

174

Geokunststoffen in de waterbouw



Tweede, herziene uitgave

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CURNET.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. "©CUR-rapport 174 'Geokunststoffen in de waterbouw - Tweede, herziene uitgave', Stichting CURNET, Gouda, 2009."

Aansprakelijkheid

CURNET en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en CURNET sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens CURNET en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

174

Geokunststoffen in de waterbouw

Tweede, herziene uitgave



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat



NEDERLANDSE GEOTEXTIELORGANISATIE



Symbolenlijst	6
Voorwoord	9
Samenvatting	10
1 Inleiding	12
1.1 Algemeen	12
1.2 Toepassingen in de waterbouw	12
2 Algemene ontwerpaspecten	18
2.1 Inleiding.....	18
2.2 Inleiding filterconstructies.....	18
2.2.1 Inleiding.....	18
2.2.2 Filterconstructies algemeen.....	19
2.2.3 Filtertypen algemeen	20
2.3 Ontwerpaanpak.....	21
2.4 Inventarisatie basisgegevens.....	22
2.5 Geometrisch ontwerp	24
2.6 Veiligheidsbeschouwing	24
2.6.1 Inleiding.....	24
2.6.2 Deterministische methode	24
2.6.3 Faalmechanismen	26
2.7 Ontwerpaspecten geotextiel.....	26
2.7.1 Algemeen	26
2.7.2 Materialen	28
2.7.3 Openingsgrootte geotextiel	28
2.7.4 Waterdoorlatendheid.....	29
2.7.5 Treksterkte en rekvermogen	29
2.7.6 Naainaden.....	30
2.7.7 Duurzaamheid.....	31
2.7.8 Overige ontwerpaspecten.....	34
3 Ontwerpen en dimensioneren	35
3.1 Inleiding.....	35
3.2 Grondichtheid	36
3.2.1 Algemeen	36
3.2.2 Korrelverdeling grond	36
3.2.3 Grondichtheid	36
3.2.4 Geometrisch dichte geotextielen	40
3.2.5 Karakteristieke openingsgrootte	44
3.2.6 Geometrisch open geotextielen	44
3.2.7 Toepassing geotextiel direct op klei.....	45
3.3 Waterdoorlatendheid.....	45
3.3.1 Algemeen	45
3.3.2 Waterdoorlatendheid loodrecht op het grensvlak	46
3.3.3 Doorlatendheid van de ondergrond.....	47
3.3.4 Ontwerp op basis van de doorlatendheid k.....	48
3.3.5 Ontwerp op basis van de permittiviteit.....	49
3.4 Vermindering van doorlatendheid als gevolg van lange duur processen.....	51
3.4.1 Blocking.....	51
3.4.2 Blinding.....	52
3.4.3 Clogging.....	52
3.4.4 Verandering openingsgrootte onder invloed van trekbelasting	55
3.5 Sterkte-ontwerp	56
3.5.1 Algemeen	56
3.5.2 Taluds.....	57
3.5.3 Sterkte eis als gevolg van installatie	59
3.5.4 Sterkte eis als gevolg van bestortingen.....	60
3.5.5 Lange duur sterkte	63
3.6 Andere ontwerpaspecten	63
3.6.1 Zinkstukken.....	63
3.6.2 Oeverbeschermingen.....	63

3.6.3	Lengte waarover geotextiel (kraagstuk) wordt toegepast op een talud.....	64
3.6.4	Duurzaamheid.....	65
3.7	Applicatienormen.....	66
3.8	Structuurmatten als erosiebescherming.....	66
3.8.1	Inleiding.....	66
3.8.2	Structuurmat ontwerp voor een natte toepassing.....	68
3.8.3	Structuurmat ontwerp voor taluds boven de stilwaterlijn.....	71
3.9	Overige ontwerpaspecten.....	73
3.9.1	Algemeen	73
3.9.2	Aansluiten op de ondergrond.....	73
3.9.3	Overgangen	74
3.9.4	Overlappen	74
3.9.5	Aansluitingen op andere bekledingsmaterialen	75
3.9.6	Aansluitingen op constructies	75
3.9.7	Teenconstructies	77
3.9.8	Uitzakken van taludbekledingen.....	79
3.9.9	Doorgroeibaarheid van geotextielen.....	79
3.9.10	Milieubelasting.....	80
3.10	Rekenvoorbeeld	81
4	Testmethoden.....	89
4.1	Algemeen	89
4.2	Hoofdindeling van testmethoden.....	89
4.3	Overzicht van indextesten	91
4.3.1	Geometrisch fysische testmethoden	91
4.3.2	Fysisch-mechanische testmethoden	91
4.3.3	Waterdoorlatendheid.....	95
4.3.4	Openingskarakteristiek	95
4.3.5	Filterwerking en grond dichtheid	96
4.3.6	Testmethoden ter bepaling van de duurzaamheid (durability)	97
5	Uitvoering.....	99
5.1	Algemeen	99
5.2	Transport en opslag.....	99
5.3	Gereedmaken of prefabricage op het werk.....	103
5.3.1	Grotere secties zonder ballast	104
5.3.2	Zinkstukken.....	106
5.3.3	Vaste ballastmatten.....	109
5.4	Plaatsing en uitvoering.....	113
5.4.1	Glooiing- en oeverconstructies.....	114
5.4.2	Bodem en oeververdediging	118
5.4.3	Geosystemen	126
5.4.4	Erosiebescherming van taluds, lichte oever beschermingen.....	132
5.4.5	Verticale oeverbeschermingen voor kleine binnenwateren	135
5.4.6	Overgangsconstructies.....	137
5.5	Kwaliteitsaspecten	143
5.5.1	Productkwaliteit	143
5.5.2	Bestekseisen.....	148
5.5.3	Voorbeeld Programma van Eisen voor geotextielen	150
	Literatuur.....	154
	Bijlagen	
A.	Introductie geotextielen.....	157
B.	Hydraulische belastingen	172
C.	Ontwerprelaties geometrisch open geotextielen voor parallelle stroming	183
D.	Waterdoorlatendheid evenwijdig aan het grensvlak	190
E.	Bepalen van de valhoogte bij storten van breuksteen onder water	191
F.	Kennislacunes op het gebied van de toepassing van geokunststoffen in de waterbouw	193



Symbolenlijst

Symbol	Betekenis	Eenheid
A	doorstroomoppervlak	m^2
B_L	stroomlijnlengte	m
B_m	breedte van de monoliet	m
B	karakteristieke breedtemaat	m
C_B	factor volgens Beyer	-
c_m	constante afhankelijk van het basismateriaal	-
c	cohesie	N/m^2
c'	effectieve cohesie ondergrond	kPa
c_s	schadefactor bij bulkbestorting	-
c_t	constante die onder meer afhangt van C_u	-
C	Chezy-coëfficiënt	-
C_u	uniformiteitscoëfficiënt	-
d	waterdiepte	m
D	dikte van de stortsteenlaag op het geotextiel	m
D_{10}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert	m
D_{50}	afmeting van de steenlaag die door 50 % van de stenen in de steenlaag wordt onderschreden	m
D_{60}	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 60% de zeef passeert	m
D_{85}	karakteristieke korreldiameter van het stortmateriaal	m
D_{bx}	korreldiameter van granulair basismateriaal die door x % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderschreden	m
D_{fx}	korreldiameter van granulair filtermateriaal die door x % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderscheiden	m
d_f	dikte van de hoofdfilterlaag	m
D	karakteristieke diameter van de steen/korrel	m
D_i	indicatieve grootte van het basis materiaal	m
D_w	effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10%, bepaald met de natte zeefmethode, door het geotextiel passeert	
E	elasticiteitsmodulus van het geotextiel	kN/m^2
e	verhouding schuifspanning en poriënsnelheid bij het grensvlak	-
E'	stijfheidsmodulus van het geotextiel	kN/m
F_{anker}	verankeringskracht	N/m^1
F_{kar}	karakteristieke sterkte van het geotextiel	kN/m
f_d	reductiefactor voor beschadiging tijdens inbouw	-
F_o	lange duur sterkte	kN/m
f_e	reductiefactor voor chemische invloeden	-
f_k	reductiefactor voor kruip	-
f_m	reductiefactor voor extrapolatie en productie nauwkeurigheid	-
$f_{naainaad}$	reductiefactor voor effect van naainaden	-
G_{korrel}	gewicht van één korrel (één bol) onder water	kg/m^3
G	gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak	kN/m^2
g	gravitatieversnelling, versnelling van de zwaartekracht	m/s^2
h	dikte gronddekking	m
H_{stort}	valhoogte van het stortmateriaal	m
$H_{(s)}$	(significante) golfhoogte	m
H	waterdiepte	m
H_o	hoogte van de steen boven water	m
h_1	hoogte van de onvlakheid van de ondergrond	m
HW	niveau hoogwater	m
i	(langs)verhang	-
i_b	verhang in het basismateriaal	-
i_b	gradiënt in het basismateriaal	-
i_c	kritische gradiënt	-
i_{cr}	kritiek verhang	-
i_n	verhang loodrecht over het geotextiel	-

