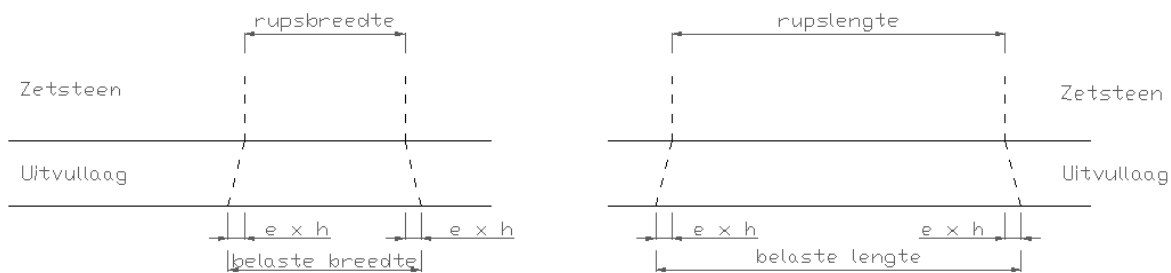
- F_{rups} belastingafdracht graafmachine aan één rupspan [kN]
- m massa graafmachine [kg]
- g valversnelling [m/s^2]

De maximum eis die moet worden gehanteerd voor de massa van de graafmachine, om te voorkomen dat er dusdanige doorpons krachten op het geotextiel optreden dat er geen enkel geotextiel voldoet is:

$$massa\ graafmachine \leq 22500\ kg$$

Zetsteen op een vlak deel

In figuur 13 is weergegeven hoe de rupsbreedte en lengte de belasting overdragen op de steenbekleding en met behulp van een belastingspreiding (e), waaruit de belaste breedte en lengte ter plaatse van het grensvlak tussen uitvullaag en geotextiel uit voortkomt.



Figuur 13: Belastingsvlak, zetsteen met uitvullaag vlak

De druk van de graafmachine en de steenbekleding op het totale belastingsvlak, in combinatie met de belastingspreiding van de uitvullaag is te berekenen met behulp van formule 18.

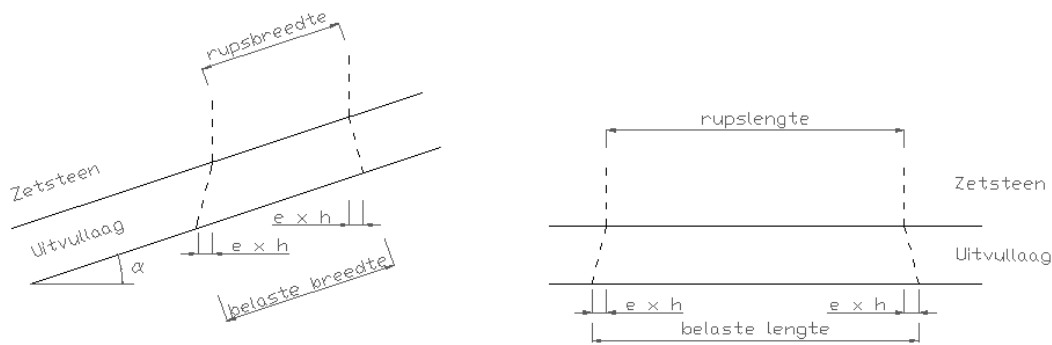
$$P_{N;mat} = \frac{F_{rups}}{(rupsbreedte+2*e*h_2)*(rups lengte+2*e*h_2)} + \gamma_{s;1} * h_1 + \gamma_{s;2} * h_2 \quad 18$$

waarin:

- $P_{N;mat}$ druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m^2]
- F_{rups} belastingafdracht graafmachine aan één rupspan [kN] (zie formule 17)
- $\gamma_{s;1}$ volumieke massa zetsteen [kN/m^3]
- h_1 laagdikte zetsteen [m]
- $\gamma_{s;2}$ volumieke massa uitvullaag [kN/m^3]
- h_2 laagdikte van de uitvullaag [m]

Zetsteen op een helling

In figuur 14 is weergegeven hoe de rupsbreedte en lengte de belasting overdragen op de steenbekleding en met behulp van een belastingspreiding (e), waaruit de belaste breedte en lengte ter plaatse van het grensvlak tussen uitvullaag en geotextiel uit voortkomt.



Figuur 14: Belastingsvlak, zetsteen met uitvullaag onder een helling

De druk van de graafmachine en de steenbekleding op het totale belastingsvlak, in combinatie met de belastingspreiding van de uitvullaag is te bereken met behulp van formule 19.

$$P_{N;mat} = \left(\frac{F_{rup}s}{(rupsbreedte + h * (\tan(\alpha) - \tan(\alpha - \arctan(e)))) + h * (\tan(\arctan(e) + \alpha) - \tan(\alpha)) * (rups lengte + 2 * e * h)} \right) + \gamma_{s;1} * \frac{h_1}{\cos(\alpha)} + \gamma_{s;2} * \frac{h_2}{\cos(\alpha)} \quad 19$$

waarin:

- $P_{N;mat}$ druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m^2]
- $F_{rup}s$ belastingafdracht graafmachine aan één rupspand [kN]
- $\gamma_{s;1}$ volumieke massa zetsteen [kN/m^3]
- h_1 laagdikte zetsteen [m]
- $\gamma_{s;2}$ volumieke massa uitvullaag [kN/m^3]
- h_2 laagdikte van de uitvullaag [m]
- e belastingspreidingsfactor van uitvullaag [-]
- α hellingshoek talud [$^\circ$]

3.3.3.2.3 Belastingafdracht golfslag

Gedurende de gebruiksfase is de dijk of dam boven de waterlijn onderhevig aan golfslag. Afhankelijk van de golfperiode en de golfhogte wordt er een grote belasting geleverd op de dijkbekleding, waarbij de krachten van invloed zijn op het geotextiel. Belastingen afkomstig van golfslag is enkel van toepassing op een constructie onder een helling. Bij golfslag op een vlakke constructie zal de golfbrekerparameter nul zijn, dit geeft een golfbelasting van nul. Er dient daarom enkel voor een constructie die zich onder een hellingshoek bevindt, de golfbelasting te worden bepaald. De golfbelasting op de constructie kan met behulp van formule 20 worden berekend.

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s \quad 20$$

waarin:

- P_{golf} golfbelasting [N/m^2]
- ρ_w massadichtheid water [kg/m^3]
- g versnelling zwaartekracht [m/s^2]
- H_s significante golfhogte [m]

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden met de formule 21.

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{C_{golf}} \quad 21$$

waarin:

- A_g een functie van de golfsteilheid en golf gradiënt (of breker index ξ) [-]
- ξ_{op} golfbrekerparameter [-]
- C_{golf} dempingsfactor golfslag [-]

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met de formule 22.

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_p^2}}} \quad 22$$

waarin:

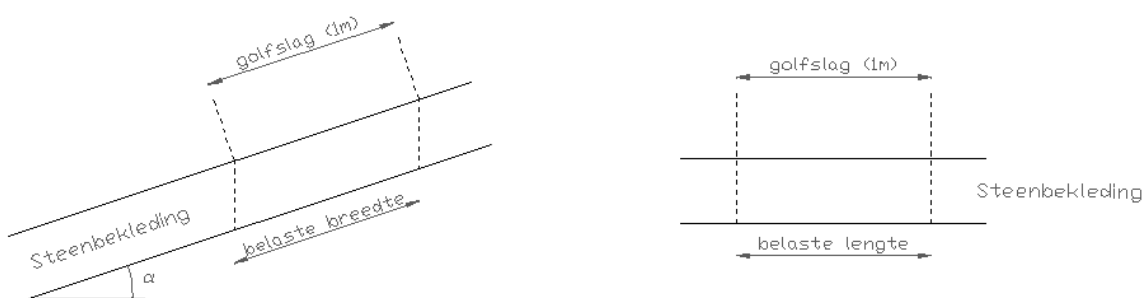
- ξ_{op} golfbrekerparameter [-]
- α hellingshoek talud [°]
- H_s significante golfhoogte [m]
- T_p golfperiode bij de piek van het golfspectrum [s]

De dempingsfactor van de constructie ten opzicht van golfslag is weergegeven in tabel 8. De factor is afhankelijk van de opbouw van de constructie, bij aanwezigheid van een filterlaag (van granulair materiaal) zal er een dempingsfactor moeten worden toegepast.

Tabel 8: Dempingsfactor golfslag

Opbouw kustverdediging	Dempingsfactor (C_{golf})
Enkel toplaag	1
Toplaag en filterlaag (granulair materiaal)	2

In figuur 15 is weergegeven hoe de golfslag (als oppervlakte 1 m² aanhouden) de belasting overdraagt op de steenbekleding, waaruit de belaste breedte en lengte ter plaatse van het grensvlak tussen steenbekleding en geotextiel uit voortkomt. Hier wordt geen rekening gehouden met een belastingspreiding, omdat hier een oppervlakte van 1 m² wordt beschouwd en rondom deze oppervlakte bevinden zich ook weer oppervlakten van 1 m² die de belastingspreiding opheffen.



Figuur 15: Belastingsvlak, steenbekleding onder een helling

De druk van de golfslag en de steenbekleding op het totale belastingsvlak is te bereken met behulp van formule 23.

$$P_{N;golf} = P_{golf} + \left(\gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} \right) \quad 23$$

waarin:

- $P_{N,golf}$ druk neerwaarts op het grensvlak [kN/m^2]
- P_{golf} golfbelasting [kN/m^2]
- γ_s volumieke massa steenbekleding [kN/m^3]
- h laagdikte steenbekleding [m]
- α hellingshoek talud [$^\circ$]

3.3.3.2.4 Reactiekracht ondergrond

De ondergrond waarop het geotextiel is aangebracht, levert een reactiekracht op het doorponen van de steenbekleding op het geotextiel. De reactiekracht die geleverd wordt door de ondergrond is afhankelijk van de draagkracht van de ondergrond. Hierbij geldt hoe groter de draagkracht, hoe groter de reactiekracht van de ondergrond, hoe kleiner de indrukking van de steenbekleding. De draagkracht van de ondergrond wordt aangegeven met de ongedraineerde schuifsterkte, deze is te bepalen met behulp van de proef met de lichte slagsonde zie figuur 9. Omdat de ondergrond altijd bestaat uit een verschillende samenstelling, is het niet mogelijk om zekerheid in te bouwen dat de gemeten draagkracht van de ondergrond de minimale draagkracht is. Zo kan er in een niet gemeten gebied een mindere draagkrachtige grond aanwezig zijn dan bij de gemeten draagkracht. Om deze reden dient er een veiligheidsfactor te worden toegevoegd. De veiligheidsfactor zal een waarde hebben van 0,75, dit geeft dan de formule 24.

$$P_{ondergrond} = F_{undr} * 0,75 \tag{24}$$

waarin:

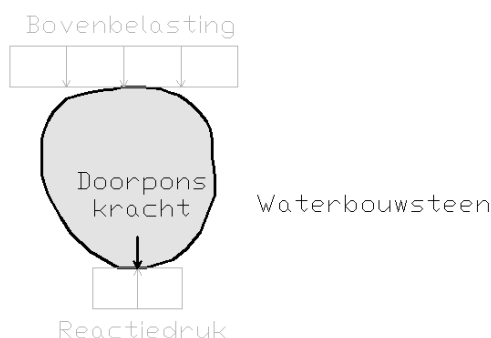
- F_{undr} Ongedraineerde schuifsterkte [kN/m^2]

De minimum eis die moet worden gehanteerd voor de ongedraineerde schuifsterkte van de ondergrond, om te voorkomen dat de doorpons kracht op het geotextiel zo groot wordt dat er geen enkel geotextiel voldoet is:

$$F_{undr} \geq 40 \text{ kN/m}^2$$

3.3.3.3 Waterbouwsteen bekleding

Het geotextiel dat wordt toegepast op een dam of dijk constructie is onderhevig aan belastingafdracht van groot materieel gedurende de uitvoering en belastingafdracht van golfslag gedurende de gebruiksfase. De belastingafdracht in combinatie met het gewicht van de steenbekleding zal gereduceerd worden door de draagkracht van de ondergrond, dit levert een totale doorpons kracht op het geotextiel. In figuur 16 is een schematisch weergave van waterbouwsteen gegeven, waarbij de belastingen zijn gesitueerd.



Figuur 16: Belastingen op waterbouwsteen

De doorponskracht die loodrecht op het geotextiel werkt afkomstig van groot materieel kan berekend worden met de formule 25.

$$F_R = \cos(\alpha) * \pi * d * \left(\left(\frac{P_{Neerwaarts} * D^2}{4 * d} \right) - \left(\frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \right) \quad 25$$

De doorponskracht die loodrecht op het geotextiel werkt afkomstig van golfslag kan berekend worden met formule 26.

$$F_R = \pi * d * \left(\frac{(P_{golf} + \gamma_s * h) * D^2}{4 * d} - \frac{P_{Opwaarts} * d}{4} \right) \quad 26$$

Tevens geeft de verticale kracht afkomstig van de bovenbelasting en de steenbekleding, een kracht tot afschuiven van het geotextiel. Dit betekent dat er ook een trekkracht wordt geleverd, de trekkracht die geleverd wordt door groot materieel kan worden bepaald met behulp van formule 27 en de trekkracht die geleverd wordt door golfslag kan worden bepaald met behulp van formule 28. In bijlagen 7 en 9 wordt de trekkracht die geleverd wordt tijdens de uitvoering nader behandeld.

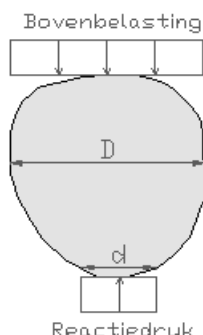
$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{Neerwaarts} * \pi * D^2}{4} \right) \quad 27$$

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{\sin(\alpha) * \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} * \pi * D^2}{4} \right) \quad 28$$

waarin:

- F_R doorponskracht [kN]
- P_{Neer} bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding [kN/m²]
- P_{Opw} reactiekracht van de ondergrond [kN/m²]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- d breedte van de waterbouwsteen ter plaatse van het grensvlak geotextiel ($d = D * 0,5$) [m]
- α hellingshoek talud [°]
- P_{golf} golfbelasting [kN/m²]
- γ_s volumieke massa breuksteen [kN/m³]
- h laagdikte breuksteen [m]

In figuur 17 is de maximale diameter van de waterbouwsteen en de diameter ter plaatse van het geotextiel schematisch weergegeven.



Figuur 17: Schematische weergave van waterbouwsteen en belasting

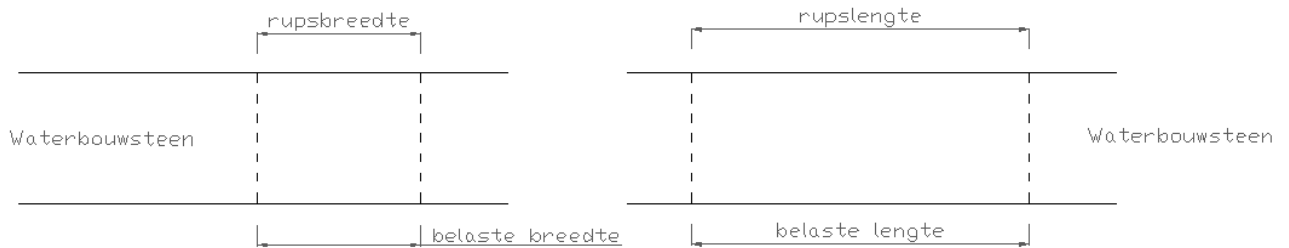
De neerwaartse kracht (bovenbelasting) op het geotextiel dient bepaald te worden voor belastingafdracht door groot materieel en voor belastingafdracht door golfslag.

3.3.3.3.1 Groot materieel

Gedurende de uitvoering zal het groot materieel manoeuvreren over de nieuw aangelegde bekleding op de constructie. Het maakt echter niet of de constructie zich bevindt onder helling voor de belastingafdracht van het groot materieel. Maatgevend is altijd dat het gehele gewicht van het groot materieel gedragen wordt door één rups. De belastingafdracht aan één rupsband kan met behulp van formule 17, zie paragraaf 3.3.3.2.2, worden berekend.