$I_{n,max}$	het maximale verhang loodrecht op het grensvlak	-
i_p	verhang over constructie	-
i_p	hydraulische gradiënt evenwijdig aan het grensvlak	-
k	de doorlatendheid van de ondergrond	m/s
k_b	doorlatendheidscoëfficiënt van het basismateriaal	m/s
k_f	doorlatendheidscoëfficiënt van de filterlaag	m/s
k_g	doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel, gedefinieerd als $v_f = k_g j^m$	m/s
k_n	loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel	m/s
k_p	doorlatendheidscoëfficiënt in het vlak van het geotextiel	m/s
k_t	doorlatendheidscoëfficiënt van de toplaag	m/s
k_z	doorlatendheidscoëfficiënt van de ondergrond	m/s
L_{anker}	verankeringslengte	m
L_{geo}	lengte geotextiel langs het talud	m
L_{mat}	lengte structuurmat	m
L	golflengte	m
L_{kar}	karakteristieke lengtemaat	m
L_1	lengte van de onvlakheid van de ondergrond	m
L_2	lengte van de onvlakheid van een geotextiel	m
l_k	afvoerlengte van de filterlaag	m
LW	niveau laagwater	m
m	exponent in vergelijking voor de doorlatendheid	-
m_a	massa van het geotextiel per eenheid van oppervlak	kg/m ²
n	porositeit van het filter / toplaag	-
O_{90}	poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de gemiddelde diameter van die zandfractie waarbij 10 % het geotextiel passeert	m
O_f	filter openingsgrootte	m
O_{max}	poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de grens tussen de zandfractie waarvan een deel door het geotextiel valt en de zandfractie die geheel op het geotextiel achterblijft, vergelijkbaar met O_{98}	m
P_a	atmosferische druk	Pa
PI	plasticiteitsindex	
Q	debiet	m ³ /s
R	golfoploop	m
Re	Reynolds-getal	-
RF_1	reductiefactor voor het verschil in indrukking onder gebruikslast versus testconditie	-
RF_2	reductiefactor voor lange duur samendrukking onder belasting	-
RF_3	reductiefactor voor chemische degradatie	-
RF_4	reductiefactor voor blocking door gronddeeltjes	-
RF_5	reductiefactor voor chemische clogging	-
RF_6	reductiefactor voor biologische clogging	-
RF_{tot}	Product van de reductiefactoren $RF_1 \cdot RF_2 \cdot \dots \cdot RF_n$	-
R_R	retention ratio	-
S_b	belasting	-
S	verzadigingsgraad van de ondergrond	-
T	golfteriode	s
t	temperatuur	K
t_g	dikte van het geotextiel	m
T_m	maximaal toelaatbare trekkracht in het geotextiel	kN/m
u	dynamische viscositeit	kg/m·s
U	stroomsnelheid	m/s
U_0	snelheid waarmee de steen het wateroppervlak treft	m/s
U_e	evenwichtssnelheid van een vallende steen in water	m/s
U_x	snelheid van de steen op een afstand x	m/s
v_f	filtersnelheid (in het geotextiel)	m/s
$v_{f,cr}$	filtersnelheid bij het begin van de beweging	m/s
V_{H50}	gedefinieerd als de snelheid die optreedt bij een stijghoogteverschil van 50 mm over het geotextiel, met een nauwkeurigheid van 1 mm/s	m/s
w	valsnelheid van de korrels	m/s
x	afstand waarover de steen valt	m
α	taludhelling	°
β	de hoek van het stijghoogtefront ten opzichte van de verticaal	°
δ	wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond ofwel de toplaag	°



Δ	relatieve dichtheid van het toplaagmateriaal	-
Δ_b	relatieve dichtheid van het basismateriaal	-
Δh	verval	m
Δh_g	verval over het geotextiel	m
θ	transmissiviteit	m ² /s
v_f	filtersnelheid in het vlak van het geotextiel	-
ρ_a	dichtheid van het afdek materiaal	kg/m ³
ρ_s	dichtheid van korrelmateriaal/toplaag	kg/m ³
ρ	dichtheid van water	kg/m ³
ϕ	hoek van inwendige wrijving ondergrond	°
ψ	permittiviteit	1/s
ψ_s	Shields-parameter	-
ΔH	verval over constructie	m
β	taludhelling	°
ε_m	maximale rek van het geotextiel	%
ϕ_b	variatie in stijghoogte op de bodem	m
ϕ_b	stijghoogte op het talud onder de aankomende golftop ten opzichte van het punt waar het stijghoogtefront aansluit op het talud	m
γ	'overall' veiligheidsfactor	-
τ_*	schuifspanning op de bodembescherming	N/m ²
τ_c	kritieke schuifspanning	N/m ²
ν	kinematische viscositeit van water	m ² /s
λ	lek lengte	m

Voorwoord

CUR-publicatie 174 'Geotextielen in de Waterbouw' is in januari 1995 verschenen. Sinds die tijd is veel kennis en ervaring opgedaan met geotextielen in de waterbouw, zowel praktisch als theoretisch. Naast ontwikkelingen in het kader van CEN/ISO normering is in de afgelopen jaren met name het inzicht met betrekking tot de ontwerpfilosofie en de uitvoering verder uitgekristalliseerd. Al deze aspecten vormden de aanleiding voor een geheel herziene uitgave.

Omdat tegenwoordig meestal de generieke naam geokunststoffen wordt gebruikt in plaats van de aanduiding geotextielen, is besloten om de titel van deze herziene uitgave te wijzigen in "Geokunststoffen in de waterbouw".

Het handboek is bedoeld voor de waterbouwkundige ontwerper zonder specialistische achtergrond op het gebied van geokunststoffen.

In een preadviesfase zijn de grote lijnen aangegeven voor deze herziening. CUR-commissie C 150 heeft vervolgens de uitwerking ter hand genomen.

Bij het verschijnen van deze tweede, geheel herziene druk was de samenstelling van de commissie als volgt:

ir. W. Voskamp, voorzitter	-
ir. A. Bezuijen, secretaris	Deltares
ir. E. Berendsen	Rijkswaterstaat Dienst Infrastructuur
D.A. Bodegom	Royal Boskalis Westminster nv
M.A. Heereveld, MSc	Royal Haskoning
ir. J.S. Reedijk	BAM Infraconsult BV
ir. G.B.H. Spaan	Van Oord Dredging & Marine Contractors
ing. E.W. Vastenburg, rapporteur	Deltares
ing. D.P. de Wilde	Rijkswaterstaat Dienst Infrastructuur
ing. E.L.F. Zengerink	TenCate Geosynthetics Europe
ing. A. Jonker, coördinator	CUR Bouw & Infra

Het rapport is samengesteld door ing. E.W. Vastenburg (Deltares), waarbij een belangrijke bijdrage is geleverd door ir. W. Voskamp bij de totstandkoming van hoofdstuk 5.

Verder een bijzonder woord van dank voor het leveren van een belangrijke redactionele bijdrage door de heren, ir. E. Berendsen (RWS Dienst Infrastructuur), ir. A. Bezuijen (Deltares), D.A. Bodegom (Royal Boskalis Westminster), ir. M. Klein Breteler (Deltares), ing. P. van der Linde (Deltares/TU Delft), ing. R. Thijsen (destijds Deltares, thans Volker Wessels Stevin Geotechniek B.V.) en ing. D.P. de Wilde (RWS Dienst Infrastructuur).

Naast dank aan de hierboven genoemde personen spreekt CUR Bouw & Infra haar dank uit aan onderstaande organisaties die met hun financiële bijdrage de totstandkoming van deze geheel herziene uitgave mede mogelijk hebben gemaakt:

Colbond B.V.
Delta Marine Consultants
Deltares
Hydronamic
NGO
Rijkswaterstaat Dienst Infrastructuur
Van Oord

oktober 2009

Het bestuur van CURNET

Samenvatting

Geokunststoffen is een verzamelnaam voor kunststofproducten die al vele jaren in de civiele en milieutechniek worden toegepast. De vele soorten geokunststoffen hebben in de loop van de tijd een breed scala aan toepassingen gevonden. In dit handboek worden de volgende waterbouwkundige constructies met geokunststoffen nader besproken; bodemverdediging, taludverdediging (glooiingsconstructies), dam en dijk constructies, monoliet constructies, verticale/overgangsconstructies en erosiebeschermingsmatten. Hierbij speelt de filterfunctie, en vooral het verhinderen van uitspoeling (erosie), meestal de belangrijkste rol.

Doel van deze publicatie is de ontwerper een basis te geven voor het ontwerpen van constructies waarin geokunststoffen worden toegepast. Deze uitgave is een herziene versie van CUR-publicatie 174: "Geotextielen in de Waterbouw". Omdat tegenwoordig meestal de generieke naam geokunststoffen gebruikt wordt in plaats van de aanduiding geotextielen, is de titel van de publicatie gewijzigd in "Geokunststoffen in de waterbouw".

In de handleiding wordt naast een aantal algemene (ontwerp)aspecten voornamelijk aandacht besteed aan de belastingen en de faalmechanismen die tijdens de bouw en gedurende de gebruiksfase van constructies waarin geokunststoffen zijn toegepast kunnen optreden en hoe daarop kan worden gedimensioneerd. In veel gevallen blijken de grootste belastingen op te treden tijdens de uitvoeringsfase.

De meest gangbare (ontwerp)aspecten voor elke constructie met geokunststoffen zijn onder andere zanddichtheid, waterdoorlatendheid, het spannings-rek gedrag, de naaiaad verbindingen, het lange-duurgedrag, de veroudering van het materiaal en de hieruit voor het ontwerp voortvloeiende sterktereducerende materiaalfactoren. Voor het ontwerpen van constructies met geokunststoffen wordt bij de veiligheidsbeschouwing uitgegaan van een deterministische benadering; waarin de veiligheid voor belasting en sterkte is gecombineerd, of één voor belasting en één voor sterkte.

De testmethoden die bepaalde eigenschappen van alleen het geotextiel meten (de zogenoemde index tests) zijn in de afgelopen jaren gestandaardiseerd op Europees of internationaal (ISO) niveau. Veel normen zijn zogenoemde CEN-ISO normen en worden dus zowel in Europa als internationaal gebruikt. Dit betekent dat de eigenschappen die worden gemeten vergelijkbaar zijn.

Over het algemeen bestaan de waterbouwkundige constructies, behandeld in dit handboek, uit een basismateriaal, bijvoorbeeld de kern van een dijk, die beschermd wordt door een toplaag en een filterconstructie bestaande uit één of enkele filterlagen. Het gedrag van een filterconstructie wordt bepaald door: de grootte van de openingen, de samenstelling van de ondergrond en de optredende belastingen. Filters kunnen in twee typen worden onderscheiden; geometrisch dichte filters en geometrisch open filters.

Bij geometrisch dichte filters vindt, onafhankelijk van de hydraulische belastingen die worden uitgeoefend, geen transport plaats van materiaal uit de basislaag door het filter. Dit houdt in dat de kleinste openingen in het filter zo klein moeten zijn dat de gronddeeltjes uit de basislaag er niet doorheen kunnen spoelen. Bij geometrisch open filters is in principe transport van materiaal door het filter mogelijk, omdat de openingen voldoende groot zijn. De optredende hydraulische belastingen zijn echter zo gering dat deze kleiner zijn dan de kritieke belastingen, waardoor er geen transport is van materiaal door het filter.

Als de filterconstructie bestaat uit een geotextiel en het materiaal direct onder het geotextiel zand is, dan is een praktische regel dat in eerste instantie een geometrisch dichte constructie wordt toegepast. Als dit niet mogelijk blijkt, omdat de eisen voor grond dichtheid en waterdoorlatendheid niet met elkaar in overeenstemming te brengen zijn, kan een geometrisch open filter worden overwogen.

Naast het vaststellen van de specificaties van het geotextiel spelen de aansluiting van het geotextiel op de ondergrond en de begrenzingen, ofwel overgangen een belangrijke rol. Het belang hiervan wordt wel aangetoond doordat in de praktijk is gebleken dat het ontwerp over het algemeen niet op de bepaling van het juiste geotextiel faalt, maar juist op deze aspecten. Daarnaast blijkt dat tijdens de uitvoeringsfase beschadigingen optreden. Bijvoorbeeld dooronvoldoende verdichte ondergrond, te grove breuksteen direct op het geotextiel of een verkeerde uitvoeringsmethode, zoals stenen van die van grotere hoogte op het doek zijn gestort of met een kraan zijn verspreid over het geotextiel.

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Algemeen

Deze uitgave is een herziene versie van de CUR-publicatie 174 “Geotextielen in de Waterbouw”. De tekst is aangevuld met de meest recente inzichten. Daarnaast is de tekst op nieuw geredigeerd om tot een evenwichtiger behandeling te komen van de verschillende onderwerpen. Behalve theorie bevat de tekst ook rekenvoorbeelden ter verduidelijking.

Tegenwoordig wordt meestal de generieke naam geokunststoffen gebruikt in plaats van de aanduiding geotextielen. Om deze reden is de naam van de publicatie gewijzigd van “Geotextielen in de waterbouw”, in “Geokunststoffen in de waterbouw”.

Het handboek richt zich op de waterbouwkundige ontwerper, zonder specialistische achtergrond op het gebied van geokunststoffen.

De nodige beperkingen zijn opgelegd, hetgeen zijn weerslag heeft op het toepassingsgebied van het handboek. Zo zijn alleen geokunststoffen beschouwd met als hoofdfuncties filterwerking en bescherming tegen erosie. Toepassingen als wapening, afvoer van water en afdichtingen zijn buiten beschouwing gelaten. Deze komen overigens in de waterbouw minder vaak voor.

De belangrijkste wijzigingen ten opzicht van de eerste versie zijn:

- voor de Index tests wordt nu de Europese normering gebruikt;
- de rekenvoorbeelden zijn verduidelijkt;
- uitvoeringsaspecten en praktische richtlijnen zijn toegevoegd;
- ontwerpfilosofie en aanpak is verduidelijkt.

1.2 Toepassingen in de waterbouw

Geokunststoffen is een verzamelnaam voor kunststofproducten die al vele jaren in de civiele- en milieutechniek worden toegepast. De vele soorten geokunststoffen hebben in de loop van de tijd een breed scala aan toepassingen gevonden. Tabel 1 geeft een opsomming van mogelijke toepassingen, gerelateerd aan de functie van het geotextiel. Het gearceerde gebied geeft het geldigheidsgebied van dit handboek weer.

In [44] worden verschillende typen geokunststoffen (weefsels, vliezen etc.) behandeld met bijbehorende toepassingsgebieden. Het introductiedeel van deze CUR-publicatie is terug te vinden in bijlage A van deze publicatie.

In dit handboek worden de volgende constructies met geokunststoffen nader besproken:

1. Bodemverdediging
2. Taludverdediging (glooiingsconstructies)
3. Dam- en dijkconstructies
4. Monoliet constructies
5. Verticale oeververdedigingen
6. Erosiebeschermingsmatten

Aspecten ten aanzien van het ontwerp van bovengenoemde constructie worden behandeld in hoofdstuk 3.

Tabel 1 Toepassingen van geokunststoffen en (gearceerd) geldigheidsgebied van het handboek.

Functie	Voornaamste eigenschappen	Toepassing	materiaal
Wapening (geotextiele zand-elementen)	sterk, stijf, grondkerend, weerstand tegen afschuiven, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	bouwen van steile taluds	PET-weefsels
		ophogingen op slappe ondergrond	PP-weefsels, PE of PET geogrids
Filter en scheiding	rekbaar, grondkerend, waterdoorlatend, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	- oever- en bodembescherming - bescherming van taluds tegen erosie - grondlichte laag achter constructies - filterconstructies	PET-, PP-, PE-, PA-weefsel of -vlies
Schermb	rekbaar, ondoorlatend, weerstand tegen beschadigingen tijdens uitvoering en gebruiksduur.	- bekleding van vloei-stofreservoirs - omhulling van ingegraven constructies - isolatie vuilstortplaat- sen en saneringen	HDPE, LDPE, PVC-P, ECB, CPE
Drainage	waterdoorlatend (richtingsafhankelijk)	waterafvoer	PET-, PP-, PE-, PA-weefsel of -vlies, geocomposiet

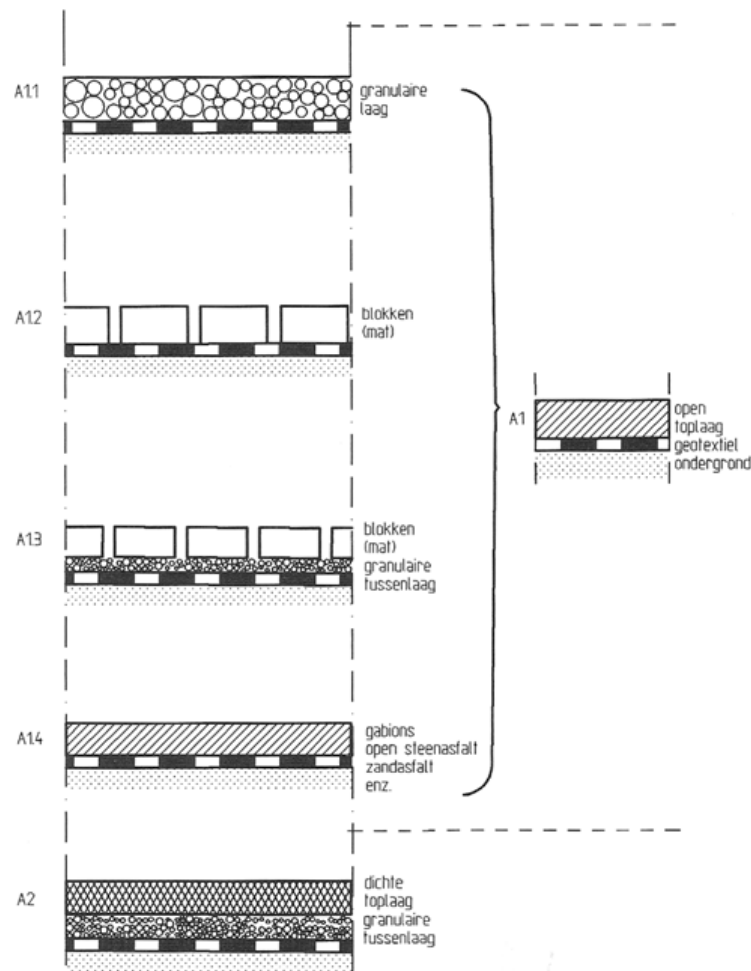
Geotextiele zandelementen zijn een speciale toepassing van geotextielen binnen de waterbouw en vallen primair onder de wapeningsfunctie. Naast de wapeningsfunctie kunnen de elementen tevens een filter en scheidingsfunctie vervullen. In [33] wordt een overzicht gegeven van de verschillende systemen en toepassingsgebieden. In [34] wordt de ontwerpaanpak beschreven. In dit handboek wordt niet verder op het ontwerp van deze systemen ingegaan en wordt verwezen naar de bovengenoemde literatuur. In hoofdstuk 5 wordt wel stil gestaan bij een aantal specifieke uitvoeringstechnische zaken betreffende het gebruik van geotextiele zandelementen.