1.3.1.1 Waterbouwsteen op een vlak deel

In figuur 18 is weergegeven hoe de rupsbreedte en lengte de belasting overdragen op de steenbekleding, waaruit de belaste breedte en lengte ter plaatse van het grensvlak tussen uitvullaag en geotextiel uit voortkomt.



Figuur 18: Belastingvlak, breuksteen vlak

De druk van de rupskraan en de steenbekleding op het totale belastingvlak is te berekenen met behulp van formule 29.

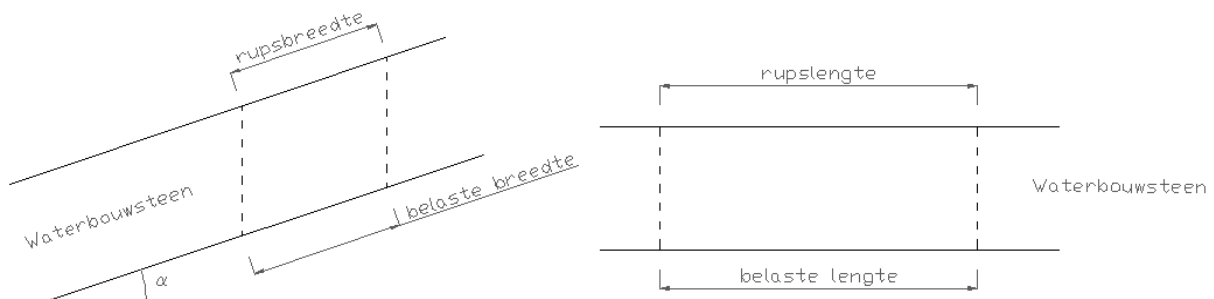
$$P_{N;mat} = \frac{F_{rups}}{rupsbreedte * rups lengte} + \gamma_s * h \quad 29$$

waarin:

- $P_{N;mat}$ druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m²]
- F_{rups} belastingafdracht graafmachine aan één rupsband [kN] (zie formule 17)
- γ_s volumieke massa breuksteen [kN/m³]
- h laagdikte breuksteen [m]

Waterbouwsteen op een helling

In figuur 19 is weergegeven hoe de rupsbreedte en lengte de belasting overdragen op de steenbekleding, waaruit de belaste breedte en lengte ter plaatse van het grensvlak tussen uitvullaag en geotextiel uit voortkomt.



Figuur 19: Belastingvlak, waterbouwsteen onder een helling

De druk van de graafmachine en de steenbekleding op het totale belastingsvlak is te berekenen met behulp van formule 30.

$$P_{N,mat} = \frac{F_{rups}}{rupsbreedte * rupslengte} + \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} \quad 30$$

waarin:

$P_{N,mat}$	druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m ²]
F_{rups}	belastingafdracht graafmachine aan één rupsband [kN]
γ_s	volumieke massa breuksteen [kN/m ³]
h	laagdikte breuksteen [m]
α	hellingshoek talud [°]

3.3.3.3.2 Golfslag

Gedurende de gebruiksfase is de dijk of dam boven de waterlijn onderhevig aan golfslag. Afhankelijk van de golfperiode en de golfhoogte wordt er een grote belasting geleverd op de dijkbekleding, waarbij de krachten van invloed zijn op het geotextiel. Belastingen afkomstig van golfslag is enkel van toepassing op een constructie onder een helling. Bij golfslag op een vlakke constructie zal de golfbrekerparameter nul zijn, dit geeft een golfbelasting van nul. Er dient daarom enkel voor een constructie die zich onder een hellingshoek bevindt, de golfbelasting te worden bepaald. Voor het bepalen van de golfbelasting zie formule 20, paragraaf 3.3.3.2.3.

De druk van de golfslag en de steenbekleding op het totale belastingsvlak is te berekenen met behulp van formule 23, paragraaf 3.3.3.2.3.

3.3.3.3.3 Reactiekracht ondergrond

Voor het bepalen van de reactiekracht van de ondergrond zie paragraaf 3.3.3.2.4.

3.3.4 Rekvermogen

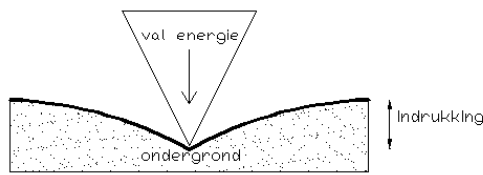
Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in de kust- en oeververdediging, dient gedurende de uitvoeringsfase te beschikken over een rekvermogen dat de gehele levensduur zal mee vervormen. In bijlage 8 is beschreven hoe de bepaling van het rekvermogen op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

3.3.4.1 Algemeen

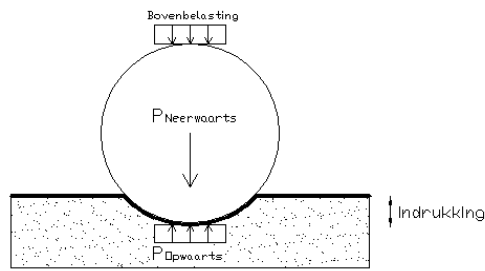
Indien het geotextiel en de ondergrond onderhevig zijn aan de verschijnselen perforatie en doorpons zal er een indrukking volgen van de steenbekleding in de ondergrond. Tijdens het proces waarbij indrukking plaatsvindt van de steenbekleding, dient het geotextiel mee te vervormen met de ondergrond om zo scheur- en gatenvorming te voorkomen. Dit mee vervormen van het geotextiel met de ondergrond, wordt ook wel de rek van het geotextiel genoemd, zie figuur 20. Om niet te bezwijken gedurende dit proces dient het geotextiel over een rekvermogen te beschikken, dit is de rek die het geotextiel moet kunnen ondergaan om te voldoen aan de eisen die gesteld worden. Als algemene eis geldt:

Rekvermogen van het geotextiel > Optredende rek bij vervorming geotextiel

b) rek bij penetratie



b) rek bij doorpons



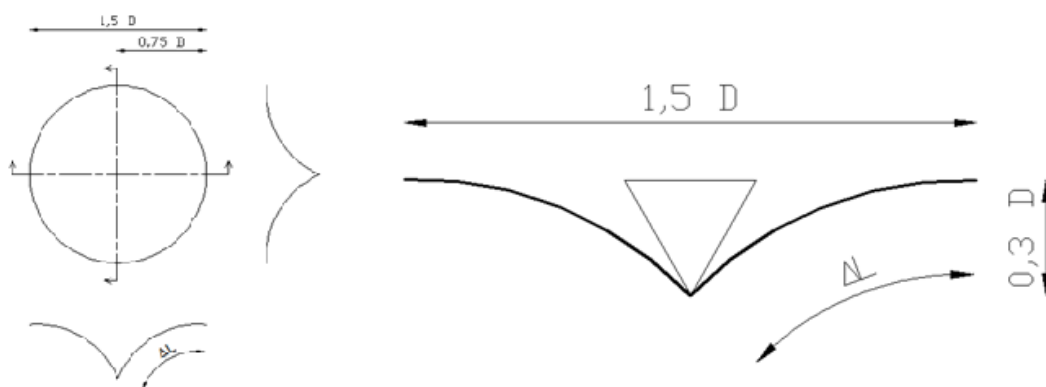
Figuur 20: Modellschets rekvermogen geotextiel

De fasen die kunnen worden beschouwd voor het bepalen van de rekvermogen van het geotextiel zijn hieronder weergegeven.

- Enkel onder invloed van perforatie;
- Enkel onder invloed van doorpons;
- Zowel onder invloed van perforatie als doorpons.

3.3.4.2 Rek onder invloed van perforatie

Tijdens het storten van het waterbouwsteen vanaf een bepaalde hoogte op het geotextiel, komt een dusdanige valenergie vrij die indrukking in de ondergrond veroorzaakt. Bij indrukking van de ondergrond dient het geotextiel mee te vervormen om zo gaten- of scheurvorming te voorkomen. In figuur 21 is een schematische weergave gegeven van de rek van een geotextiel in zowel een tweede dimensie als een enkele dimensie. De eis aan de indrukking van het geotextiel is gelijk aan 0,3 maal de diameter van de steen en de lengte van het geotextiel waarover de rek optreedt is over 1,5 maal de diameter.



Figuur 21: Schematische weergave rek onder invloed van perforatie

De rek van het geotextiel onder invloed van perforatie over een ingeklemd oppervlakte is te berekenen met formule 31.

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% \quad 31$$

waarin:

- ε_{opp} rekvermogen geotextiel over het gehele ingeklemde oppervlak[%]
- ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m²]
- A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m²]

De oppervlakte van het geotextiel in een vlakke positie is te bepalen met behulp van formule 32.

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi * Diameter^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5D)^2 \quad 32$$

waarin:

- A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m^2]
 D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]

Het bepalen van de oppervlakte bij vervorming van het geotextiel kan met behulp van formule 33.

$$\Delta A = \pi * \text{straal}^2 = \pi * \Delta L^2 \quad 33$$

waarin:

- ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m^2]
 ΔL lengte vervorming geotextiel [m]

De vervorming van het geotextiel kan bepaald worden als lengte van de kromming en is te berekenen met behulp van formule 34.

$$\Delta L = \frac{2\pi * R_{res} * 44}{360} \quad 34$$

waarin:

- ΔL lengte vervorming geotextiel [m]
 R_{res} vervormingsstraal [m]

De boogstraal van de vervorming van het geotextiel is te berekenen met formule 35.

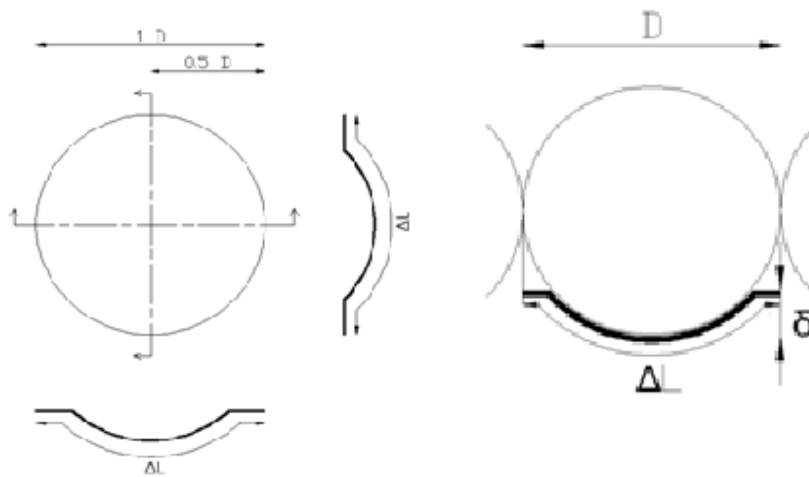
$$R_{res} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{((0,75 D)^2 + (0,3 D)^2)}}{\tan(\frac{1}{2}\gamma)} + \tan\left(\frac{1}{4}\gamma\right) * \frac{1}{2}\sqrt{((0,75 D)^2 + (0,3 D)^2)} \quad 35$$

waarin:

- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
 γ middelpuntshoek [°]

3.3.4.3 Rek onder invloed van doorpons

Tijdens het manoeuvreren van groot materieel op de steenbekleding en onder belasting afkomstig van golfslag, ontstaat er een resulterende kracht neerwaarts (doorpons kracht) die indrukking van de steenbekleding in de ondergrond veroorzaakt. Bij indrukking van de ondergrond dient het geotextiel mee te vervormen om zo gaten- of scheurvorming te voorkomen. In figuur 22 is een schematische weergave gegeven van de rek (vervorming) van een geotextiel in zowel een tweede dimensie als een enkele dimensie. De eis aan de lengte van het geotextiel waarover de rek optreedt is over 1,5 maal de diameter.



Figuur 22: Schematische weergave rek onder invloed van doorpons

De rek van het geotextiel onder invloed van doorpons over een ingeklemd oppervlakte is te berekenen met formule 36.

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% \quad 36$$

waarin:

ε_{opp} rekvermogen geotextiel over het gehele ingeklemde oppervlak[%]

ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m^2]

A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m^2]

De oppervlakte van het geotextiel in een vlakke positie is te bepalen met behulp van formule 37.

$$A_0 = \pi * R^2 \quad 37$$

waarin:

A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m^2]

R straal van de steen (te bepalen volgens formule 41) [m]

Het bepalen van de oppervlakte bij vervorming van het geotextiel kan met behulp van formule 38.

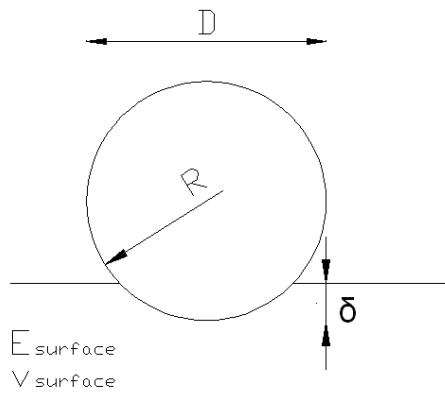
$$\Delta A = \frac{1}{4} \pi * \Delta L^2 \quad 38$$

waarin:

ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m^2]

ΔL lengte vervorming geotextiel (te bepalen volgens 41)[m]

De rek van het geotextiel is afhankelijk van de indrukingsdiepte van de zetsteen onder invloed van een doorpons belasting. In figuur 23 is een schematische weergave van de indrukking van de steen weergegeven.



Figuur 23: Schematische weergave indrukking van een steen

De indrukking van de steen is te bepalen volgens de formules 39 en 40 .

$$\delta = \left(\frac{3 \cdot F_N \cdot (1 - \nu_{surface}^2)}{4 \cdot E_{surface} \cdot \sqrt{R}} \right)^{2/3} \quad 39$$

$$F_N = P_{Neer} \cdot A_{steen} \quad 40$$

waarin:

- δ indrukkingsdiepte steenbekleding [m]
- P_{Neer} bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding, te bepalen in paragraaf 3.3.3 [N/m²]
- F_N bovenbelasting gedragen door een enkele steen inclusief gewicht steenbekleding, te bepalen volgens formule 40 [N]
- A_{steen} oppervlakte steen [m²]
- $E_{surface}$ elasticiteitsmodulus van de ondergrond [N/m²]
- $\nu_{surface}$ coëfficiënt van Poisson van de ondergrond [-]
- R straal van de steen [m]
- $\gamma_{s;1}$ volumieke massa zetsteen [kN/m³]
- h_1 laagdikte zetsteen [m]
- $\gamma_{s;2}$ volumieke massa uitvullaag [kN/m³]
- h_2 laagdikte van de uitvullaag [m]

Deze formule is gerelateerd aan een steen met een ronde vorm, indien het gaat om een steen met een vierkante vorm dient formule 41 gehanteerd te worden voor het bepalen van de straal. De ronde vorm wordt namelijk aangehouden om zo enkele afwijkingen van een steen te vereffenen.

$$R = \sqrt{\left(\frac{L \cdot b}{\pi} \right)} \quad 41$$

De rek van het geotextiel kan bepaald worden als lengte van de kromming en is te bepalen met behulp van formule 42.

$$\Delta L = R \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \gamma + (2R - k) \quad 42$$

waarin:

- ΔL lengte vervorming geotextiel [m]
- R straal van de steen (1/2*D) [m]
- γ middelpuntshoek [°]
- R straal van de steen [m]
- k lengte over de indrukking van de steen [m]

De lengte over de indrukking van de steen kan bepaald worden met formule 43 en de middelpuntshoek kan bepaald worden met behulp van formule 44.

$$k = 2 * \sqrt{(2R * \delta - \delta^2)} \quad 43$$

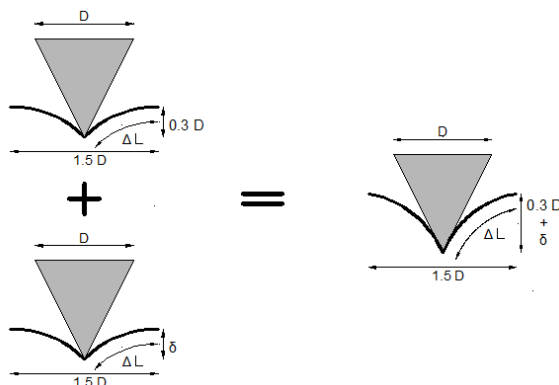
$$\gamma = 2 * \sin^{-1} \left(\frac{2 * \sqrt{(2R * \delta - \delta^2)}}{2R} \right) \quad 44$$

waarin:

- k lengte over de indrukking van de steen [m]
- δ indrukingsdiepte steenbekleding [m]
- R straal van de steen [m]
- γ middelpuntshoek [°]

3.3.4.4 Rek onder invloed van zowel perforatie als doorpons

Een constructie die boven laagwater niveau is gelegen en waarop een waterbouwsteen bekleding op wordt aangebracht. Zal het geotextiel in eerste instantie onderhevig zijn aan perforatie, aanbrengen van de steenbekleding, gedurende de perforatie dient het geotextiel een rekvermogen te bevatten waarbij het geotextiel niet bezwijkt. Nadat de steenbekleding is aangebracht kan het groot materieel manoeuvreren op de steenbekleding en zal gedurende de gebruiksfase de steenbekleding onderhevig zijn aan golfslag. Het geotextiel dient een rekvermogen te bevatten die tijdens perforatie met daarop komend een doorpons belasting niet zal bezwijken. In figuur 24 is een schematische weergave gegeven van de rek (vervorming) van een geotextiel bij zowel perforatie als doorpons en een combinatie van beiden.