Ad 1 Bodemverdediging

Twee typen bodembescherming kunnen worden onderscheiden, namelijk:

- min of meer open toplaag (type A1, in figuur 1);
- dichte toplaag (type A2, in figuur 1). Het geotextiel wordt hier toegepast om te voorkomen dat het fijner zand zich mengt in de granulaire tussenlaag.

Fig. 1
Bodembeschermingen.



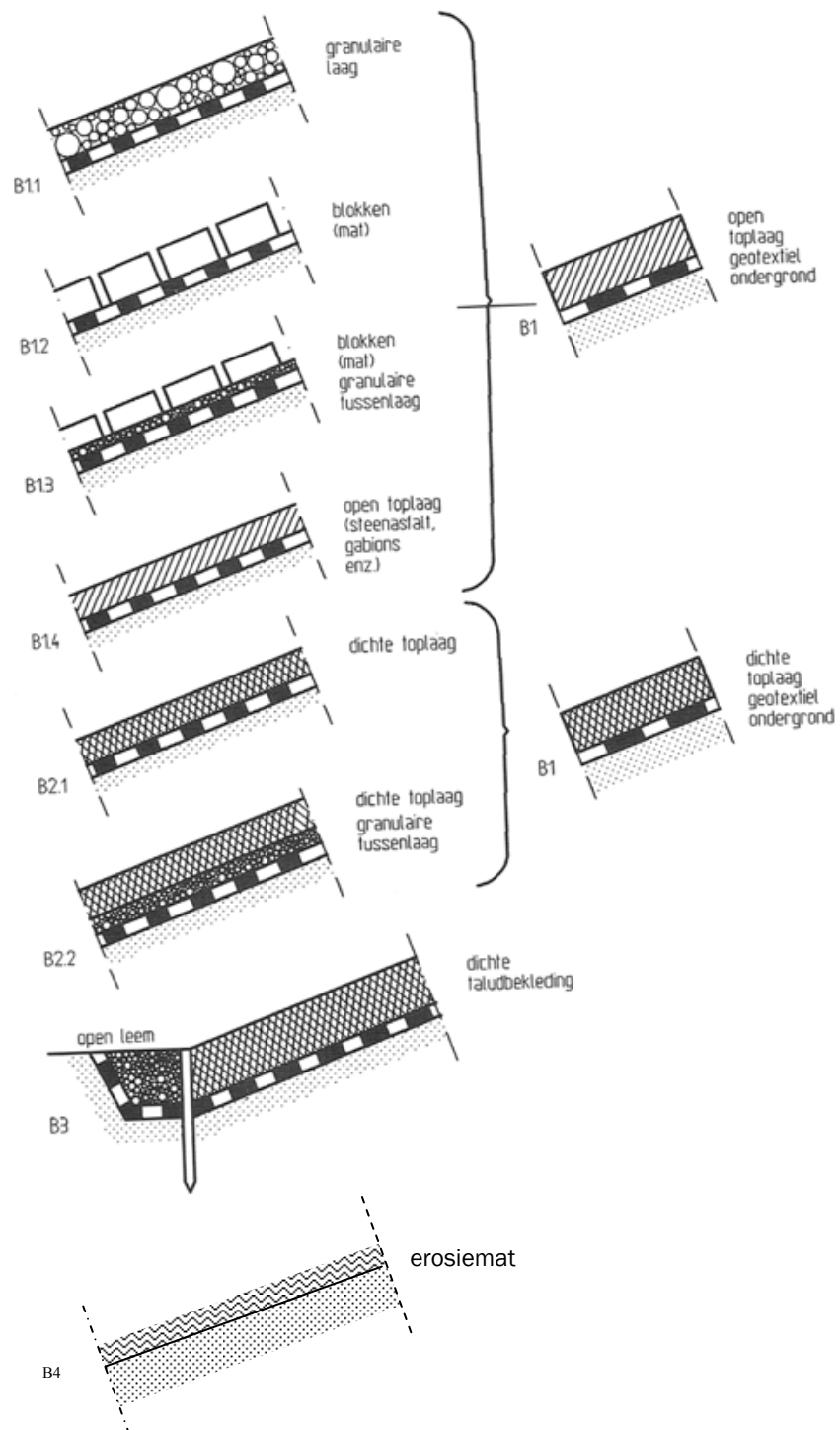
Ad 2 Taludverdedigingen (glooiingsconstructies)

Geotextielen hebben in taludverdedigingen verschillende functies. De belangrijkste is het voorkomen van erosie van de ondergrond (basismateriaal). Andere functies zijn het scheiden van verschillende grondlagen en het versterken van de grond. De functie is mede afhankelijk van het type constructie, zoals hieronder zal worden toegelicht.

De volgende typen worden onderscheiden:

- constructies met een min of meer doorlatende toplaag (type B1 in figuur 2);
- constructies met een ondoorlatende toplaag (type B2 in figuur 2);
- teenconstructies waarbij op het talud een waterdichte toplaag aanwezig is die direct op het geotextiel ligt (type B3 in figuur 2);
- kunststof erosiematten (type B4 in figuur 2).

Fig. 2
Talusbekledingen.

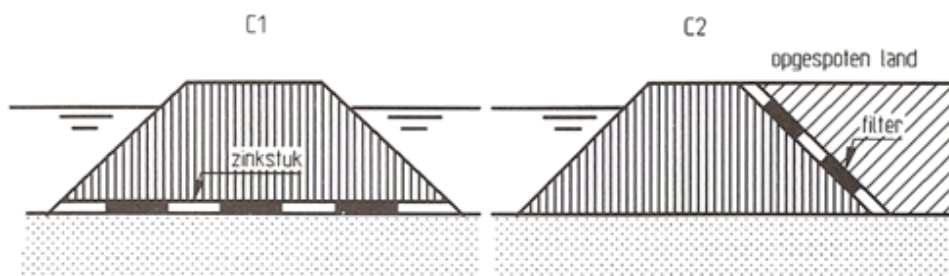


Ad 3 Dam en dijk constructies

Twee typen worden onderscheiden:

- constructies waarbij het geotextiel onderdeel is van een scheidingslaag onder een dam (type C1 in figuur 3);
- constructies waarbij het geotextiel als scheidingslaag tussen een dam en een zandlichaam, bijvoorbeeld een opgespoten terrein, fungeert (type C2 in figuur 3).

Fig. 3
Dammen en dijken.

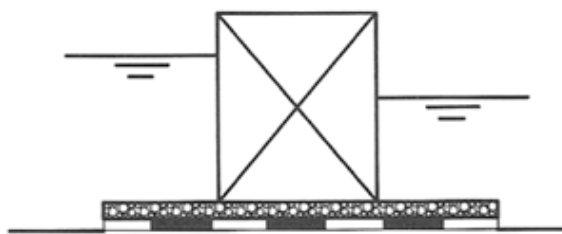


In beide typen is de laagscheiding de hoofdfunctie van het geotextiel. Alleen als het dijklichaam uit grofkorrelig materiaal bestaat, zal ook de filterwerking van belang zijn.

Ad 4 Monolietconstructies

Filters onder monolietconstructies, zoals caissons en sluizen, bestaan, vanwege de waterafvoerende functie, vrijwel altijd ook uit een granulair materiaal (zie figuur 4).

Fig. 4
Monolietconstructies.

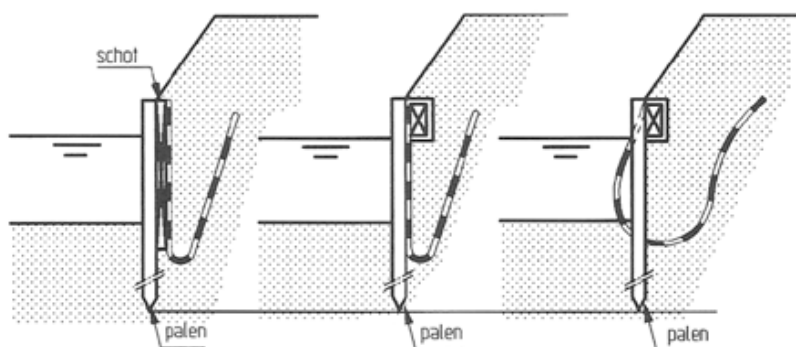


Een geotextiel moet, als onderdeel van een dergelijk filter, erosie van de ondergrond naar de granulaire laag voorkomen. Bij monoliet constructies is dit van groot belang: zelfs geringe vervormingen van de ondergrond kunnen al tot aanzienlijke schade aan de constructie leiden.

Ad 5 Verticale oeververdedigingen

Verticale oeververdedigingen worden veel toegepast langs de kleinere wateren. Zij bestaan vaak uit een constructie van palen en planken of schotten. De primaire functie van het geotextiel is ook hier die van bescherming tegen erosie maar, en dit is zeker het geval bij de spantuin, de wapeningsfunctie speelt een belangrijke rol (zie figuur 5).

Fig. 5
Verticale oeververdedigingen.



Opgemerkt moet worden dat bij beschoeiingen door zetting van de grond krachten op het geotextiel worden uitgeoefend. Als het geotextiel stijf aan de gording wordt bevestigd kan

het doek scheuren. Verschillende methodes voor het aanbrengen van het doek worden in hoofdstuk 3. en 5 beschreven.

Ad 6 Erosiebeschermingsmatten

Erosiebeschermingsmatten worden toegepast bij geringe golfaanval en als de natuurlijke vegetatie versterkt moet worden. De matten worden op een talud toegepast vanaf het laag water niveau en daarboven.

Hoofdstuk 2

Algemene ontwerpaspecten

2.1 Inleiding

Geotextielen in de grond- weg- en waterbouw kennen verschillende functies (zie hoofdstuk 1). In de waterbouw worden zowel de wapenings- als filterfunctie (grond dicht- waterdoorlatend) aangetroffen. Hierbij speelt de filterfunctie, en vooral het verhinderen van uitspoeling (erosie), meestal de belangrijkste rol. Dit handboek beperkt zich tot die constructies waarbij de filterfunctie primair is en de wapeningsfunctie secundair. Voor de overige functies wordt verwezen naar [6].

Dit hoofdstuk behandelt het ontwerpproces van geotextielen voor bovenstaande functies. Tijdens het ontwerpproces wordt uitgegaan van de functionele eisen en de lokale omgevingscondities, waarbij de ontwerper tot een optimaal ontwerp komt. Met andere woorden: de constructie dient zo ontworpen te worden dat deze, gegeven de omgevingscondities, gedurende de gebruiksduur (economische levensduur) aan de gestelde (functionele) eisen blijft voldoen en dat tegen minimale kosten voor zowel aanleg als onderhoud. Gezien de onzekerheid die er vaak is in zowel de belasting als sterkte van waterbouwkundige constructies wordt een wat robuuster ontwerp geadviseerd indien de meerkosten daarvan relatief gering zijn.

Dit hoofdstuk behandelt eerst een inleiding in de filterconstructies (2.2). Vervolgens wordt de ontwerpaanpak beschreven (2.3), gevolgd door de inventarisatie van de basisgegevens en bepaling van de invoervariabelen (2.4). Daarna wordt het geometrisch ontwerp beschreven (2.5). De veiligheidsbeschouwing wordt in paragraaf 2.6 behandeld. Tot slot komen het dimensioneren van het geotextiel (2.7) en de overige ontwerpaspecten (2.8) aan bod.

De ontwerpregels zijn vooral toegespitst op zandondergronden en in mindere mate op ondergronden van klei (van klei zijn minder gegevens beschikbaar). De uitwerking van de verschillende ontwerpregels en -criteria is opgenomen in hoofdstuk 3.

2.2 Inleiding filterconstructies

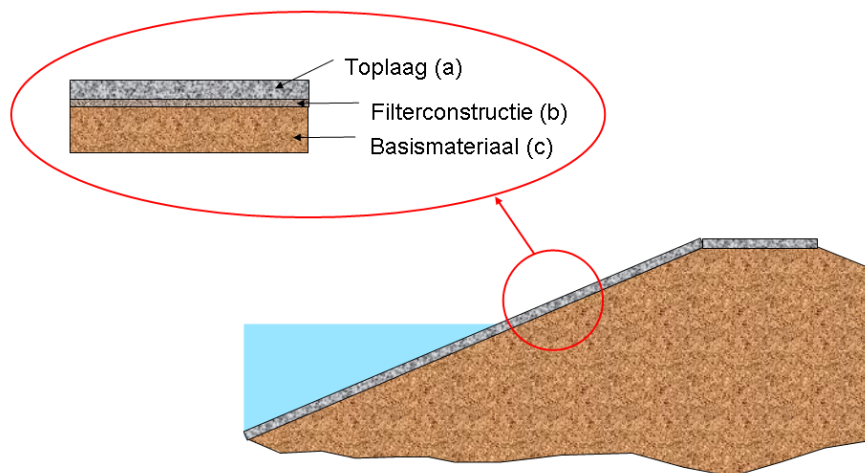
2.2.1 Inleiding

Een waterbouwkundige constructie moet dusdanig ontworpen worden dat deze bestand is tegen de optredende hydraulische belastingen. Dit geldt voor alle samenstellende onderdelen van de constructie.

Over het algemeen bestaan de waterbouwkundige constructies, behandeld in dit handboek, (zie figuur 6) uit een basismateriaal (c), bijvoorbeeld de kern van een dijk, die beschermd wordt door een toplaag (a) en een filterconstructie (b) bestaande uit één of meerdere filterlagen.

De toplaag moet dusdanig zwaar zijn dat deze bestand is tegen de optredende hydraulische belastingen (golven en stroming). De primaire functie van de filterconstructie is het voorkomen van uitspoeling van het basismateriaal onder de optredende (hydraulische) belastingen. Een filter is geen op zich zelf staande constructie, maar vormt een onderdeel van de totale constructie zoals weergegeven in figuur 6.

Fig. 6
Principeschets meest
voorkomende constructie-
type in dit handboek.



In dit handboek wordt meestal gesproken over een toplaag in combinatie met een filterconstructie. Hierbij dient de opmerking geplaatst te worden dat de toplaag ook een filterfunctie vervult. Bijvoorbeeld wanneer gesproken wordt over een steenzetting op een granulaire filter. In dit geval fungeert de toplaag als filter ter voorkoming van uitspoeling van het granulaire filtermateriaal. In dit handboek wordt hier verder niet op in gegaan.

2.2.2 Filterconstructies algemeen

Filterconstructies (de toplaag buiten beschouwing gelaten) kunnen bestaan uit granulaire materiaal, bijvoorbeeld steenslag, gebonden materiaal zoals waterbouwzandafsluit, een geotextiel, of een combinatie hiervan.

Tijdens het ontwerp vormt de analyse van de in- en uitwendige stabiliteit een belangrijk aspect. Dat wil zeggen het beperken/voorkomen van erosie van het basismateriaal en van het filtermateriaal (granulair filter) zelf. Een erosiewerend filter is daarbij gedefinieerd als een grensvlak met (eventueel) een zekere dikte, waaraan stabiliteitseisen worden gesteld. Deze eisen betreffen dan niet alleen de stabiliteit van het materiaal van de basislaag op het grensvlak tussen filter- en basislaag, maar ook de interne stabiliteit van het basismateriaal onder de filterlaag.

De keuze tussen een granulaire filter, een gebonden filter of geotextiel is afhankelijk van een groot aantal factoren. Over het algemeen wordt een geotextiel toegepast in verband met:

- relatief lage kosten (aanschaf, minder lagen, minder ruimte beslag en uitvoering);
- gemakkelijke snelle plaatsing;
- flexibel, waardoor het eventuele zettingen van de ondergrond volgt;
- nauwkeurig te specificeren eisen aan het geotextiel/filter;
- geringere milieubelasting (levenscyclusanalyse (LCA) voordeel, resulterende in duurzamer inkopen).

Het nauwkeurig onder water aanbrengen van granulaire lagen is uitvoeringstechnisch zeer lastig. Vooral bij dunne lagen is de kwaliteit hiervan moeilijk te waarborgen. Het aanbrengen van geotextielen onder water vraagt ook de nodige aandacht, zeker in gebieden met golven en stroming, maar kan met een grotere betrouwbaarheid worden uitgevoerd.

Een belangrijk punt van aandacht bij het vaststellen van het toe te passen filtermateriaal is dat geotextielen niet zonder meer een granulair filter kunnen vervangen. Een granulaire laag kan bijvoorbeeld nodig zijn om de hydraulische belasting op de ondergrond te reduceren tot een acceptabel niveau, zodat op de ondergrond een geotextiel kan worden aangebracht of het gewicht van de granulaire laag kan nodig zijn voor de stabiliteit van de constructie (ballastlaag).

2.2.3 Filtertypen algemeen

Het gedrag van een filterconstructie wordt bepaald door: de grootte van de openingen, de samenstelling van de ondergrond en de optredende belastingen.

Filters kunnen in twee typen worden onderscheiden:

1. geometrisch dichte filters;
2. geometrisch open filters.

Ad1 Geometrisch dichte filters

Onafhankelijk van de hydraulische belastingen die worden uitgeoefend, vindt geen transport van materiaal uit de basislaag door het filter plaats. Dit houdt in dat de kleinste openingen in het filter zo klein moeten zijn dat de gronddeeltjes uit de basislaag er niet doorheen kunnen spoelen.

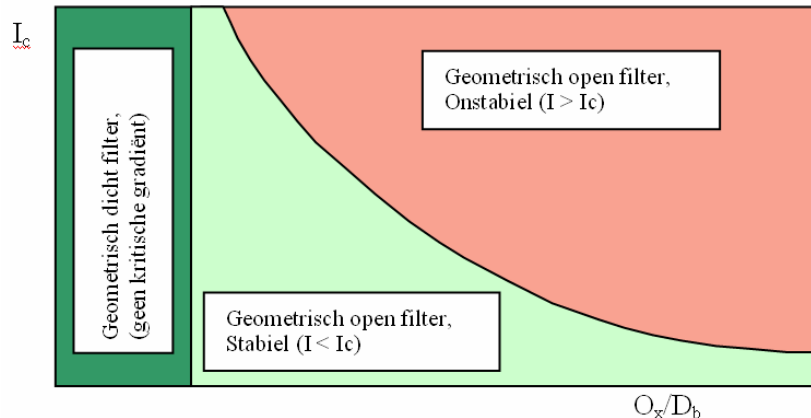
Ad2 Geometrisch open filters

In principe is transport van materiaal door het filter mogelijk, omdat de openingen voldoende groot zijn. De optredende hydraulische belastingen zijn echter zo gering dat deze kleiner zijn dan de kritieke belastingen, waardoor er geen transport is van materiaal door het filter. De werking van een granulair of geotextiel filter wordt mede bepaald door het fijne materiaal dat door het filter tegengehouden moet worden. Wanneer dit basis- materiaal een brede gradering heeft (er komen deeltjes in voor met heel verschillende korreldiameters) kan dit intern niet stabiel zijn.