Figuur 24: Schematische weergave rek onder invloed van zowel perforatie als doorpons

De rek van het geotextiel onder invloed van zowel perforatie als doorpons over een ingeklemd oppervlakte is te berekenen met formule 45.

$$\varepsilon_{opp} = \left(\frac{\Delta A}{A_0} - 1 \right) * 100\% \quad 45$$

waarin:

- ε_{opp} rekvermogen geotextiel over het gehele ingeklemde oppervlak[%]
- ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m²]
- A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m²]

De oppervlakte van het geotextiel in een vlakke positie is te bepalen met behulp van de formule 46.

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi * Diameter^2 = \frac{1}{4} \pi * (1,5D)^2 \quad 46$$

waarin:

- A_0 oppervlakte geotextiel in een vlakke positie [m²]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]

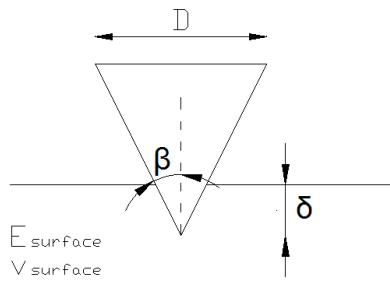
Het bepalen van de oppervlakte bij vervorming van het geotextiel kan met behulp van formule 47.

$$\Delta A = \pi * \text{straal}^2 = \pi * \Delta L^2 \quad 47$$

waarin:

- ΔA oppervlakte vervorming geotextiel [m²]
- ΔL lengte vervorming geotextiel (te bepalen volgens formule 50) [m]

De rek van het geotextiel is afhankelijk van de indrukingsdiepte van de zetsteen onder invloed van perforatie met daaropvolgend een doorpons belasting. In figuur 25 is een schematische weergave van de indrukking van de steen weergegeven.



Figuur 25: Schematische weergave indrukking van een puntige steen

De indrukking is te bepalen volgens formule 48.

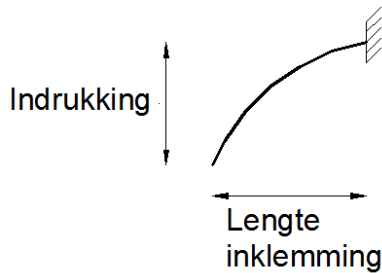
$$Z = 0,3 * D + \sqrt{\left(\frac{F_N * \pi * (1 - \nu_{surface}^2)}{2 * E_{surface} * \tan(\beta)}\right)} \quad 48$$

$$F_N = P_{Neer} * A_{steen} \quad 49$$

waarin:

- P_{Neer} bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding, te bepalen in paragraaf 3.3.3 [N/m²]
- F_N bovenbelasting gedragen door een enkele steen inclusief gewicht steenbekleding, te bepalen volgens formule 49 [N]
- A_{steen} oppervlakte steen [m²]
- $E_{surface}$ elasticiteitsmodulus van de ondergrond [N/m²]
- $\nu_{surface}$ coëfficiënt van Poisson van de ondergrond [-]
- β hoek van de punt met de zwaartekracht lijn = $\tan^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2}D}{D}\right) = 26,57$ [°]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- $\gamma_{s;1}$ volumieke massa zetsteen [kN/m³]
- h_1 laagdikte zetsteen [m]
- $\gamma_{s;2}$ volumieke massa uitvullaag [kN/m³]
- h_2 laagdikte van de uitvullaag [m]

Bij het bepalen van de vervorming van het geotextiel door de indrukking van het geotextiel wordt er onderscheidt gemaakt in de verhouding: lengte inklemming en indrukking (zie figuur 26)



Figuur 26: Schematische weergave inklemming

De verhoudingen zijn:

$$\begin{aligned} \text{Lengte inklemming } (0,75 D) &\geq \text{Indrukking } (Z) \\ \text{Lengte inklemming } (0,75 D) &< \text{Indrukking } (Z) \end{aligned}$$

De rek van het geotextiel die gerelateerd is aan de lengte van de kromming kan berekend worden bij de verhouding lengte inklemming \geq indrukking volgens formule 50.

$$\Delta L = D * \left(\frac{\pi}{180}\right) * 2 * \sin^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2} * \sqrt{(z^2 + (0,75D)^2)}}{D}\right) \quad 50$$

waarin:

- ΔL lengte vervorming geotextiel [m]
- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- z indrukkingdiepte steenbekleding [m]

De rek van het geotextiel die gerelateerd is aan de lengte van de kromming kan berekend worden bij de verhouding lengte inklemming $<$ indrukking volgens formule 51.

$$\Delta L = \frac{1}{3} L; \text{punt} + D * \left(\frac{\pi}{180}\right) * \gamma \quad 51$$

waarin:

$$L; \text{punt} = \frac{1}{3} * \left(\frac{z}{\sin(63,43)}\right)$$

- D maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
- γ middelpuntshoek [°]
- z indrukkingdiepte steenbekleding [m]

De middelpuntshoek is te bepalen met behulp van de formules 52, 53 en 54.

$$\gamma = 4 * \tan^{-1}\left(\frac{p}{k}\right) \quad 52$$

waarin:

$$p = \frac{1}{2} * \sqrt{((0,75D - 0,167z)^2 + (z - 0,333z)^2)} * \tan\left(\tan^{-1}\left(\frac{0,75D - 0,167z}{z - 0,333z}\right)\right) \quad 53$$

$$k = \sqrt{((0,75D - 0,167z)^2 + (z - 0,333z)^2)} \quad 54$$

3.3.5 Treksterkte

Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in de kust- en oeververdediging, dient gedurende de uitvoeringsfase te beschikken over een treksterkte, als gevolg van de trekkrachten die worden gecreëerd tijdens de uitvoerings- en gebruiksfase. In bijlage 9 is beschreven hoe de bepaling van de treksterkte op basis van de gedetailleerde methode voor de ontwerprichtlijn tot stand is gekomen.

3.3.5.1 Algemeen

Aan de hand van de fasen waarin het geotextiel zich bevindt kan de optredende trekkracht in het geotextiel worden bepaald. Eisen aan de trekkracht worden gesteld door middel van de kracht die het geotextiel minimaal dient te kunnen opnemen ten gevolge van werkende belastingen vanuit de gebruiks- en uitvoeringsfase. De uitvoeringsfase betreffende het aanbrengen van het geotextiel bestaat uit twee fasen, namelijk in den natte en in den droge. Bij beide methoden worden andere materialen en materieel gebruikt en worden deze op geheel andere wijze geconstrueerd waardoor andere belastingen optreden.

De fasen die bepalend zijn voor de treksterkte van het geotextiel zijn hieronder ingedeeld naar de fasen:

- Uitvoeringsfase
 - Zink- of kraagstuk van de zate aftrekken.
 - Transporteren van zink- of kraagstuk door water.
 - Plaatsen en zinken.
 - Treksterkte ten gevolge van doorpons.
- Gebruiksfase
 - Treksterkte ten gevolge van doorpons.

Er zal een geotextiel moeten worden toegepast, waarbij een eis is gesteld aan de treksterkte zodat bezwijken van het geotextiel door mogelijke trekkracht voorkomen wordt. Als algemene eis geldt:

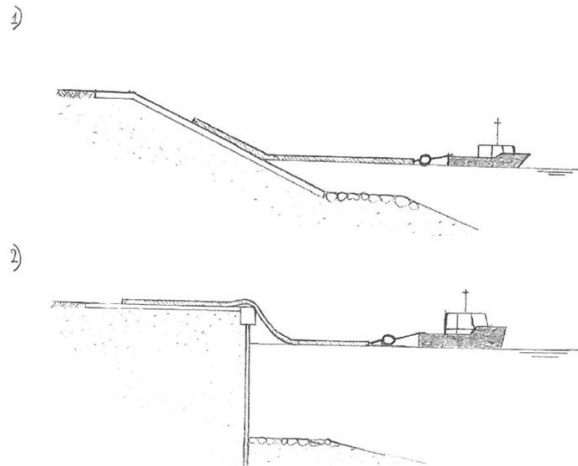
Treksterkte van het geotextiel > Trekkrachten vanuit gebruiks – en uitvoeringsfase

3.3.5.2 Uitvoeringsfase

De uitvoering van het aanbrengen van het geotextiel kan worden onderverdeeld in de uitvoering in den natte en in den droge. In de natte wordt gebruik gemaakt van een zink- of kraagstuk die aan wal wordt geconstrueerd voordat deze wordt afgezonken. De uitvoering in den droge bestaat de treksterkte die ontstaat ten gevolge van golfslag of van het materieel wat over de bekleding rijd, bijvoorbeeld een rupsgraafmachine. Beide uitvoeringswijzen leveren verschillende trekkrachten die als eis aan het geotextiel worden gesteld. In deze paragraaf wordt ingegaan op de bepaling van de trekkrachten ten gevolge van de maatgevende situaties.

3.3.5.2.1 Zink- of kraagstuk van de zate aftrekken

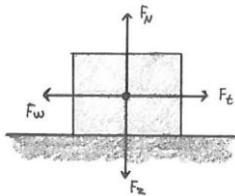
Voordat een zinkstuk (of kraagstuk) op de projectlocatie kan worden aangebracht dient deze aan wal te worden opgebouwd omdat dit op de locatie van verwerking niet mogelijk is. Hiervoor wordt vaak een terrein afgebakend verharding van asfalt of beton. Wanneer het mogelijk is wordt gebruik gemaakt van een flauw naar het water aflopend talud, echter onder andere omstandigheden zal situatie twee van figuur 27 aanwezig zijn. Gezien het feit dat de zate met helling een kleinere trekkracht oplevert worden voor beide situaties andere formules gehanteerd.



Figuur 27: Type zate (met en zonder helling)

Zate zonder helling:

Wanneer er sprake is van type zate 2 (zie figuur 28) ligt het zinkstuk aan de wal op een horizontale zate.



Figuur 28: Krachtenschema tijdens verplaatsen (zate zonder helling)

Het zinkstuk zal zich niet verplaatsen en oefent in rustpositie alleen een neerwaartse druk uit op de ondergrond waarbij het krachtenspel als in figuur 28 kan worden geschematiseerd. Door middel van de gravitatiewet van Newton kan de zwaartekracht F_N worden berekend met formule 55:

$$F_N = m \cdot g \tag{55}$$

waarin:

- F_N normaalkracht [kN]
- m de massa van een voorwerp [in kg]
- g valversnelling [m/s²]

Afhankelijk van het drijvend vermogen van het zinkstuk zijn er meer of minder lagen wiepen nodig. Er worden voor een zinkstuk minimaal twee lagen wiepen toegepast die haaks op elkaar zijn aangebracht. Voor het berekenen van de optredende trekkracht voor situaties met twee lagen wiepen, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een helling, wordt formule 56 gehanteerd.

$$F_t = \frac{\mu_w \cdot L_z \cdot b_z \cdot g \cdot \left(\left(\frac{(a_l \cdot l_{wb} + a_b \cdot l_{wl}) \cdot \gamma_w}{l_z \cdot b_z} \right) + \gamma_g \right)}{b_z} \tag{56}$$

waarin:

- F_t trekkracht [kN/m]

g	valversnelling [m/s^2]
a_l	aantal wiepen over de lengte van het zinkstuk [-]
l_{wb}	lengte van de wiep over de breedte van het zinkstuk [m]
a_b	aantal wiepen over de breedte van het zinkstuk [-]
l_{wl}	lengte van de wiep over de lengte van het zinkstuk [m]
γ_w	gewicht van de wiep [kg/m^1]
l_z	lengte van het zinkstuk [m]
b_z	breedte van het zinkstuk [m]
γ_g	gewicht van het geotextiel [kg/m^2]
μ_w	wrijvingscoëfficiënt [-]

Voor het gewicht van de wiepen wordt een gewicht van 5 kg/m^1 aangehouden die met een h.o.h. afstand van 1 meter op het geotextiele doek worden geplaatst. Voor de wrijvingscoëfficiënt wordt voor een zate met een betonnen of asfaltverharding een waarde toegepast van 0,6 – 0,7. In Nederland wordt vaak een kritieke valhoogte van maximaal 2 meter voorgeschreven voor de uitvoering omdat anders geotextielen met een zeer grote massa voor het geotextiel moeten worden gebruikt en dit uit financieel oogpunt niet aantrekkelijk is. Met deze gedachte wordt in de formule voor het bepalen van de benodigde treksterkte uitgegaan van een valhoogte van maximaal 2 meter. Met behulp van de formule van Lawson [2] kan de benodigde massa van het geotextiel worden bepaald. Het gewicht van het geotextiel wordt uitgedrukt in g/m^2 . Er geldt:

$$m_a > C_s \cdot H_{stort}^{0,5} \cdot D_{85} \quad 57$$

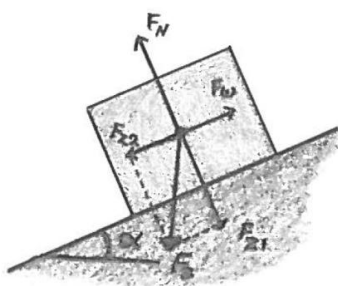
waarin:

m_a	massa van het geotextiel per eenheid van oppervlak [kg/m^2]
H_{stort}	valhoogte van het stortmateriaal [m];
D_{85}	karacteristieke korreldiameter van het stortmateriaal in [m];
C_s	schadefactor bij bulkbestorting:
C_s	1,2 : geen schade;
C_s	0,75: 10 % van het oppervlak beschadigd.

De waarden van C_s zijn gebaseerd op praktijkwaarnemingen. Voor de valhoogte wordt maximaal een hoogte van 2 meter aangehouden. Er mag geen schade optreden waardoor een waarde van 1,2 wordt aangehouden voor de schadefactor. Voor de karakteristieke korreldiameter wordt verwezen naar de NEN-EN 13383.

Zate met helling:

De methode wat betreft het bepalen van de trekkracht, van het geotextiel als onderdeel van het zinkstuk, bij toepassing van een zate met helling is hetzelfde op het krachtenspel wat optreedt na. Bij een voorwerp op een helling is de normaalkracht, de reactiekracht van de ondergrond, loodrecht op het hellend vlak. F_{z1} is de kracht die het zinkstuk uitoefent op het hellend vlak en kan worden bepaald door het ontbinden van de kracht loodrecht op de helling, zie figuur 29.