Met intern niet stabiel wordt bedoeld dat de fijne deeltjes van de grond uitspoelen door de poriën tussen de grotere gronddeeltjes. Voor intern niet stabiele grond is het noodzakelijk dat de fijne deeltjes die uit de grond komen ook door het filter worden doorgelaten. Wanneer dit niet het geval is, zal het filter verstopt raken. De grotere deeltjes moeten dan wel gekeerd worden door het filter.

Bij alle filtertypen is de openingsgrootte van het filter een belangrijke component. Bij geometrisch open constructies is tevens de hydraulische belasting op de basislaag een belangrijk gegeven. Deze wordt meestal uitgedrukt in een hydraulische gradiënt loodrecht op of evenwijdig aan de basislaag. Bij geometrisch dichte constructies speelt deze geen rol. Het toepassingsgebied van genoemde typen wordt schematisch weergegeven in figuur 7.

Fig. 7
Toepassingsgebied van
filtertypen als functie van
de hydraulische belasting [45].



In figuur 7 is te zien dat voor geometrisch dichte geotextiele filters geen kritische gradiënt bestaat (I_c). Bij geen enkel verhang kan basismateriaal uitspoelen. Voor geometrisch open geotextiele filters geldt dat deze stabiel is als het verhang (I) kleiner is dan het kritische verhang (I_c). Basismateriaal kan dan niet in beweging komen en uitspoelen. Als het verhang groter is dan het kritische verhang, bij een geometrisch open filter, dan is sprake van erosie (materiaaltransport). Deze situatie dient te worden vermeden of de hoeveelheid te transporteren materiaal dient over de levensduur te worden beperkt, of erg gering te zijn (transportfilter).

Geotextielen zijn in zo grote verscheidenheid beschikbaar, met een, gerelateerd aan de totale constructiekosten, geringe prijsvariatie, dat het meestal mogelijk is een geometrisch dichte oplossing te vinden.

Bij de toepassing van een granulair filter kan het uit kostenperspectief interessant zijn om een geometrisch open constructie te dimensioneren. Hierdoor kan het aantal filterlagen verminderd worden en daarmee de aanlegkosten.

Omdat in het verleden veel meer onderzoek uitgevoerd is naar geometrisch dichte filterconstructies is de kennis op het gebied van deze constructies groter dan die op het gebied van geometrisch open constructies.

2.3 Ontwerpaanpak

Het bouwproces van een waterbouwkundig project bestaat uit het doorlopen van een aantal fasen, van initiatief tot en met nazorg. Elke fase levert een product op, waarmee de volgende fase gestart kan worden. Deze publicatie is specifiek gericht op de invulling van de planfase (ontwerpproces), bedoeld om de gekozen variant met toepassing van een geotextiel als filterconstructie nader uit te kunnen werken tot een volwaardige variant.

Onafhankelijk van de te kiezen contractvorm kan deze handleiding gebruikt worden als middel voor het opstellen van zowel het Programma van Eisen (functionele eisen voor een design en construct contract en specifieke eisen voor een regie contract), als ook voor het ontwerpen van een filterconstructie waarbij de keuze gevallen is op het toepassen van geotextiel. Omdat het ontwerp (type geotextiel en uiteindelijke vorm van de te ontwerpen constructies) voor een belangrijk deel wordt bepaald door de mogelijke uitvoerings-

technieken, is bij de totstandkoming van het ontwerp het samenspel tussen ontwerper, leverancier van geotextielen en aannemer van belang.

Het ontwerpen van een filterconstructie bestaande uit geotextiel wordt gekenmerkt door een cyclisch ontwerpproces. Tijdens de ontwerpfase wordt steeds naar oplossingen gezocht die aan de gestelde (functionele) eisen voldoen en in elke fase worden de eisen nader gespecificeerd van grof naar gedetailleerd (gebruikerseisen, functie-eisen, constructieve gedragseisen naar materiaaleisen). In figuur 8 is het ontwerpproces schematisch weergegeven.

Ter aanvulling op het ontwerpschema worden de volgende stappen verder toegelicht:

- inventarisatie basisgegevens (2.4);
- geometrisch ontwerp (2.5);
- veiligheidsbeschouwing (2.6);
- ontwerpaspecten geotextiel (2.7);
- overige ontwerpaspecten (2.8).

2.4 Inventarisatie basisgegevens

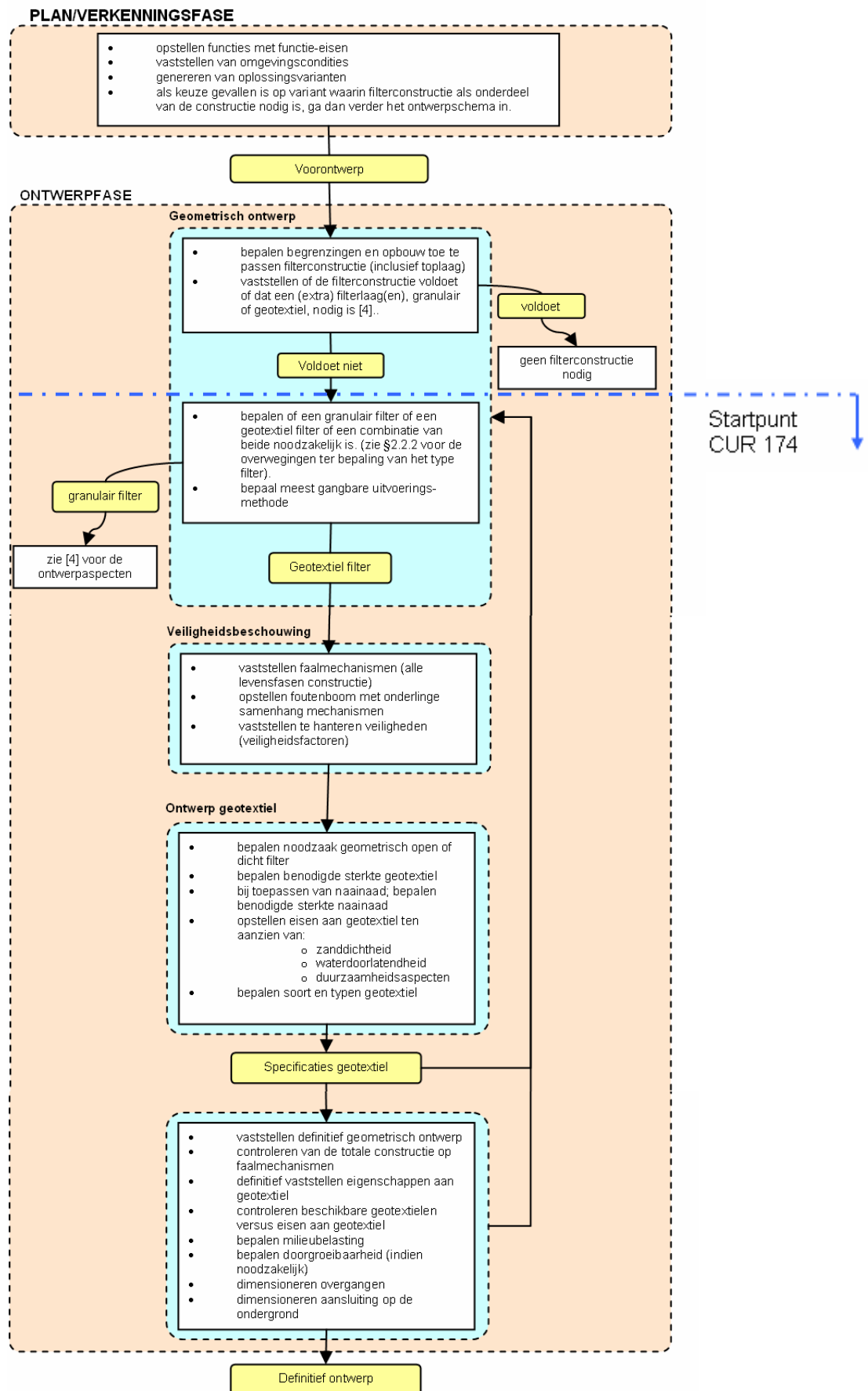
Ten behoeve van het ontwerp van het geotextiel moet een aantal basisgegevens worden verzameld, voor de bepaling van de invoervariabelen van de ontwerpberekeningen. In de eerste plaats betreft dit de keuze van het juiste constructietype en ten tweede het soort ondergrond en de zeefkromme van die ondergrond/basislaag. Als tot een geometrisch open filter wordt besloten, moet tevens de te verwachten maatgevende hydraulische belasting op de constructie worden bepaald.