Figuur 29: Krachtenschema tijdens verplaatsen (zate met helling)

Bij het verplaatsen van het zinkstuk ontstaat een zekere wrijving die een ongunstige invloed heeft op de verplaatsing. Voor de wrijvingskracht geldt dat deze gelijk is aan de vermenigvuldiging van een wrijvingsfactor met de normaalkracht. Met behulp van formule 58 kan de normaalkracht worden berekend:

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha \tag{58}$$

waarin:

- F_N normaalkracht [kN]
- m de massa van een voorwerp [kg]
- g valversnelling [m/s^2]
- α hellingshoek [$^\circ$]

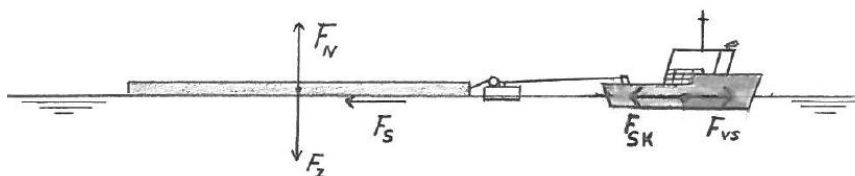
Wat betreft de situatie waarbij het zinkstuk gesitueerd is op een helling, is met uitzondering van het krachtspel, de bepaling van de treksterkte hetzelfde. Voor het verplaatsen van het zinkstuk dient de trekkracht groter te zijn dan wrijvingskracht die ontstaat ten gevolge van het verplaatsen, formule 59.

$$F_t = \frac{\left(\left(\frac{(a_l \cdot l_{wb} + a_b \cdot l_{wl}) \cdot \gamma_w}{l_z \cdot b_z} \right) + \gamma_g \right) \cdot g \cdot L_z \cdot b_z \cdot \cos \alpha \cdot \mu_w}{b_z} \tag{59}$$

De overige symbolen zijn, eveneens de bepaling ervan, hetzelfde gebleven als in formule 56.

3.3.5.2 Transporteren van zink- of kraagstuk door water

Nadat het zinkstuk van de zate in het water is verplaatst zal deze over het water naar de locatie van verwerking worden getransporteerd. Voor het transport wordt uitgegaan dat men gebruik maakt van een ponton en een sleepboot. Tijdens het transport ondervindt het zinkstuk een wrijvingskracht ten gevolge van de stroming die tevens wordt versterkt door de stuwkracht van de boot, zie figuur 30. Het gedeelte van het zinkstuk het dicht bij de boot gelegen ondervindt hierdoor de grootste krachten en is maatgevend voor het gehele zink- of kraagstuk.



Figuur 30: Krachtenschema transport van een zink- of kraagstuk

De resulterende trekkracht die optreedt in het geotextiel kan met formule 60 worden berekend:

$$F_t = \frac{\left(\left(\frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_w \cdot \frac{A_c}{A_s} - 3,2 \right) \cdot u_o^2 + 13,8 \cdot u_o - 2,5 \right) \cdot A_s}{b_z} \tag{60}$$

waarin:

- F_t trekkracht [kN]
- C_D sleepkrachtcoëfficiënt [-]
- ρ_w massadichtheid van water [kg/m^3]

- A_c contactoppervlak van het ondervlak met de stroming [m²]
- A_s oppervlak van het ondervlak (zinkstuk) [m²]
- u_o snelheid van het water ten opzichte van het ondervlak [m/s]
- b_z lengte van het zinkstuk (vaak de breedte) waaraan wordt getrokken [m]

In deze formule wordt ervan uitgegaan dat tijdens de belasting het voorste deel van het zinkstuk iets boven water wordt gehouden tijdens het transport. Hierdoor stroomt er geen water over het zink- of kraagstuk heen en worden extra belastingen voorkomen. In de formule wordt echter geen rekening gehouden met golven die aanwezig kunnen zijn. Wanneer op de projectlocatie wel golven aanwezig zijn (0,5 – 0,8 m hoog) wordt de trekkracht vermenigvuldigt met een overallfactor van 1,25 – 1,3 (25 – 30 %).

De sleepkrachtcoëfficiënt voor het transporteren van het zinkstuk kan worden berekend met formule 61.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\nu} \quad 61$$

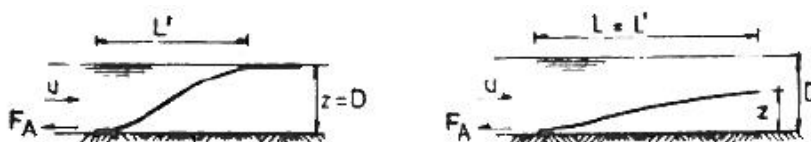
waarin:

- v gemiddelde snelheid van een vloeistof [m/s]
- ν kinematische viscositeit [m²/s]
- l lengte van het zink- of kraagstuk loodrecht op de aanstroomrichting [m]

Voor de kinematische viscositeit van water worden de waarden in tabel 6 gehanteerd.

3.3.5.2.3 Plaatsen en zinken

Zodra het zinkstuk op de plaats van bestemming is dient deze op de juiste plaats te worden aangebracht. Bij het plaatsen en het zinken van het zinkstuk worden krachten geleverd waardoor trekkrachten in het geotextiele doek worden gecreëerd. De maatgevende situatie tijdens het plaatsen en zinken is in figuur 31 weergegeven, die tevens de relatie tussen de D en L^1 weergeeft. De maatgevende situatie is de situatie zoals aangegeven in de linker afbeelding.



Figuur 31: Helling van het zink- of kraagstuk ten gevolge van de stroming [4]

De optredende trekkracht wordt bepaald met formule 62:

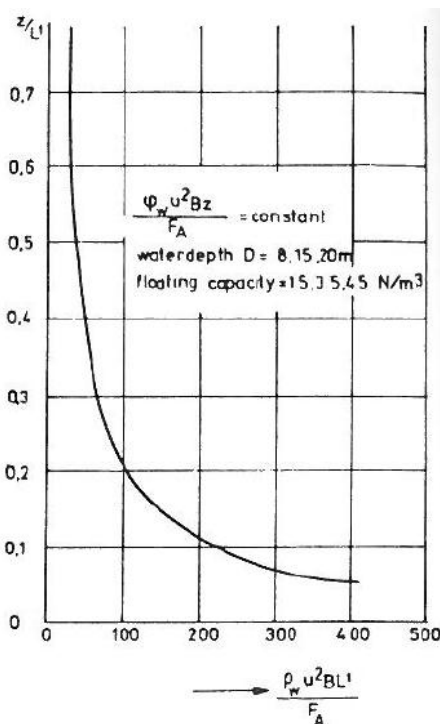
$$F_t = \frac{F_A}{b_z} \cdot f_{ov} \cdot f_i = \frac{\rho_w \cdot u^2 \cdot L^1}{\alpha_t} \cdot f_{ov} \cdot f_i \quad 62$$

waarin:

- F_t trekkracht [kN/m]
- F_A ankerkracht [kN]
- b_z breedte van het zinkstuk [m]
- ρ_w massadichtheid van het water [kg/m³]
- u stroomsnelheid [m/s]
- L^1 horizontale projectie op het wateroppervlak van het deel van het zinkstuk dat onder water zit [m]

- α_t een coëfficiënt ($= \frac{\rho_w \cdot u^2 \cdot b_z \cdot L^1}{F_A}$) direct volgend van de stroomsnelheid en het drijvend vermogen [-]
- f_{ov} veiligheidsfactor voor het opdrijvend vermogen [-]
- f_i veiligheidsfactor voor inschattingfouten [-]

Voor het bepalen van L^1 zal een schatting moeten worden gemaakt omdat van tevoren lastig te bepalen is hoe groot de lengte van het zinkstuk is dat zich onder water bevindt. Een richtlijn voor het bepalen van L^1 is dat 1/3 deel aan het wateroppervlak blijft, wat betekent dat $L^1 = \frac{2}{3} \cdot L$. Vervolgens kan de verhouding tussen de waterdiepte en de lengte onder water berekend worden door deze met elkaar te delen. Het hanteren van de grafiek in figuur 32 levert een waarde voor de coëfficiënt α_t op.



Figuur 32: Coëfficiënt α_t afhankelijk van de stroomsnelheid en het drijvend vermogen [4]

Richtlijnen voor de toe te passen veiligheidsfactoren zijn:

- 1,15 – 1,3 voor de versterking als gevolg van het opdrijvend vermogen.
- 1,2 voor het voorkomen van inschattingfouten.

3.3.5.2.4 Treksterkte ten gevolge van doorpons

Wanneer het geotextiel is geplaatst wordt vervolgens de toplaag hierop aangebracht. In deze fase is het, in de uitvoering in den droge, mogelijk dat materieel zoals de rupsgraafmachine zich over deze de toplaag beweegt. Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat door het gewicht van de graafmachine een doorponskracht wordt geleverd op het onderliggende materiaal. Ten gevolge van deze doorponskracht op een helling wordt een kracht loodrecht op de helling en evenwijdig aan de helling gecreëerd. De kracht evenwijdig aan de helling heeft een versterkend effect wat betreft het afglijden van de bekledingsconstructie wat voor een trekkracht in het geotextiele doek zorgt. Het geotextiel maakt bij een zorgvuldige aanleg over het gehele oppervlak contact met de ondergrond. Wanneer het bekledingsmateriaal wil afglijden ondervindt deze wrijving tussen het geotextiele doek en de ondergrond. De kracht die wordt opgenomen door de grond (wrijvingskracht) dient af te worden getrokken van de kracht die evenwijdig aan het talud werkt. De belastingen die voor doorponskrachten zorgen bestaan uit golfslag en het materieel waarmee het bekledingsmateriaal

wordt aangelegd. De wijzen van uitvoering, namelijk in den natte en in den droge, zorgen voor verschillende belastingen waardoor verschillen in de optredende trekkrachten ontstaan. Bij de uitvoering in den natte is er geen sprake van rijdend materieel over de toplaag waardoor golfbelasting als maatgevende doorponskracht wordt gerekend. Het rijden van materieel over de toplaag is in de uitvoering in den droge de maatgevende situatie wat betreft doorpons. Er wordt onderscheid gemaakt in de bekledingsmaterialen, namelijk zetsteen en waterbouwsteen.

Zetsteen

De verschillende wijzen van uitvoering leiden tot verschillende situaties. Bij de uitvoering in den natte is het bekledingsmateriaal alleen onderhevig aan golfslag. Het bekledingsmateriaal in den droge is onderhevig aan materieel wat over de bekleding rijdt en hierdoor maatgevend. Het bepalen van de druk die door het materieel of door de golfslag wordt uitgeoefend kan met de formules 63 en 64 worden berekend.

Bepaling van de druk van het materieel op een helling

De druk die door het materieel op een helling op het geotextiele doek wordt geleverd is met formule 63 te bepalen.

$$P_{N;mat} = \left(\frac{F_{rups}}{(rupsbreedte + h * (\tan(\alpha) - \tan(\alpha - \arctan(e))) + h * (\tan(\arctan(e) + \alpha) - \tan(\alpha)) * (rupslengte + 2 * e * h)} \right) + \gamma_{s;1} * \frac{h_1}{\cos(\alpha)} + \gamma_{s;2} * \frac{h_2}{\cos(\alpha)} \quad 63$$

waarin:

$P_{N;mat}$	druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m ²]
F_{rups}	belastingafdracht graafmachine aan één rupspand [kN]
$\gamma_{s;1}$	volumieke massa zetsteen [kN/m ³]
h_1	laagdikte zetsteen [m]
$\gamma_{s;2}$	volumieke massa uitvullaag [kN/m ³]
h_2	laagdikte van de uitvullaag [m]
e	belastingspreidingsfactor van uitvullaag [-]
α	hellingshoek talud [°]

De kracht die geleverd wordt ten gevolge van het gewicht van het materieel kan met behulp van formule 64 worden berekend.

$$F_{rups} = m * g * 10^{-3} \quad 64$$

waarin:

F_{rups}	belastingafdracht graafmachine aan één rupspand [kN]
m	massa graafmachine [kg]
g	valversnelling [m/s ²]

De richtwaarden voor de belastingspreidingsfactor (e) voor funderingsmaterialen gelegen op ondergronden is weergegeven in tabel 7, hierbij is de vetgedrukte rij van toepassing bij een uitvullaag.

Bepaling van de druk ten gevolge van golfslag op een helling

De druk die door het materieel op een helling op het geotextiele doek wordt geleverd is met formule 65 te bepalen.

$$P_{N;golf} = P_{golf} + \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} \quad 65$$

waarin:

- $P_{N;golf}$ druk neerwaarts op het grensvlak [kN/m²]
 P_{golf} golfbelasting [kN/m²]
 γ_s volumieke massa breuksteen [kN/m³]
 h laagdikte breuksteen [m]
 α hellingshoek talud [°]

De golfbelasting op de constructie kan met behulp van formule 66 worden berekend.

$$P_{golf} = A_g * \rho_w * g * H_s \quad 66$$

waarin:

- P_{golf} golfbelasting [N/m²]
 ρ_w massadichtheid water [kg/m³]
 g versnelling zwaartekracht [m/s²]
 H_s significante golfhoogte [m]

De A_g is afhankelijk van de golfbrekerparameter (ξ_{op}) en de demping van de golfslag, de A_g kan berekend worden met de formule 67.

$$A_g = \frac{\xi_{op}}{C_{golf}} \quad 67$$

waarin:

- A_g een functie van de golfsteilheid en golf gradiënt (of breker index ξ) [-]
 ξ_{op} golfbrekerparameter [-]
 C_{golf} dempingsfactor golfslag [-]

De golfbrekerparameter kan bepaald worden met de formule 68.

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,561 * T_p^2}}} \quad 68$$

waarin:

- ξ_{op} golfbrekerparameter [-]
 α hellingshoek talud [°]
 H_s significante golfhoogte [m]
 T_p golfperiode bij de piek van het golfspectrum [s]

De dempingsfactor van de constructie ten opzicht van golfslag is weergegeven in tabel 8. De factor is afhankelijk van de opbouw van de constructie, bij aanwezigheid van een filterlaag (van granulair materiaal) zal er een dempingsfactor moeten worden toegepast. Vervolgens kan de trekkracht die geleverd wordt door groot materieel worden bepaald met behulp van formule 69 en de trekkracht die geleverd wordt door golfslag kan worden bepaald met behulp van formule 70.

$$F_t = \sin(\alpha) * P_{Neerwaarts} * b^2 \quad 69$$

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} + \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} \right) * b^2 \quad 70$$

waarin:

F_t	trekkracht [kN]
P_{Neer}	bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding [kN/m ²]
P_{Opw}	reactiekracht van de ondergrond [kN/m ²]
b	breedte van de zetsteen [m]
α	hellingshoek talud [°]
P_{golf}	golfbelasting [kN/m ²]
γ_s	volumieke massa zetsteen [kN/m ³]
h	laagdikte zetsteen [m]

Ten gevolge van het afschuiven wordt er een deel van de optredende trekkracht opgenomen door het geotextiele doek en een deel door de wrijving van het doek met de ondergrond. De resulterende trekkracht is als volgt te bepalen:

$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{b} \quad 71$$

waarin:

F_{tt}	totale trekkracht [kN/m]
F_t	verticale trekkracht evenwijdig aan de helling [kN]
α	hellingshoek talud [°]
δ	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond [°]
b	breedte van de zetsteen [m]

De wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond is afhankelijk van de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond. Voor de wrijvingshoek worden de richtwaarden in de tabel hieronder aangehouden.

Tabel 9: Wrijvingshoek tussen geotextiel en ondergrond

Ruwheid materiaal	Wrijvingshoek δ
Ruw (0.5 – 10 . d_{50})	2/3 . φ
Halfruw (0.1 – 0,5 . d_{50})	1/3 . φ

Waterbouwsteen

Voor het ontwerpen van de treksterkte ten gevolge van de aanbrenging van waterbouwstenen kan dezelfde methode gehanteerd worden als bij zetsteen. Echter voor het bepalen van het gewicht van het materieel gelden andere formules omdat de verschillende wijzen van uitvoering leiden tot verschillende situaties. Bij de uitvoering in den natte is het bekledingsmateriaal alleen onderhevig aan golfslag. Het bekledingsmateriaal in den droge is onderhevig aan materieel wat over de bekleding rijdt en hierdoor maatgevend. Het bepalen van de druk die door het materieel of door de golfslag wordt uitgeoefend kan met de formule 75 worden berekend.

Bepaling van de druk van het materieel op een helling

De druk van de graafmachine en de steenbekleding op het totale belastingsvlak is te berekenen met behulp van formule 72.

$$P_{N;mat} = \frac{F_{rup_s}}{rupsbreedte * rupslengte} + \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} \quad 72$$

waarin:

$P_{N;mat}$	druk neerwaarts door groot materieel op het grensvlak [kN/m^2]
F_{rup_s}	belastingafdracht graafmachine aan één rupsband [kN]
γ_s	volumieke massa breuksteen [kN/m^3]
h	laagdikte breuksteen [m]
α	hellingshoek talud [$^\circ$]

Bepaling van de druk ten gevolge van golfslag op een helling

Belastingen afkomstig van golfslag is enkel van toepassing op een constructie onder een helling. Bij golfslag op een vlakke constructie zal de golfbrekerparameter nul zijn, dit geeft een golfbelasting van nul. Er dient daarom enkel voor een constructie die zich onder een hellingshoek bevindt, de golfbelasting te worden bepaald. Voor het bepalen van de golfbelasting zie formule 66. De druk van de golfslag en de steenbekleding op het totale belastingsvlak is te berekenen met behulp van formule 65.

Vervolgens kan de trekkracht die geleverd wordt door groot materieel worden bepaald met behulp van formule 73 en de trekkracht die geleverd wordt door golfslag kan worden bepaald met behulp van formule 74.

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{P_{Neerwaarts} * \pi * D^2}{4} \right) \quad 73$$

$$F_t = \sin(\alpha) * \left(\frac{\sin(\alpha) * \gamma_s * \frac{h}{\cos(\alpha)} * \pi * D^2}{4} \right) \quad 74$$

waarin:

F_R	doorponskracht [kN]
P_{Neer}	bovenbelasting, inclusief gewicht steenbekleding [kN/m^2]
P_{Opw}	reactiekracht van de ondergrond [kN/m^2]
D	maximale D_{85} van de steen sortering (volgens NEN-EN 13883) [m]
d	breedte van de waterbouwsteen ter plaatse van het grensvlak geotextiel ($d = D * 0,5$) [m]
α	hellingshoek talud [$^\circ$]
P_{golf}	golfbelasting [kN/m^2]
γ_s	volumieke massa breuksteen [kN/m^3]
h	laagdikte breuksteen [m]

Ten gevolge van het afschuiven wordt er een deel van de optredende trekkracht opgenomen door het geotextiele doek en een deel door de wrijving van het doek met de ondergrond. De resulterende trekkracht is als volgt te bepalen:

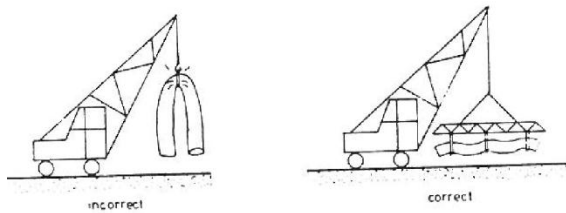
$$F_{tt} = \frac{F_t - \left(\frac{F_t \cdot \tan(\delta)}{\tan(\alpha)} \right)}{D} \quad 75$$

waarin:

- F_{tt} totale trekkracht [kN/m]
- F_t verticale trekkracht evenwijdig aan de helling [kN]
- α hellingshoek talud [°]
- δ wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond (zie tabel 9) [°]
- D_{85} diameter D_{85} van de breuksteen [m]

3.3.5.3 Gebruiksfase

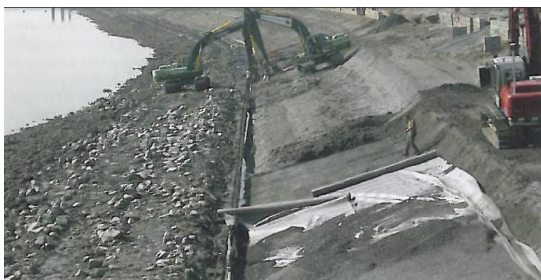
Voor de uitvoering in den droge zijn er verschillende fasen en manieren waarop het geotextiel wordt belast. Tijdens het transporteren kunnen er bij een foute verplaatsingsmethode grote krachten optreden in het geotextiel, zie figuur 33.



Figuur 33: Onjuiste en juiste wijze van transporteren

Echter voor het transporteren van het geotextiel zijn er hulpmiddelen ontwikkeld die ervoor zorgen dat de belastingen zo klein mogelijk blijven. Voor de juiste wijze van transporteren zijn richtlijnen opgesteld in de CUR-rapporten 151 en 206 [5][6], waardoor er hier niet verder op wordt ingegaan. Tijdens de uitvoering dienen deze hulpmiddelen voor het transport te worden gebruikt. Uitgaande van het toepassen van deze hulpmiddelen zijn de trekkrachten die optreden ten gevolge van het transporteren zeer klein en zullen niet maatgevend zijn voor de minimale treksterkte die nodig is ten gevolge van de uitvoering in den droge.

Wanneer het geotextiel de plaats van bestemming heeft bereikt zal deze worden aangebracht op het talud. Hier zijn verschillende wijzen voor namelijk het evenwijdig aan of het loodrecht op de glooiing afrollen van het geotextiel, zie figuur 34 en 35. Het afrollen van de rollen gebeurt zowel met de hand als met behulp van een (rups)kraan met een evenaar.



Figuur 34: Afrollen evenwijdig aan de glooiing met de hand



Figuur 35: Afrollen loodrecht op de glooiing met evenaar

Wanneer het geotextiel op de glooiing wordt aangebracht wordt als gevolg van het eigen gewicht en de zwaartekracht een neerwaartse kracht geleverd. Door de helling van het talud wordt deze kracht ontbonden in "een loodrecht op de helling werkende" en "een evenwijdig aan de helling werkende" kracht, waarvoor het krachtenschema van figuur 29 kan worden aangehouden. Als gevolg van de kracht evenwijdig aan de helling wordt een trekkracht in het geotextiel gecreëerd. Wanneer de treksterkte gerelateerd wordt aan beide uitvoeringswijzen kan geconcludeerd worden dat het afrollen van het geotextiel evenwijdig aan de glooiing grotere krachten oplevert. De trekkrachten die in het geotextiel optreden werken op de kortste zijde van het geotextiel waardoor een grotere kracht per strekkende meter (kN/m) wordt verkregen. Bij het afrollen van het geotextiel loodrecht op de

glooiing is een kleiner oppervlak per strekkende meter onderhevig aan afschuiving waardoor kleinere trekkrachten ontstaan. Voor het berekenen van de trekkrachten ten gevolge van het uitrollen van het geotextiel wordt de maatgevende situatie gehanteerd, namelijk het afrollen evenwijdig aan de glooiing. De rekenregels voorgeschreven in de CUR-rapport 174 [2] worden gehanteerd voor het berekenen van de optredende trekkrachten. Hierbij wordt uitgegaan dat de ondergrond weerstand levert tegen het afglijden van het geotextiel. De wrijvingsweerstand is afhankelijk van het type ondergrond, namelijk de ruwheid van het materiaal. Het toepassen van deze rekenregels is tevens geschikt voor situaties waarin het geotextiel aan de bovenzijde van de glooiing wordt vastgehouden. Het vasthouden van het geotextiel aan de bovenzijde is ten gevolge van de afwezigheid van een teenconstructie. Hierdoor wordt er, doordat er geen teenconstructie aanwezig is, geen tegenkracht geleverd waardoor het geotextiel kan afglijden en aan de bovenzijde dient te worden vastgemaakt. De verankering van het geotextiel aan de bovenzijde wordt vaak gerealiseerd door het aanbrengen een grondlichaam of door middel van palen.

Nadat het geotextiel is aangebracht wordt de toplaag op het geotextiele doek aangebracht. De toplaag zorgt voor een verzwaring van het neerwaartse gewicht waardoor ook de krachten loodrecht en evenwijdig aan het hellend vlak groter worden. In CUR-rapport 174 [2] zijn rekenregels voorgeschreven die voor het berekenen van de optredende trekkracht worden gehanteerd. Hiervoor geldt dezelfde redenatie wat betreft de tegenkracht die door de teenconstructie wordt geleverd. Het aanbrengen van de toplaag gebeurt vanaf de onderkant naar de bovenkant van het talud. Wanneer een teenconstructie aanwezig is kunnen het geotextiel en de toplaag niet afschuiven waardoor er geen maatgevende trekkrachten optreden. Wanneer geen teenconstructie wordt toegepast is het van belang dat rekening wordt gehouden met de mogelijk optredende trekkrachten ten gevolge van het geotextiel en de toplaag, waarvoor de benadering in de CUR 174 voor wordt gehanteerd.

Voor zowel het uitrollen van het geotextiel als het aanbrengen van de toplaag kan de maximale trekkracht, die in het geotextiel kan optreden, berekend worden met formule 76 zoals die in CUR-rapport 174 [2] wordt gehanteerd.

$$F_t = G \cdot L_{geo} \cdot (\sin \alpha - \tan \delta_w \cdot \cos \alpha) \quad 76$$

waarin:

F_t	trekkracht [kN/m]
G	gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak [kN/m ²]
L_{geo}	lengte geotextiel loodrecht op de glooiing [m]
α	hellingshoek [°]
δ_w	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond (zie 3.3.5.2.4)[°]

Het gewicht van de toplaag kan worden bepaald aan de hand van de steenklassen. Uit CUR-publicatie 197 [4] is de minimale storthoeveelheid te bepalen voor de steensorteringen in kg/m², zie tabel 10.

Tabel 10: Eigenschappen van de steenklassen [4]

Sortering	D ₅₀ (cm)	M ₅₀ (kg)	D _{n50} gemiddeld (cm)	Laagdikte 1,5 * D _{n50} (cm)	Minimale Stort hoeveelheid bij 1,5 * D _{n50} laagdikte (kg/m ²)
30/60 mm	3,9-4,9	0,09-0,18	3,7	20	300
40/100 mm	6,2-8,8	0,35-1,04	6,3	20	300
50/150 mm	8,8-12,3	1,04-2,79	8,9	20	300
80/200 mm	12,3-17,7	2,79-8,31	12,6	20	300
5-40 kg	21-26	12-25	19	29	450
10-60 kg	26-31	24-43	24	36	550
40-200 kg	38-44	84-131	35	53	800
60-300 kg	45-51	139-204	41	62	950
300-1000 kg	71-71	541-692	63	95	1450
1000-3000 kg	103-110	1620-1980	90	135	2050
3000-6000 kg	136-143	3843-4392	118	177	2700
6000-10000 kg	167-174	7050-7990	144	216	3250

Het gewicht van het geotextiel kan met de gegeven formule van Lawson in de CUR 174 [2] worden bepaald:

$$m_a > C_s \cdot H_{stort}^{0,5} \cdot D_{85} \quad 77$$

waarin:

- m_a massa van het geotextiel per eenheid van oppervlak [kg/m²]
- H_{stort} valhoogte van het stortmateriaal [m];
- D₈₅ karakteristieke korrel diameter van het stortmateriaal in [m];
- C_s schadefactor bij bulkbestorting:
- C_s 1,2 : geen schade;
- C_s 0,75: 10 % van het oppervlak beschadigd.

De waarden van C_s zijn gebaseerd op praktijkwaarnemingen. Voor de valhoogte wordt maximaal een hoogte van 2 meter voorgeschreven. Voor de karakteristieke korrel diameter wordt verwezen naar de NEN-EN 13383.

3.4 Geavanceerde methode

3.4.1 Algemeen

Bij extreme omgevingscondities waarbij er vraagtekens zijn bij de eisen die volgen uit de gedetailleerde methode, zoals bij omgevingscondities nabij de Oosterscheldekering. Dient er op basis van laboratoriumproeven of modelproeven, bepaald te worden welke eigenschappen het geotextiel moet bevatten. De eigenschappen die van toepassing zijn de perforatie weerstand, doorpans weerstand, treksterkte en rekvermogen.

Het geotextiel dient ten allen tijden robuust genoeg te zijn om gedurende de uitvoering niet te beschadigen, zo ook bij kunstwerken waar extreme omgevingscondities aanwezig zijn. Indien het geotextiel tijdens uitvoering beschadigd raakt, zal het geotextiel kwetsbaarder zijn gedurende de gebruiksfase. Dit leidt tot eerder bezwijken van het geotextiel en zo ook de (dijk)constructie. Hier kan om deze reden niet van aannames en schattingen worden uitgegaan, maar dienen proeven en onderzoeken te worden uitgevoerd, die een nauwkeurige eis aan de robuustheid van het geotextiel stellen. Deze onderzoeken en proeven moeten uitgevoerd worden door gecertificeerde instituten. Indien een deskundige wordt geraadpleegd, wordt geacht dat deze werkzaam is bij een gerenommeerde instelling of organisatie, waarbij geotextielen nadrukkelijk van toepassing zijn. In

onderstaande paragrafen wordt de geavanceerde methode op basis van robuustheid verder toegelicht.

3.4.2 Perforatieweerstand

Voor het bepalen van de eisen aan het geotextiel volgens de geavanceerde methode op basis van perforatieweerstand wordt aangeraden om een modelproef uit te voeren waarbij de werkelijke omstandigheden worden nagebootst. Deze modelproef is zowel onderwater als in den droge na te bootsen.

De proefopstelling dient opgebouwd te zijn uit een basislaag met een dikte van minimaal 0,80 meter, die uit dezelfde samenstelling bestaat als de minst draagkrachtige grond die is voortgekomen uit het onderzoek naar de grondsamenstelling en dient onder een hellingshoek geplaatst te worden die gelijk is aan de ontworpen hellingshoek voor de constructie. Op deze basislaag zal het geotextiel met een oppervlakte van 50 m² (10 m x 5 m) aangebracht moeten worden.

Op deze proef opstelling kan vervolgens de waterbouwsteen worden gestort. Het storten van de waterbouwsteen dient te gebeuren volgens de volgende twee methoden. De eerste methode is door rondom het geotextiel in te klemmen met waterbouwsteen en daar vervolgens een enkele waterbouwsteen tussen te storten, dit levert de uiterste perforatie weerstand voor een enkele steen. De tweede methode is het waterbouwsteen storten als bulk, hierbij moet het geotextiel rondom niet ingeklemd zijn. Hieruit volgt de uiterste perforatie weerstand ten opzichte van bulkstorten. Om geen onjuiste waarden uit de proef over te nemen, dienen deze twee methode (storten in den droge en storten in den natte) beiden driemaal te worden herhaald. Hier zal de zwaarste eis maatgevend zijn.

Om de draagkracht van de ondergrond te bepalen, zullen er grondmonsters moeten worden genomen. Hiervoor zijn richtlijnen opgenomen voor de hoeveelheid en soort van bodemonderzoek [3]. Hierbij dient men echter zich te realiseren dat in deze publicatie richtlijnen zijn opgenomen en dat het bodemonderzoek moet worden afgestemd op kosten en risico's. Daarnaast hangt het aantal ook af van de resultaten, namelijk bij grotere verschillen dienen meerdere monsters te worden genomen dan bij een homogene ondergrond. Vervolgens zullen deze monsters in het laboratorium worden onderzocht en kan het monster met de laagste draagkracht worden bepaald. De samenstelling van dit monster dient vervolgens als basislaag tijdens de modelproef.

Tevens is het ook mogelijk om de modelproef te verscalen, zodat het mogelijk is dat de proef in een laboratorium wordt uitgevoerd. De uitvoerder van de proef dient hierbij echter wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat de verschaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de verschaalfactor en de onderbouwing van de proefresultaten vertaalt naar de werkelijkheid.

De verdiepingsslag ten opzicht van de gedetailleerde methode is dat hier de minst draagkrachtige grond wordt toegepast onder een hellingshoek, die gelijk is aan de werkelijke dijkconstructie. Terwijl de gedetailleerde methode enkel uitgaat van een standaard basislaag, zonder hellingshoek. Daarnaast is het stortproces uitgebreid naar twee verschillende stortmethoden, terwijl de gedetailleerde methode enkel uitgaat van een enkele vallende steen.

3.4.3 Doorponsweerstand

Voor het bepalen van de eisen aan het geotextiel volgens de geavanceerde methode op basis van doorpons weerstand wordt aangeraden om een modelproef of indextest uit te voeren waarbij de werkelijke omstandigheden worden nagebootst.