Belangrijke functies, constructie parameters en omgevingscondities (deze worden iteratief, van grof naar fijn tijdens het ontwerpproces vastgesteld):

- Constructietype:
 - taludhelling α ;
 - porositeit van de toplaag n^+ ;
 - temperatuur $^{\circ}\text{C}$;
 - mate van blootstelling aan UV-straling;
 - wijze van uitvoering;
 - afmetingen en eigenschappen van de toplaag.
- Ondergrond:
 - karakteristieke korreldiameter zeefkromme D_{bx} ;
 - uniformiteitscoëfficiënt C_u ;
 - plasticiteitsindex PI ;
 - doorlatendheid k_b ;
 - mechanische eigenschappen (hoek van inwendige wrijving ϕ en cohesie c);
 - wateroverdrukken.
- Hydraulische belasting:
 - stationair/niet-stationair;
 - evenwijdig/loodrecht grensvlak;
 - hydraulische gradiënt op het grensvlak van het geotextiel i_n of i_p ¹
 - hydraulische gradiënt van het basismateriaal¹.

¹ Alleen ten behoeve van een geometrisch open analyse.

Fig. 8
Ontwerpproces geotextiele
filterconstructies.



2.5 Geometrisch ontwerp

In figuur 8 is voor het ontwerpen van een geotextiele filterconstructie een algemeen ontwerpschema gegeven. De eerste stap in het ontwerpproces is het vaststellen van de functionele en technische eisen. De behandeling van deze aspecten valt buiten de scope van deze handleiding. Aangenomen wordt dat de ontwerper zich reeds in het ontwerpproces bevindt. Hij heeft een duidelijk beeld van de functionele eisen, hij beschikt over een schetsontwerp van de totale constructie en wil het schetsontwerp verder uitwerken.

Daarnaast heeft de ontwerper de begrenzingen en opbouw bepaald van de toe te passen filterconstructie en vastgesteld of de filterconstructie voldoet of dat een (extra) filterlaag nodig is.

Als vastgesteld is dat een filterconstructie nodig is, wordt op basis van de in paragraaf 2.2.2 genoemde overwegingen de afweging gemaakt tussen een granulair filter, een geotextiel filter of een combinatie van beide. Daarnaast wordt aan de hand van het voorontwerp de meest gangbare uitvoeringsmethode vastgesteld.

Deze ontwerphandleiding gaat er vanuit dat de keuze gevallen is op een filter bestaande uit geotextiel.

2.6 Veiligheidsbeschouwing

2.6.1 Inleiding

Het is de taak van de ontwerper zodanig te ontwerpen dat de constructie gedurende zijn gebruiksduur (economische levensduur) aan zijn (functionele) eisen blijft voldoen. Dit geldt ook voor het risico op falen (de zogenaamde faalkanseis), dat lager dient te zijn dan de van tevoren voor de constructie per faalmechanisme vastgestelde faalkans. Dit betekent dat de kans op overschrijding van de belasting die zou leiden tot falen van de constructie nog net beneden een bepaalde waarde blijft. Die waarde hangt af van de gevolgen van het falen van de constructie. In de civiele techniek wordt in dit verband steeds meer gewerkt met probabilistische berekeningsmethoden waarmee de betrouwbaarheid van constructies wordt gekoppeld aan faalkansen. Hierbij worden vier verschillende niveaus onderscheiden:

- Niveau III: Volledig probabilistische methode;
- Niveau II: Semi-probabilistische methode;
- Niveau I: Quasi-probabilistische methode (partiële veiligheidsfactoren);
- Niveau 0: Deterministische methode (overall veiligheidsfactor).

In bijvoorbeeld [46] en [47] worden deze methoden uitgebreid beschreven en toegepast.

2.6.2 Deterministische methode

Voor het ontwerpen met geotextiel geldt dat de kennis over en de ervaring met geotextiel nog niet zover ontwikkeld is dat de probabilistische methode verantwoord kan worden toegepast. In deze handleiding is daarom uitgegaan van de deterministische methode (Niveau 0). Voor bijvoorbeeld de belasting en de sterkte worden vaste rekenwaarden aangenomen met daartussen een veiligheidsfactor.

$$R \geq \gamma S_b \quad (2.1)$$

waarin:

R = sterkte;

S_b = belasting;

γ = 'overall' veiligheidsfactor.

De toe te passen veiligheidsfactoren moeten een waarde groter of gelijk aan 1,0 hebben.

Hetzelfde principe wordt ook gebruikt voor andere eisen / eigenschappen. De te gebruiken veiligheidscoëfficiënten kunnen variëren en worden in hoofdstuk 3 verder toegelicht.

Strikt genomen worden de veiligheidsfactoren gebruikt voor het verdisconteren van onzekerheden en toevalligheden. De methode wordt echter ook gebruikt voor het in rekening brengen van de reductie van de sterkte van het materiaal door bijvoorbeeld UV-straling, oxidatie, naainaden, kruip of beschadiging tijdens uitvoering. Er bestaat een nauwe relatie met de vraag: wat is de gewenste (economische) levensduur, wanneer mag functieverlies van de constructie optreden? De veiligheidsfactor bestaat dan uit een verzameling partiële veiligheidsfactoren, die alle de rekenwaarde van de sterkte van het geotextiel reduceren. In paragraaf 3.5.5 worden deze factoren nader beschreven. Vaste waarden zijn hiervoor moeilijk te geven, want deze zijn afhankelijk van de geëiste economische levensduur. Tijdens het schrijven van dit handboek waren de volgende materiaalreducerende factoren in gebruik:

- verzwakking door naainaden 2;
- beschadiging tijdens de uitvoering 1,5;
- sterkteverlies door kruip voor het meest gangbare polypropyleen geotextiel bedraagt 2-4, voor polyester geldt een factor 1,40.

Deze waarden dienen wel met voorzichtigheid te worden toegepast.

Op dezelfde manier worden veiligheidcoëfficiënten toegepast bij het ontwerp van de waterdoorlatendheid en de grond dichtheid.

De duurzaamheid van het geotextiel dient gewaarborgd te zijn gedurende de levensduur. Oxydatie van PP en PE en hydrolyse van PET zijn chemische reacties die tot gevolg hebben dat de polymeerketens gesplitst worden waardoor reductie van sterkte en brosheid kan ontstaan. Indien nodig kan door specialistisch onderzoek vooraf vastgesteld worden of voldoende en de juiste typen anti-oxydanten in het geotextiel aanwezig zijn. Hierna kan dit bij de uitvoering via kwaliteitscontrole-testen gecontroleerd worden.

De in deze publicatie beschreven stabiliteitsrelaties voor golven, stroming, etc. zijn empirische relaties, veelal gebaseerd op modelonderzoek. In deze relaties zit de veiligheid impliciet ingebouwd, omdat het onderzoek bewezen heeft dat er sprake is van een stabiele situatie. Daarom is het niet nodig om extra veiligheidsfactoren toe te passen op de vermelde stabiliteitsrelaties. Het toekennen van een overall of partiële veiligheidsfactor heeft hier dan ook alleen betrekking op de sterkte-eigenschappen van het toe te passen geotextiel.

2.6.3 Faalmechanismen

De ontwerper moet een beeld hebben van de mogelijke faalmechanismen die zich kunnen voordoen bij waterbouwkundige constructies. Uit ervaring is namelijk gebleken dat wanneer een constructie faalt, dit vaak niet is omdat de belasting is onderschat, maar vanwege een niet onderkend faalmechanisme. Het valt echter buiten de scope van deze handleiding om voor alle mogelijke waterbouwkundige constructies in de uitvoerings- en gebruiksfase de bekende faalmechanismen, zoals golfoverslag, piping en geotechnische instabiliteit uit te werken. Hiervoor wordt verwezen naar de verschillende bestaande CUR-publicaties, bijvoorbeeld [49].

De oorzaak en het effect van het falen, evenals de onderlinge samenhang tussen de diverse faalmechanismen, kunnen worden weergegeven via een foutenboom. Daarin wordt een ongewenste gebeurtenis, bijvoorbeeld het bezwijken van een oeverbescherming bestaande uit een zinkstuk en stortsteen gedefinieerd. De takken van de boom geven dan de verschillende oorzaken weer, die tot deze gebeurtenis kunnen leiden. De kans van optreden van deze afzonderlijke faalmechanismen en de samenhang daartussen, levert dan de kans van optreden van deze ongewenste gebeurtenis op.

Bij het opstellen van een foutenboom moet gedacht worden aan de volgende faalmechanismen:

- instabiliteit door golven en stroming;
- instabiliteit door kantelen, rollen, wegglijden of omklappen (bij geotextiele zandelementen);
- uitspoeling van het vulmateriaal;
- perforatie van het geotextiel als gevolg van het doorpensen van scherphoekige breuksteen;
- het bezwijken van naainaden en/of het geotextiel door overbelasting;
- uitzakken van het talud;
- verzwakking door UV-straling;
- beschadiging tijdens installatie;
- verandering doorlatendheid door uitspoelen of dichtslibben.

2.7 Ontwerpaspecten geotextiel

2.7.1 Algemeen

Bij het maken van een ontwerp met geotextielen spelen de eigenschappen en het gedrag van het geotextiel een maatgevende rol (zie tabel 2).

Het ontwerp gaat ervan uit dat de constructie gedurende de gebruiksduur aan zijn functionele eisen blijft voldoen. Daarom moeten de functionele eisen, uitgedrukt in bepaalde minimale of maximale waarden voor de filtereigenschappen en de mechanische eigenschappen ook gedurende de gebruiksduur verzekerd zijn.

Nadat de vereiste functionele eisen aan het geotextiel filter vanuit het waterbouwkundige ontwerp van de totale constructie zijn afgeleid, moet gekeken worden of en welke geotextielen aan deze combinatie van eisen voldoen.