3.4.3.1 De modelproef

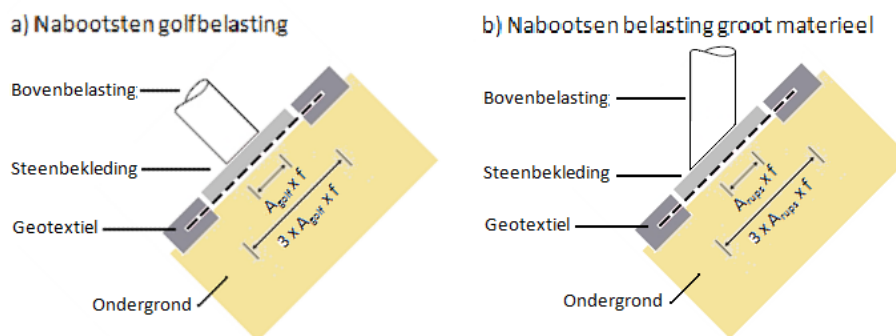
De modelproef dient te bestaan uit de volgende proefopstelling: De proefopstelling dient opgebouwd te zijn uit een basislaag met een dikte van minimaal 0,80 meter, die uit dezelfde

samenstelling bestaat als de minst draagkrachtige grond die is voortgekomen uit het onderzoek naar de grondsamenstelling en dient onder een hellingshoek geplaatst te worden die gelijk is aan de ontworpen hellingshoek voor de constructie. Op deze basislaag zal het geotextiel met een oppervlakte van 50 m^2 ($10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) aangebracht moeten worden. Op deze proef opstelling kan vervolgens de belasting afkomstig van groot materieel en golfslag worden nagebootst. Hieruit volgt de uiterste doorpons weerstand ten opzichte van een bepaalde belasting. Om geen onjuiste waarden uit de proef over te nemen, dienen deze twee methode (groot materieel en golfslag) beiden driemaal te worden herhaald. Hier zal de zwaarste eis maatgevend zijn.

Tevens is het ook mogelijk om de modelproef te verscalen, zodat het mogelijk is dat de proef in een laboratorium wordt uitgevoerd. De uitvoerder van de proef dient hierbij wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat: de verschaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de verschaalfactor en de onderbouwing van de proefresultaten vertaalt naar de werkelijkheid.

3.4.3.2 Indextest

Bij de index test wordt het geotextiel rondom ingeklemd, de inklemming zorgt ervoor dat het geotextiel niet mee kan vervormen aan de zijkanten, enkel binnen de inklemming kan er vervorming van het geotextiel optreden. Deze inklemming leidt tot de maatgevende eis ten opzichte van doorpons weerstand. Onder het geotextiel dient zich de basislaag te bevinden, deze geeft namelijk een reactiekracht ten opzichte van de bovenbelasting. De bovenbelasting wordt vertegenwoordigd door een stalen pluiner die een belasting levert op een verschaalde steenbekleding die is aangebracht op het geotextiel, voor een schematische weergave zie figuur 36.



Figuur 36: Schematische weergave indexproeven op doorpons

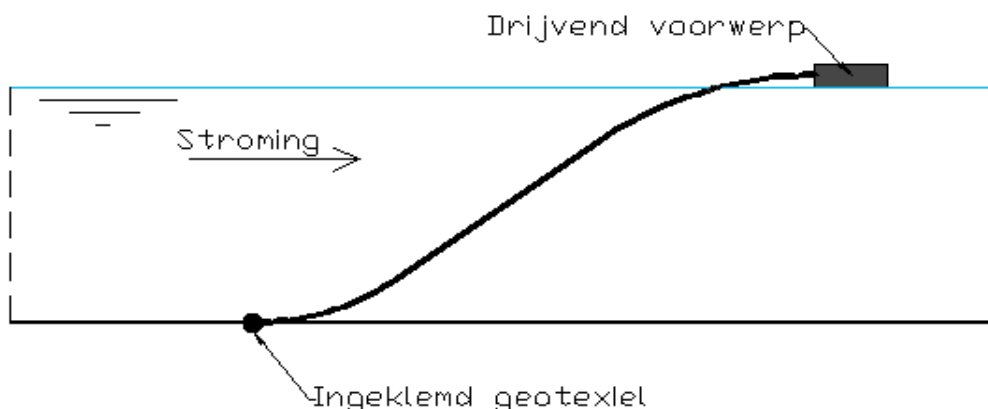
Om de draagkracht van de ondergrond te bepalen, zullen er grondmonster moeten worden genomen. Hiervoor zijn richtlijnen opgenomen voor de hoeveelheid en soort van bodemonderzoek [3]. Hierbij dient men echter zich te realiseren dat in deze publicatie richtlijnen zijn opgenomen en dat het bodemonderzoek moet worden afgestemd op kosten en risico's. Daarnaast hangt het aantal ook af van de resultaten, namelijk bij grotere verschillen dienen meerder monster te worden genomen dan bij een homogene ondergrond. Vervolgens zullen deze monsters in het laboratorium worden onderzocht en kan het monster met de laagste draagkracht worden bepaald. De samenstelling van dit monster dient vervolgens als basislaag tijdens de modelproef.

De verdieplingslag ten opzichte van de gedetailleerde methode is dat hier de minst draagkrachtige grond wordt toegepast onder een hellingshoek, die gelijk is aan de werkelijke dijkconstructie. Terwijl de gedetailleerde methode enkel uitgaat van een doorpons weerstand zonder ondergrond en hellingshoek.

3.4.4 Treksterkte

Voor het bepalen van de eisen aan het geotextiel volgens de geavanceerde methode op basis van trekkracht wordt aangeraden om een modelproef uit te voeren waarbij de werkelijke omstandigheden worden nagebootst. Deze modelproef zal enkel ingaan op het plaatsen en afzinken van een zinkstuk. Dit omdat de geavanceerde methode wordt toegepast bij situaties waarbij er vraagtekens geplaatst kunnen worden aan de eisen waar de omgevingscondities extreem zijn, zoals nabij de Oosterscheldekering. De trekkrachten die vrijkomen bij het zinkstuk aftrekken vanaf de zate en tijdens het transporteren van het zinkstuk, zijn echter niet afhankelijk van de extreme omgevingscondities ter plaatse van de plaats van verwerking. Hierdoor zullen er ook geen extreme trekkrachten optreden. De trekkrachten die hier optreden dienen bepaald te worden met behulp van de opgestelde formules voor de gedetailleerde methode, zie paragraaf 3.3.

De trekkrachten die vrijkomen gedurende het afzinken van het zinkstuk dienen te worden bepaald met behulp van een modelproef. De modelproef dient verschaald te zijn van de proefopstelling en dient uitgevoerd te worden in een bassin waar er de mogelijkheid is om de werkelijke omstandigheden na te bootsten, hierbij denkende aan een stroomsnelheid, neervorming, etc. In dit bassin dient het zinkstuk aan de onderzijde vastgeklemd te zijn, dit zou in werkelijkheid het afgezonken deel zijn. Ter plaatse van het vastgeklemd geotextiel dient een instrument aangebracht te worden die de optredende trekkrachten kan waarnemen. Aan het wateroppervlak dient het zinkstuk aan een drijvend voorwerp te worden bevestigd, zodat het uiteinde van het zinkstuk ten allen tijden blijft drijven, zie figuur 37 voor een schematische weergave.



Figuur 37: Schematische weergave modelproef op trekkrachten

De uitvoerder van de proef dient hierbij wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat: de verschaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de verschaalfactor en een onderbouwing van de proefresultaten vertaalt naar de werkelijkheid. Hieruit volgt de uiterste trekkracht ten opzichte van de extreme omstandigheden. Na uitvoering van de modelproef met hieruit volgende resultaten, kan bepaald worden of de trekkracht uit de modelproef ten opzichte van afzinken maatgevender is dan de trekkracht die bepaald is ten opzichte van aftrekken vanaf de zate en het transporteren van het zinkstuk met behulp van de gedetailleerde methode. De uiterste trekkracht dient als eis te worden gesteld.

3.4.5 Rekvermogen

Voor het bepalen van de eisen aan het geotextiel volgens de geavanceerde methode op basis van rek wordt aangeraden om een modelproef uit te voeren waarbij de werkelijke omstandigheden worden nagebootst.

3.4.5.1 Modelproef voor rek bij enkel perforatie

De maximale rek van het geotextiel bij enkel perforatie van het geotextiel, is te bepalen met behulp van de modelproef die wordt toegepast bij het bepalen van de perforatie weerstand, zie paragraaf 3.4.2. Uit die modelproef blijkt niet alleen of het geotextiel voldoet aan de valenergie die vrijkomt bij het raken van de waterbouwsteen, maar kan ook de maximale rek van het geotextiel bepaald worden. Het geotextiel dient namelijk gedurende de indrukking van de waterbouwsteen in de ondergrond mee te vervormen met de ondergrond. Dit zorgt ervoor dat direct onder het geotextiel geen mogelijkheid is tot circulatie van de korreldeeltjes uit de onderliggende basislaag, hierdoor zal de functionaliteit van het geotextiel optimaal zijn. Hieruit kan gesteld worden voor het rekvermogen van het geotextiel: Als er geen beschadiging waarneembaar is tijdens de modelproef (bijv. scheuren of gaten) en het geotextiel is over het gehele oppervlak in contact met de ondergrond, is het rekvermogen van het geotextiel hoog genoeg om tijdens het storten van het waterbouwsteen met de ondergrond mee te vervormen.

3.4.5.2 Modelproef voor rek bij enkel doorpons

De maximale rek van het geotextiel bij enkel doorpons van het geotextiel, is te bepalen met behulp van de modelproef die wordt toegepast bij het bepalen van de doorpons weerstand, zie paragraaf 3.4.3. Uit die modelproef blijkt niet alleen of het geotextiel voldoet aan de doorponskracht die optreedt tijdens belasting van groot materieel of golfslag, maar kan ook de maximale rek bepaald worden. Het geotextiel dient namelijk gedurende de indrukking onder invloed van een belastingen op de steenbekleding mee te vervormen met de ondergrond. Dit zorgt ervoor dat direct onder het geotextiel geen mogelijkheid is tot circulatie van de korreldeeltjes uit de onderliggende basislaag, hierdoor zal de functionaliteit van het geotextiel optimaal zijn. Hieruit kan gesteld worden voor het rekvermogen van het geotextiel: Als er geen beschadiging waarneembaar is tijdens de modelproef (bijv. scheuren of gaten) en het geotextiel is over het gehele oppervlak in contact met de ondergrond, is het rekvermogen van het geotextiel hoog genoeg om tijdens het storten van het waterbouwsteen met de ondergrond mee te vervormen.

3.4.5.3 Modelproef voor rek bij perforatie en doorpons

De maximale rek van het geotextiel bij de combinatie van eerst perforatie met daaropvolgend doorpons belasting is te bepalen volgens de geavanceerde methode met behulp van een modelproef die de werkelijke omstandigheden nabootst. Deze modelproef is enkel van toepassing voor uitvoering in den droge.

De modelproef dient te bestaan uit de volgende proefopstelling: De proef opstelling dient opgebouwd te zijn uit een basislaag met een dikte van minimaal 0,80 meter, die uit dezelfde samenstelling bestaat als de minst draagkrachtige grond die is voortgekomen uit het onderzoek naar de grondsamenstelling en dient onder een hellingshoek geplaatst te worden die gelijk is aan de ontworpen hellingshoek voor de constructie. Op deze basislaag zal het geotextiel met een oppervlakte van 50 m² (10 m x 5 m) aangebracht moeten worden.

Op deze proef opstelling kan vervolgens de waterbouwsteen worden gestort en vervolgens de bovenbelasting op worden aangebracht. Het storten van de waterbouwsteen dient te gebeuren volgens de volgende twee methoden. De eerste methode is door rondom het geotextiel in te klemmen met waterbouwsteen en daar volgens een enkele waterbouwsteen tussen de storten. Na het storten van een enkele steen kan de bovenbelasting worden aangebracht die overeenkomt met de belasting afkomstig van groot materieel en van golfklappen. Hieruit volgt de uiterste rek van het geotextiel bij een valenergie geleverd door een enkele steen met daaropvolgend een bovenbelasting. De tweede methode is het waterbouwsteen storten als bulk, hierbij moet echter het geotextiel rondom niet ingeklemd zijn. Na het storten van het bulkmateriaal kan de bovenbelasting worden aangebracht die overeenkomt met de belasting afkomstig van groot materieel en van golfklappen. Hieruit volgt de uiterste rek van het geotextiel bij een valenergie geleverd door een enkele steen met

daaropvolgend een bovenbelasting. Om geen onjuiste waarden uit de proef over te nemen, dienen deze twee methode beiden driemaal te worden herhaald. Hier zal de zwaarste eis maatgevend zijn.

Om de draagkracht van de ondergrond te bepalen, zullen er grondmonsters moeten worden genomen. Hiervoor zijn richtlijnen opgenomen voor de hoeveelheid en soort van bodemonderzoek [3]. Hierbij dient men echter zich te realiseren dat in deze publicatie richtlijnen zijn opgenomen en dat het bodemonderzoek moet worden afgestemd op kosten en risico's. Daarnaast hangt het aantal ook af van de resultaten, namelijk bij grotere verschillen dienen meerder monster te worden genomen dan bij een homogene ondergrond. Vervolgens zullen deze monsters in het laboratorium worden onderzocht en kan het monster met de laagste draagkracht worden bepaald. De samenstelling van dit monster dient vervolgens als basislaag tijdens de modelproef.

Tevens is het ook mogelijk om de modelproef te verschalen, zodat het mogelijk is dat de proef in een laboratorium wordt uitgevoerd. De uitvoerder van de proef dient hierbij echter wel een rapport bij te leveren, waarin vermeld staat: de verschaalfactor van de proefopstelling, de bepaling van de belasting inclusief de verschaalfactor en de onderbouwing van de proefresultaten vertaalt naar de werkelijkheid.

4. Eisen t.a.v. geotextielen

In dit hoofdstuk is weergegeven welke eigenschappen het geotextiel moet bevatten, om aan te tonen dat het geotextiel voldoet als filterconstructie in een kust- of vooroeverconstructie. Daarnaast zijn de maatgevende situaties aangegeven, waarbij bepaalde eisen aan het geotextiel of zinkstuk van belang zijn.

4.1 Eigenschappen geotextiel

Het geotextiel dat wordt toegepast als filterconstructie in de kust- of vooroeverconstructie dient te voldoen aan de gestelde eisen. In tabel 11 zijn de eigenschappen van het geotextiel weergegeven waar de eisen aan worden gesteld. Deze eisen zijn zowel van toepassing op de gebruiksfase als de uitvoeringsfase. De geotextielen die worden geleverd door de fabrikanten dienen te voldoen aan de CE - markering.

Tabel 11: Eigenschappen geotextielen als filterconstructie

Eisen	Eigenschappen geotextiel	Eenheid	Eis/reden
Robuustheid	Treksterkte	kN/m ¹	Om scheurvorming te voorkomen onder extreme trekkrachten, voornamelijk bij een zinkstuk
	Rekvermogen	% toename vervorming	Vervormingscapaciteit om contact te houden met de ondergrond tijdens deformatie
	Doorponsweerstand	kN	Weerstand tegen neerwaartse krachten werkend op de steenbekleding
	Perforatieweerstand	Nm	De weerstand tegen valenergie vrijkomend bij storten waterbouwsteen
	Slijtsterkte ¹⁾	% afname treksterkte	Voorkomen van bezwijken bij schuurbelastingen
Functionaliteit	Karakteristieke openingsgrootte	µm	Voorkomen van uitspoeling van de basislaag
	Waterdoorlatendheid	m/s	Zorg dragen voor goede waterdoorlatendheid i.v.m. voorkomen van wateroverdrukken en -ondrukken
Overig	Massa geotextiel ²⁾	g/m ²	In relatie met de eisen aan de robuustheid, is geen maatgevende eis
	Levensduur ³⁾	jaar	Als ontwerpeis geldt een levensduur > 50 jaar, om zo bezwijken tijdens gebruiksfase te voorkomen

¹⁾ De slijtsterkte stelt de eis aan de afname van de treksterkte, deze eis is altijd een treksterkte na de slijt test > 75 % van de treksterkte voor de slijt test

²⁾ Dit is geen specifieke eis, maar is een eis die voortkomt uit robuuste en functionele eisen

³⁾ De ontwerpeis aan de levensduur is ten allen tijden > 50 jaar, deze eis is afkomstig uit de handleiding "Toetsing en Ontwerp", hier geldt als randvoorwaarde dat de dijkbekleding een levensduur van minimaal 50 jaar heeft. Dit betekent dat het geotextiel dan ook minstens een levensduur van 50 jaar dient te hebben.

De leverancier moet door middel van testrapporten aantonen dat de materialen voldoen aan de gestelde eisen. De proeven die moeten worden verricht, dienen te worden uitgevoerd door gecertificeerde instituten en bedrijven. De proeven staan beschreven in hoofdstuk 5.

4.2 Maatgevende eigenschappen

De tegenstrijdige eisen uit de uitvoering en gebruiksfase dienen verduidelijkt te worden. Hieronder is weergegeven welke eis maatgevend is in den droge en in den natte.

4.2.1 In den droge

- Tijdens installatie van het geotextiel is de treksterkte maatgevend, gedurende de installatie wordt door het materieel aan het geotextiel getrokken om dit op de juiste plaats van verwerking te krijgen.
- Tijdens het aanbrengen van de steenbekleding is een hoog rekvermogen benodigd, zodat het geotextiel bij perforatie en doorpons mee vervormt met de ondergrond;
- Tijdens de gebruiksfase is het rekvermogen van het geotextiel maatgevend, het geotextiel heeft dan de mogelijkheid om mee te vervormen met de ondergrond;
- De karakteristieke openingsgrootte die benodigd is tijdens de gebruiksfase, om uitspoeling van de basislaag te voorkomen. Dient gedurende de uitvoeringsfase door het maximaal benodigde rekvermogen niet dusdanig toe te nemen, dat uit de verificatie blijkt dat het geotextiel op basis van grondichtheid niet meer voldoet tijdens de gebruiksfase.

De maatgevende eis aan het geotextiel voor de uitvoering en de gebruiksfase is de rek. Uiteraard dient zoals hierboven aangegeven de karakteristieke openingsgrootte tijdens maximale rek niet meer dan 20% toe te nemen.

4.2.2 In den natte:

- Tijdens transport van het zinkstuk vanaf de zate naar de plaats van verwerking is de treksterkte maatgevend. Het zinkstuk dient namelijk gedurende het transport niet te vervormen en te scheuren, maar in originele staat mee te worden getransporteerd;
- Tijdens het afzinken van het zinkstuk, dient het zinkstuk een grote treksterkte te bevatten zodat het niet zal scheuren tijdens dit proces;
- Tijdens het bestorten van het zinkstuk is een hoog rekvermogen benodigd, het zinkstuk dient mee te vervormen met de ondergrond tijdens storten van het waterbouwsteen;
- Tijdens de gebruiksfase is het rekvermogen van het zinkstuk maatgevend, het geotextiel heeft dan de mogelijkheid om mee te vervormen met de ondergrond;
- De karakteristieke openingsgrootte die benodigd is tijdens de gebruiksfase, om uitspoeling van de basislaag te voorkomen. Dient gedurende de uitvoeringsfase door het maximaal benodigde rekvermogen niet dusdanig toe te nemen, dat uit de verificatie blijkt dat het geotextiel op basis van grondichtheid niet meer voldoet tijdens de gebruiksfase.

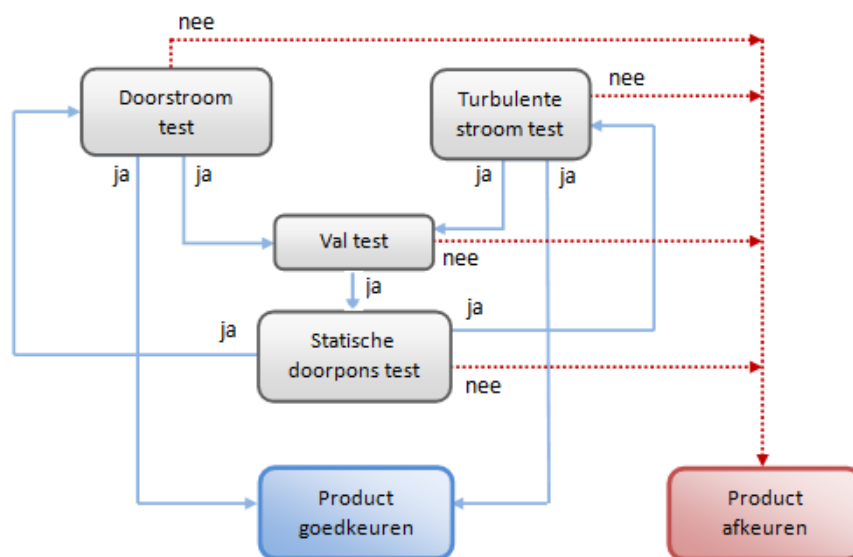
De maatgevende eis aan het zinkstuk ten opzichte van de uitvoering en de gebruiksfase zijn de treksterkte en het rekvermogen.

5. Verificatie

In dit hoofdstuk staat vermeld welke verificatietest uitgevoerd moet worden bij controle van de juistheid van de toegepaste eigenschappen. Dit betreft zowel verificatietesten op functionaliteit als robuustheid van het geotextiel. Een verificatietest controleert de kwaliteit van de eigenschappen van het geotextiel. Indien het geotextiel niet voldoet aan een verificatietest wordt deze afgekeurd. Hieronder zijn de stroomschema's weergegeven voor het uitvoeren van de verificatietesten.

Stroomschema functionaliteit in relatie met de robuustheid (zie figuur 38):

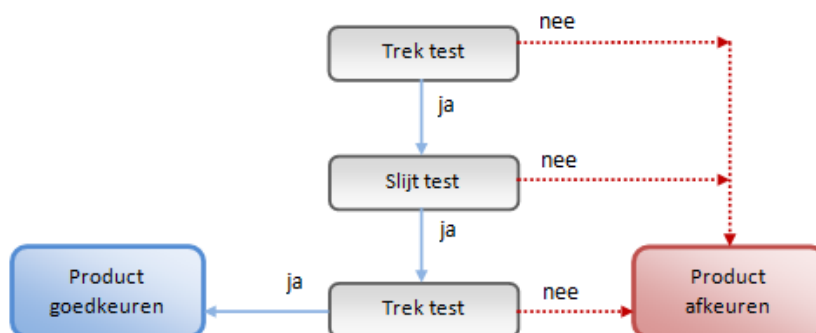
- 1^e stap: Het geotextiel testen op de doorstroom test en op de turbulente stroomtest;
- 2^e stap: Als de test voldoet het geotextiel testen op de valtest en op de statische doorponstest;
- 3^e stap: Voldoet het geotextiel op beide testen, dienen de monster die zijn getest op de valtest en statische doorponstest getest te worden op opnieuw de doorstroomtest en turbulente stroomtest;
- 4^e stap: Voldoet het geotextiel na de val test en statische doorponstest aan de doorstroomtest en turbulente stroomtest, dan kan het product op basis van dit stroomschema worden goedgekeurd.



Figuur 38: Stroomschema functionaliteit in relatie met de robuustheid

Stroomschema afname robuustheid gedurende gebruiksfase (zie figuur 39):

- 1^e stap: Het geotextiel moet getest worden op treksterkte;
- 2^e stap: Indien het geotextiel voldoet op treksterkte, dient het geotextiel op slijtsterkte te worden getest. Als de monsters niet zijn bezweken voldoet het geotextiel op slijtsterkte.
- 3^e stap: Als het geotextiel voldoet op slijtsterkte, dient nogmaals de treksterkte worden uitgevoerd. Bij een treksterkte > 75 % van de treksterkte bepaald bij de eerste treksterkte voldoet het geotextiel op afname van de robuustheid gedurende gebruiksfase.



Figuur 39: Schematische weergave modelproef op trekkrachten

Naast de testen op functionaliteit en robuustheid dient de levensduur van geotextiel van minimaal 50 jaar ook aangetoond te worden. Nadat de testen volgens de stroomschema's "functionaliteit in relatie met robuustheid" en "robuustheid gedurende de gebruiksfase" zijn uitgevoerd, dient de oventest te worden uitgevoerd. Uit de oventest volgt een vermindering van de treksterkte, de treksterkte die volgt uit de oventest dient wel groter te zijn dan de sterkte berekend in paragraaf 3.3.5.

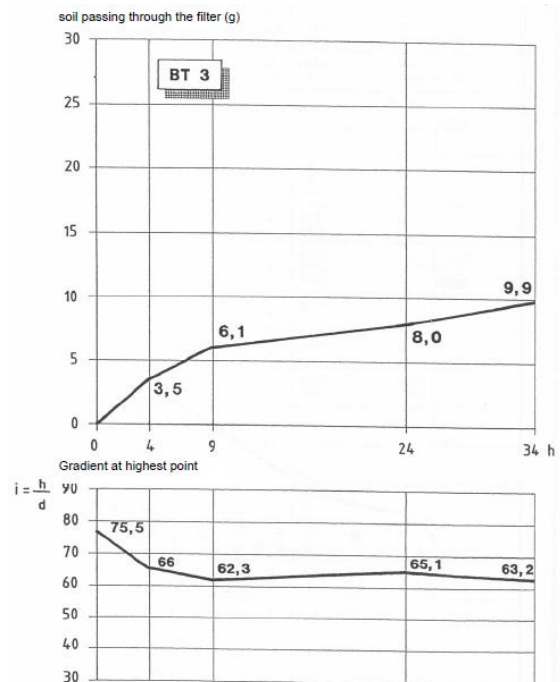
5.1 Functionaliteit

Het geotextiel dient op basis van functionaliteit te voldoen aan de gestelde eisen die voort zijn gekomen uit de ontwerpmethodiek. Er dient met een verificatie test aangetoond te worden dat het geotextiel zowel gronddicht als waterdoorlatend is. Dit kan aangetoond worden met de doorstroom en turbulente stroom test, deze testen gaan zowel in op gronddichtheid als waterdoorlatendheid. Het verschil hiervan is echter de grondclassificatie die gehanteerd wordt.

5.1.1 Doorstroomtest

Deze methode is gebruikt om de mechanische filterstabiliteit van geotextielen te testen voor het gebruik met zandige of licht siltige gronden ($d_{20} \geq 0.06$ mm) die blootgesteld zijn aan afwisselende stromen door het materiaal, deze proef uitvoeren volgens de RPG [7]. De mechanische filterstabiliteit van geotextielen bij deze grondsoorten wordt bepaald door het meten van de grond die het geotextiel passeert. De testmethode levert alleen resultaten op die betrouwbaar gereproduceerd kunnen worden voor zandige tot licht siltige gronden met k-waarden $\geq 1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Drie verschillende grondtypen worden gebruikt voor de test, namelijk grondtypen 1, 2 en 3 volgens 2.2.2.3. Vijf monsters, elke met een diameter van 168 mm, worden gestanst uit het laboratoriummonster. De monsterhouder met de monsters wordt langzaam in de watertank gezakt. Zo snel mogelijk nadat de waterniveau's in de monsterhouder en de watertank hetzelfde zijn, wordt de monsterhouder vanaf boven voorzichtig met water gevuld terwijl op hetzelfde moment de monsterhouder onder water wordt gehouden om vorming van stijghoogten te voorkomen. De monsterhouder wordt vastgemaakt op een diepte van 415mm onder het waterniveau tot de start van de test. Op het begin en aan het eind van de test wordt de temperatuur van het water in de tank gemeten. De monsterhouders, die 415 mm onder het wateroppervlak tot de test verborgen zijn, worden afwisselend

ondergedompeld in water en dan verwijderd van het water tijdens de test. Elke stij- en daalfase duurt 7 seconden; de stationaire fase op de hoogste en laagste punten duren minstens 30 seconden. Tijdens onderdompeling en de stationaire fase onder water komt het drukverlies overeen met de maximale stijghoogte. De waterstroming door het monster van beneden af veroorzaakt breuk van de bodem, producerende intense turbulentie. De belasting veroorzaakt door afwisselende stroomrichtingen duurt in totaal 34 uur. De watertanks waarin de monsters zijn ondergedompeld worden vervangen door sedimentvrij waterhouders na 4, 9 en 24 uur. De hoeveelheid grondpassage door het filtermonster tijdens elke testfase is bepaald door filtratie, droging en weging. De hoofdhoeveelheden van grondpassage door het filter tijdens iedere testfase is bepaald voor elk van de vijf monsters en uitgezet tegen de vier belastingsfasen om een grafiek te kunnen maken, zie figuur 40. De hydraulische gradiënt

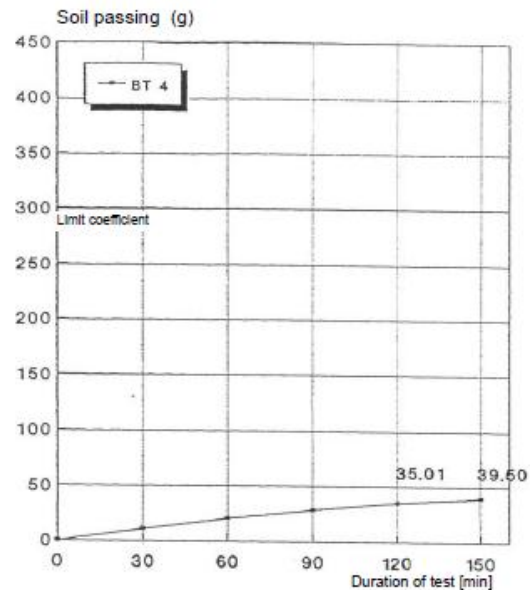


Figuur 40: Mechanische filterstabiliteit grondtype 1-3

op het hoogste punt is uitgezet in een grafiek onder het abscis van het diagram. De hellingen van de twee grafieken geven aan wanneer de filtratiesnelheid is gestabiliseerd, de relevante waarden zijnde de hoeveelheid van grondpassage door het filter in de laatste testfase (24 tot 34 uur na het begin van de test). Geotextielen zijn geacht stabiele filters te zijn voor grondtypen 1-3 wanneer de totale hoeveelheid grondpassage door het filter en de hoeveelheid passage tijdens de laatste testfase niet groter is dan de maximale toegestane hoeveelheidspecificaties. De verificatie dient te worden uitgevoerd op basis van de Nederlandse grondsoorten, deze komen nagenoeg overeen met de Duitse grondsoorten.

5.1.2 Turbulente stroomtest

De methode wordt gebruikt voor het testen van de mechanische filtratie stabiliteit van geotextielen in combinatie met zeer fijn gegradeerde gronden ($d_{20} < 0.06 \text{ mm}$) die blootgesteld worden aan externe turbulente stromingscondities, deze proef uitvoeren volgens de RPG [7]. De mechanische filterstabiliteit van de testgrond wordt bepaald door het meten van de grondpassage door het filter in elke fase van de test. De testresultaten geven ook aan of de snelheid waarmee de grond door het geotextiel passeert stabiel is. De test simuleert de blootstelling van geotextielen aan turbulente omstandigheden zoals deze kunnen voorkomen bijvoorbeeld tijdens het passeren van een schip met een kritische transversale hekgolf of schroef. De testresultaten geven voorzichtige resultaten voor de grondpassage door het geotextiel. Vijf monsters met elk een



Figuur 41: Mechanische filterstabiliteit grondtype 4

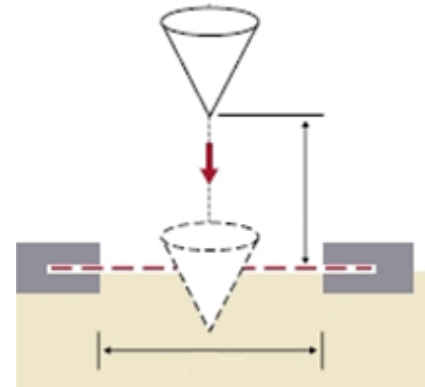
diameter van 168 mm zijn gestanst uit een laboratoriummonster. De grond van het monster wordt verdicht bij een frequentie van 50 Hz en een amplitude van 1,5 mm voor 240 seconden. Het deksel van het monster is gesloten en het monster is geborgen in drinkwater met een temperatuur van $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ voor 16 uur tot het verzadigd is. Het monster moet 20 cm onder het waterniveau worden geplaatst. De testapparatuur is ontworpen om drie monsters tegelijkertijd te kunnen testen. De temperatuur van het water in het testvat wordt aan het begin en het eind van de test gemeten. Vul de testvaten met drinkwater tot het niveau van een diepte van 20,5 cm. Verwijder de monsterhouder uit het water waarin deze was opgeborgen en plaats het gelijk in het testvat, dompel het onder een hoek onder ter voorkoming van luchtballen gevormd onder het testoppervlak. Onderwerp het filtermonster aan een turbulente stroming voor vijf belastingsfasen elk durende 30 minuten (een totaal aan 150 minuten). Elke fase wordt handmatig gestart door de besturingseenheid en beëindigt door een timer na 30 minuten. Voer het water in de watertank af naar het testvat na elke belastingsfase en spoel zorgvuldig de tank. Ga met de test door na het hervullen van de tank met vers water. De hoeveelheid van grondpassage door het filter wordt bepaald door het water wat wordt verzameld in het vat door filtering, droging en weging. De gemiddelde waarden voor de grondpassage door het filter worden voor de vijf monsters verkregen door het uitzetten van de belastingsfasen voor het maken van een grafiek, zie figuur 41. De helling van de grafiek geeft aan wanneer de filtratiesnelheid is gestabiliseerd, de relevante waarden zijnde de hoeveelheid van grondpassage door het filter in de laatste testfase (120 tot 150 minuten na het begin van de test). Geotextielen zijn geacht stabiele filters te zijn voor grondtype 4 wanneer de hoeveelheid grondpassage door het filter tijdens de laatste testfase niet groter is dan de maximale toegestane hoeveelheidspecificaties. De verificatie dient te worden uitgevoerd op basis van de Nederlandse grondsoorten, deze komen nagenoeg overeen met de Duitse grondsoorten.

5.2 Robuustheid

Het geotextiel dient op basis van robuustheid te voldoen aan de gestelde eisen die voort zijn gekomen uit de ontwerpmethodiek. Er dient een verificatie test te worden uitgevoerd voor perforatie weerstand, doorpons weerstand, treksterkte en het rekvermogen van het geotextiel, om aan te tonen dat het geotextiel over de vereiste eigenschappen beschikt.

5.2.1 Perforatieweerstand

Van de verificatie methode voor het testen van geotextielen op dynamische perforatiebelasting (inslag) is een schematische weergave gegeven in figuur 42. Deze verificatie methode is in feite een modelproef van hoe de waterbouwsteen in werkelijkheid wordt aangebracht, deze proef uitvoeren volgens RPG [7]. Hierbij wordt een stamper met een speciaal ontworpen snijrand van een hoogte x losgelaten, deze stamper (ofwel de waterbouwsteen) komt in aanraking met een geotextiel wat op een ondergrond is geplaatst en is vastgeklemd aan de zijkanten. De stamper heeft net als de maatgevende situatie van waterbouwsteen een puntige vorm, dat leidt tot meeste kans op beschadiging. Daarnaast dient de stamper altijd een gewicht van 76 kg te bevatten, dit gewicht is namelijk bepaald op basis van Duits onderzoek. De valenergie die wordt geleverd door de stamper op het geotextiel is regelbaar via het verstellen van de valhoogte, bij een hogere valhoogte komt er een grotere valenergie vrij. Dit alles komt overeen met de werkelijkheid waarbij een waterbouwsteen wordt losgelaten van een bepaalde hoogte, waarna deze in aanraking komt met het geotextiel wat op een ondergrond is geïnstalleerd en waarbij het geotextiel rondom is ingeklemd. Net als bij het ontwerp van een geotextiel op basis van perforatie wordt als maatgevende situatie verondersteld dat het geotextiel is ingeklemd, zie paragraaf 3.3.2.1.

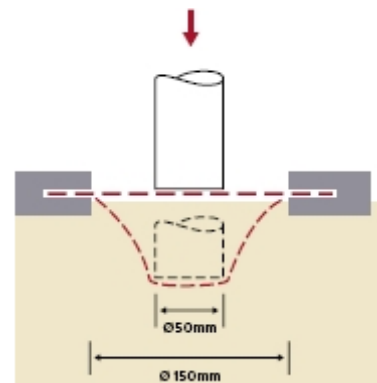


Figuur 42: Verificatie valtest

Hierbij is het mogelijk om type en strengheid van de testbelastingen zo in te stellen dat deze overeenkomen met de belastingen die voor komen tijdens het stortproces, het is ook mogelijk om de ondergrond na te bootsen van de ondergrond uit de praktijk. 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. Deze test is enkel van toepassing bij vliezen en composieten, dit omdat weefsel bestaan uit garens die haaks op elkaar zijn geweven. Hier zal een vallende steen altijd een gat veroorzaken tussen de garens, dit betekent dat weefsels niet geschikt zijn onder een gestorte steenbekleding.

5.2.2 Doorponsweerstand

De doorpons weerstand van het geotextiel dient aangetoond te worden met behulp van de "statische doorpons test", deze proef uitvoeren volgens de EN ISO 12236. Een schematische weergave van de statische doorpons test is weergegeven in figuur 43. Hierbij wordt een geotextiel wat rondom is ingeklemd belast door een stalen plunjer, die met een constante snelheid naar beneden wordt gedrukt. Hieruit volgt het moment van bezwijken van het geotextiel onder doorpons kracht. De statische doorpons test geeft een nauwkeurige bepaling van de maximale druk afhankelijk van de kracht op het geotextiel en de verplaatsing van het geotextiel (rek). De diameter van de plunjer bedraagt 50 mm, in

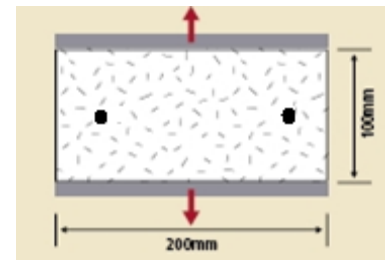


Figuur 43: Verificatie doorpons test

combinatie met een inklemmingslengte van 150 mm. Deze afmetingen zijn standaardafmetingen die EN ISO 12236 hanteert. Het verschil in afmetingen met de werkelijkheid heeft geen grote gevolgen ten opzichte van de kwaliteit van de doorpons weerstand van het geotextiel. Dit omdat hier een pluiner met een plat contactvlak het geotextiel belast, terwijl er in de berekening met een rond voorwerp wordt gerekend. Het platte contactvlak geeft namelijk een grotere belasting ten opzichte van een rond voorwerp met een meevervormend contactvlak. Deze test is van toepassing op vliezen, weefsel en composieten.

5.2.3 Treksterkte

De vereiste treksterkte van het geotextiel kan aangetoond worden met de trekproef, een schematische weergave is weergegeven in figuur 44, deze proef uitvoeren volgens de EN ISO 10319. Hierbij wordt een geotextiel aan de lange zijden ingeklemd tussen twee klemmen, die vervolgens met een bepaalde belasting het geotextiel uit elkaar trekt. De belasting op het geotextiel gaat net zo lang door tot het geotextiel gaat scheuren, waarbij de maximale trekkracht bepaald kan worden. Tevens is het ook mogelijk om de vervorming van het geotextiel te meten, dit kan door twee meetpunten op het geotextiel te plaatsen voordat de test wordt uitgevoerd en nadat de test is uitgevoerd de verlenging op te meten (zie zwarte stippen in figuur 44).



Figuur 44: Verificatie treksterkte test

5.2.4 Rekvermogen

Het bepalen van het rekvermogen van het geotextiel gebeurt in relatie met andere eigenschappen van het geotextiel. Het rekvermogen van het geotextiel dient namelijk bepaald te worden onder verschillende condities. Bij perforatie en doorponsen van het geotextiel is niet alleen de perforatie- en doorpons weerstand van invloed, maar dient ook het rekvermogen van het geotextiel groot genoeg te zijn zodat het geotextiel niet bezwijkt onder grote belastingen. Om te bepalen of de rek van het geotextiel voldoet dient de valtest (zie paragraaf 5.2.1) en de doorponstest (zie paragraaf 5.2.2) te worden uitgevoerd. Indien hier enige zichtbare verandering wordt waargenomen, geeft dit een reductie in filterstabiliteit en sterkte en kan worden beschouwd als schade.

5.2.5 Slijtsterkte

De testmethode voor slijtsterkte, simuleert de schuurbelastingen op geotextielen na zoals deze kunnen worden veroorzaakt door beweging van stenen in een bekleding, deze test is volgens de RPG [7]. 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. Wanneer 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 slijtsterkte.

De standaard test bevat twee schuurfasen van elk 40.000 omwentelingen. Zet de trommelsnelheid op 16 rpm en keer de draairichting om elke 5.000 omwentelingen. Beoordeel visueel de monsters na de eerste 40.000 omwentelingen. Wanneer de monsters nog niet zijn bezweken vernieuw dan het schuurmengsel en voor de tweede fase uit. Wanneer de monster niet bezweken zijn na 80.000 omwentelingen neem dan vijf monsters van het centra van de geschuurde oppervlakken en test hun trekkracht. Voordat de trekkrachttest wordt uitgevoerd moeten de monsters worden voorbereid door ze grondig te wassen en met lucht te drogen. De massa per oppervlakte-eenheid en de dikte van de gedroogde monsters worden bepaald voor de test. De trekkrachten mogen niet minder zijn dan 75 % van de trekkrachten voor de slijttest. Indien dit wel het geval is, wordt het geotextiel afgekeurd.

5.3 Levensduur

De levensduur van een geotextiel in een filterconstructie is gelijk aan de levensduur van de dijk- of damconstructie. De levensduur van een geotextiel wordt bepaald volgens de NEN-EN-ISO 13438 "Screening test method for determining the resistance to oxidation", hier wordt vanuit gegaan dat het geotextiel gedurende de gebruiksfase onderhevig is aan fysische en chemische veroudering. Deze test is ook wel de oven test, hierbij wordt een oven ingesteld op 100 °C of 110 °C. Waarna vervolgens de monsters in de oven worden geplaatst. Afhankelijk van het materiaal van het geotextiel (Polypropyleen of polyethyleen) en wat de toepassing is (versterking van de constructie of niet versterkend van de constructie), kan de duur van de test bepaald worden. Na het uitvoeren van de test kan de treksterkte en het rekvermogen van het geotextiel bepaald worden. Vervolgens kan de verhoudingen tussen de treksterkte en het rekvermogen voor en na de oventest worden bepaald en kan bepaald worden hoeveel % de treksterkte en het rekvermogen zijn afgenomen of toegenomen. Net als bij de slijtsterkte mag de treksterkte en het rekvermogen van het geotextiel niet meer afnemen dan 75 % van de treksterkte en rekvermogen voor de slijttest. Indien dit wel het geval is, wordt het geotextiel afgekeurd.

6. Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het onderzoek naar een ontwerprichtlijn voor het ontwerp van geotextielen als filterconstructie in de kust- en vooroeververdedigingen was om een ontwerpmethodiek op te stellen, die aantoont dat de eigenschappen van het geotextiel zowel op basis van functionaliteit als tijdens de uitvoering voldoen. Mede uitgegaan van de kennis en inzichten uit het buitenland, met name Duitsland, is een ontwerprichtlijn tot stand gekomen die toepasbaar is in de Nederlandse praktijk. In dit hoofdstuk wordt de conclusie van het onderzoek gegeven. In paragraaf 6.2 volgt de aanbeveling die gericht is aan de klankbordgroep “voor het opstellen van een ontwerprichtlijnen voor geotextielen onder de dijkbekleding”, en voor het uitvoeren van een vervolg onderzoek.

6.1 Conclusie

Er is een ontwerprichtlijn opgesteld die zowel ingaat op de functionele- en uitvoeringseisen aan het geotextiel. Op basis van drie niveaus zijn de eisen aan een geotextiel dat toegepast wordt als filterconstructie in een dijk of dam te bepalen. De drie niveaus stellen allen eisen aan de volgende eigenschappen van het geotextiel:

- Gronddichtheid;
- Waterdoorlatendheid;
- Perforatieweerstand;
- Doorponsweerstand;
- Rekvermogen;
- Treksterkte.

Een extra eis bij de eenvoudige methodiek is de slijtsterkte van het geotextiel, deze eis dient ook gehanteerd te worden bij de gedetailleerde en geavanceerde methode.

De eenvoudige methode is opgesteld op basis van de kennis en inzichten vanuit Duitsland. Duitsland hanteert namelijk twee tabellen die zijn gebaseerd op performance testen. Hierbij is er een onderscheid gemaakt tussen functionele en uitvoeringseisen. De tabel die ingaat op de functionele eisen is gebaseerd op Duitse grondsoorten. Bij het omzetten van deze tabel zijn de Duitse grondsoorten omgezet naar de Nederlandse grondsoorten, waardoor er kleine verschillen zijn ontstaan tussen de Duitse ontwerpvoorschriften en de Nederlandse ontwerprichtlijn.

De tabel die ingaat op de uitvoeringseisen is gebaseerd op steen klassen, omdat hier de Europese steen classificaties zijn gehanteerd is deze tabel nagenoeg overgenomen. Echter zijn hier wel enkele toevoegingen in verwerkt die meer op de Nederlandse praktijk zijn gericht.

De gedetailleerde methode voor de uitvoeringseisen is opgesteld op basis van enkele onderzoeken naar uitvoeringsaspecten tijdens het installeren van geotextielen en het aanbrengen van steenbekledingen. Ook het gehele proces vanaf het prefabriceren van een zinkstuk tot het afzinken van het zinkstuk is beschouwd. Op basis van deze onderzoeken en eigen inzichten zijn er formules opgesteld waaruit de uitvoeringseisen kunnen worden berekend.

Naar de functionele eisen zijn in het verleden al diepgaande onderzoeken uitgevoerd door zowel Nederland als Duitsland. Deze ontwerprichtlijn is een combinatie geworden van de Nederlandse en Duitse onderzoeken, er heeft op basis van enkele aspecten een afweging plaats gevonden tussen beide onderzoeken en is zo de meest betrouwbare ontwerprichtlijn opgesteld.

De geavanceerde methode betreft modelproeven en laboratoriumonderzoeken, die aantonen of de eigenschappen van het geotextiel bij extreme omstandigheden voldoen. Deze modelproeven en laboratoriumonderzoeken gaan in op de eigenschappen die in het begin van dit hoofdstuk zijn genoemd.

De ontworpen geotextielen volgens de ontwerprichtlijn dienen vervolgens in de praktijk te worden gecontroleerd, zodat de benodigde kwaliteit van het geotextiel kan worden gewaarborgd. Hiervoor zijn testen bedacht die per eigenschap aan kunnen tonen of het geotextiel hieraan voldoet.

6.2 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 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 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.
- 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 verificatietesten in hoofdstuk 5 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 ontwerp methode te worden gecontroleerd. Bij afwijkende eisen tussen de verificatietest en de gedetailleerde ontwerp methode dient de gedetailleerde methode opnieuw verantwoord te worden en teruggekoppeld worden aan de verificatietest.
- 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.
- 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 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.

Literatuur

- [1] CUR. (1992). *CUR-rapport 155: 'Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen'*. Gouda: CUR.
- [2] CURNET. (2009). *CUR-rapport 174: 'Geokunststoffen in de waterbouw – Tweede, herziene uitgave'*. Gouda: Stichting CURNET.
- [3] CUR. (2003). *CUR C127: 'Van nikt tot parametermatrix'*. Gouda: CUR.
- [4] Veldhuijzen van Zanten, R. (1986). *'Geotextiles and geomembranes in civil engineering'*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- [5] CUR. (1991). *CUR-rapport 151: 'Geokunststoffen in de civiele techniek'*. Gouda: Stichting CUR.
- [6] CUR. (2001). *CUR-publicatie 206: 'Geokunststoffen op de bouwplaats'*. Gouda: Stichting CUR.
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau. (1994). *'Richtlinien für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG)'*. Karlsruhe: BAW.