Het ontwerp op gronddichtheid en waterdoorlatendheid leidt tot criteria ten aanzien van de karakteristieke openingsgrootte en de doorlatendheidseigenschappen van het geotextiel. Het ontwerp op sterkte geeft het materiaal, het type, de vereiste sterkte en/of gewicht. Dit zullen geen absolute waarden zijn, maar grenzen waartussen de keuze voor het geotextiel zich kan bewegen. Soms is het nodig het ontwerp in een aantal iteratiestappen (cyclisch proces) uit te voeren, waarbij de resultaten van de vorige stap ingangsvaariabelen zijn voor de volgende stap.

Tabel 2 Overzicht ontwerpaspecten geotextiel.

Ontwerpaspecten	Materiaaleigenschappen	Testmethode (zie hoofdstuk 4)
Maximale belasting	- (Breuk) sterkte	EN ISO 10319 (zie par. 4.3.2)
Maximale / minimale vervorming	- (Breuk) rek	EN ISO 10319 (zie par. 4.3.2)
Grondichtheid	- Openingsgrootte (O_{90})	EN ISO 12956 (zie par. 4.3.4)
Waterdoorlatendheid	- Doorlatendheid (k) / Permittiviteit (ψ)	EN ISO 11058 (zie par. 4.3.3)
Uitvoering (Survivability)	- Weerstand tegen beschadiging (RF) (Minimaal gewicht of rek van het doek om schade door vallende stenen te voorkomen) - UV weerstand (RF)	EN 14574 EN 13719 EN 918 (zie par. 4.3.2) ENV 12224 (zie par. 4.3.6)
Gebruiksduur	- Weerstand tegen oxydatie - Weerstand tegen hydrolyse - Controleer chemisch condities - Keuze van polymeer - Mechanische beschadiging tijdens gebruiksduur (break resistance)	EN ISO 13438 EN ISO 12447 (zie par. 4.3.6) EN ISO 12236 (zie par. 4.3.2)
Overlap/naainaad	- Effectieve reductie van de sterkte	EN ISO 10321 (zie par. 4.3.2)
Stabiliteit	- Wrijvingscoëfficiënt met boven- en onderlaag	EN ISO 12957 1/2 (zie par. 4.3.2)

De waardes voor de materiaaleigenschappen worden bepaald met toepassing van veiligheids- of reductiefactoren (zie de voorbeelden in paragraaf 2.6.2). De toe te passen ontwerpregels en veiligheidscoëfficiënten worden voor al deze aspecten behandeld in hoofdstuk 3. Dit leidt tot minimale of maximale materiaal eigenschappen. Hierna moet gekeken worden of materialen aan al deze eisen voldoen. Voor verschillende toepassingen zijn NEN-EN-normen beschikbaar (zie paragraaf 3.7).

Wat betreft het lange duur gedrag kan dit op 2 manieren verdisconteerd worden:

1. Op basis van testen zijn voor geotextielen afhankelijk van het polymeer en vormgeving reductiefactoren bepaald waarmee de gevonden testwaarde voor een bepaalde functie verminderd wordt. Bijvoorbeeld de sterkte van een geotextiel wordt verminderd voor mechanische beschadiging, verlies van sterkte door chemische aantasting enzovoort. Ditzelfde wordt voor andere functionele eigenschappen gedaan.
2. De ketenbreuk in het polymere molecuul onder invloed van lange termijn invloeden wordt verhinderd door bepaalde toevoegstoffen die aan het polymeer zijn toegevoegd tijdens de extrusie. Deze toevoegstoffen kunnen in de loop van de tijd verdwijnen of in

functie afnemen in het polymeer, wat ertoe kan leiden dat het polymeer bepaalde functies verliest.

3. Met behulp van uitgebreide testen kan bepaald worden hoeveel tijd er verstrijkt voordat deze toevoegstoffen uit het polymeer zijn verdwenen. Op basis van deze testen kan een bepaalde minimum levensduur vastgesteld worden. Deze minimum levensduur wordt vergeleken met de ontwerp gebruiksduur en als de minimum levensduur lager is dan de vereiste gebruiksduur wordt het specifieke geotextiel afgewezen voor die toepassing.

2.7.2 Materialen

Voor weefsels en vliezen worden de volgende materialen gebruikt:

- polyester (PET);
- polypropreen (PP);
- polyetheen (PE);
- hoge dichtheid polyetheen (HDPE);
- lage dichtheid polyetheen (LDPE);
- polyamide of nylon (PA).

Voor toepassing in filters kunnen in principe alle genoemde materialen worden toegepast. Polypropreen en polyetheen zijn wel de meest gebruikte materialen. In toepassingen waar de wapeningsfunctie dominant is (het materiaal wordt significant op trek belast) kan polyester verkozen worden, omdat dit materiaal sterker en stijver is dan polypropreen of polyetheen. Voor toepassingen in filterconstructies, waar de wapeningsfunctie niet of slechts gering aanwezig is, kan zowel gebruik worden gemaakt van vliezen als van weefsels.

Wordt de wapeningsfunctie belangrijker en moet het geotextiel grotere trekkrachten opnemen, dan wordt de voorkeur gegeven aan een weefsel. Een weefsel is over het algemeen sterker dan een vlies bij een vergelijkbaar gewicht per m².

De eigenschappen van geokunststoffen kunnen in de loop der tijd veranderen door UV-straling, oxidatie, kruip, hydrolyse, chemische en biologische invloeden en mechanische beschadigingen. In tabel 5 is een overzicht opgenomen van de weerstand van geokunststoffen tegen diverse aantastingen.

2.7.3 Openingsgrootte geotextiel

Uitgangspunt bij het bepalen van de vereiste poriegrootte (O_{90}) van het geotextiel is dat slechts een zeer klein deel van het basismateriaal mag uitspoelen.

Ontwerpregels die het verband aangeven tussen grondeigenschappen, deeltjesgrootte en verdeling en de vereiste openingsgrootte van het geotextiel worden gegeven in hoofdstuk 3.

Het is daarbij van belang hoe goed het materiaal is opgesloten in het geotextiel. Wanneer het geotextiel strak aanligt tegen de ondergrond, kunnen de fijne deeltjes dicht bij het geotextiel mogelijk uitspoelen en ontstaat er een filter in het basismateriaal juist onder het geotextiel. Wanneer echter het geotextiel niet strak rondom het basismateriaal ligt en de korrels van het basismateriaal onder invloed van (hydraulische) belastingen vrij kunnen

bewegen, zullen steeds weer nieuwe deeltjes in de directe omgeving van het geotextiel kunnen komen en kunnen dus ook steeds kleine deeltjes uitspoelen. Wanneer dit laatste het geval is, zullen de filterregels strenger moeten zijn.

2.7.4 Waterdoorlatendheid

De waterdoorlatendheid van het geotextiel mag geen belemmering zijn voor de stroming door de constructie. Dit geldt bijvoorbeeld bij taludverdedigingen, waar uittredend water bij onvoldoende doorlatendheid instabiliteit van het talud kan veroorzaken.

Een vaak gebruikte vuistregel is, dat de doorlatendheid van het geotextiel, zoals die wordt gemeten in een index test een factor 10 hoger moet zijn dan de doorlatendheid van het vulmateriaal en de ondergrond. Wanneer het geotextiel in een constructie wordt toegepast, is de effectieve doorlatendheid kleiner en zal deze van dezelfde orde zijn als de doorlatendheid van het vulmateriaal of de ondergrond.

Toepassing van bovenstaande vuistregel is soms lastig omdat de doorlatendheid van het geotextiel een functie is van de dikte en de dikte van het ingebouwde geotextiel in een constructie vaak niet bekend is. Een andere benadering is, dat er nauwelijks drukval over een geotextiel mag ontstaan door de optredende grondwaterstroming. Er wordt dan gebruik gemaakt van de permittiviteit (doorlaatbaarheid) van het geotextiel. In EN ISO 11058 wordt de doorlatendheid van geotextielen vastgelegd door de 'Velocity Index' (V_{H50}) (zie 3.3.1).

Als sprake is van een constructie waarbij de grootte van de waterdoorlatendheid kritisch is, wordt aangeraden om altijd de doorlatendheid te bepalen in het laboratorium.

2.7.5 Treksterkte en rekvermogen

Meestal wordt in de uitvoeringsfase de grootste belasting op geotextielen uitgeoefend. De treksterkte van het geotextiel en de sterkte van de naden moeten voldoende zijn om de belastingen te weerstaan die tijdens het transport en tijdens installatie op het textiel werken. Afhankelijk van de toepassing en de uitvoeringsmethode zal soms de treksterkte, soms de rek en soms het product van beide van belang zijn. Weefsels hebben over het algemeen een hoge treksterkte en een lage rek, terwijl vliezen een lage treksterkte hebben en een hoge rek. De maximaal toelaatbare trekkracht (T_m) en de bijbehorende rek van een geotextiel kunnen worden uitgedrukt in de elasticiteitsmodulus E of de stijfheidsmodulus E' .

$$E' = E \cdot t_g \approx \frac{T_m}{\varepsilon_m} \quad (2.2)$$

waarin:

E = elasticiteitsmodulus van het geotextiel [kN/m²];

E' = stijfheidsmodulus van het geotextiel [kN/m];

t_g = dikte van het geotextiel [m];

ε_m = maximale rek van het geotextiel [-];

T_m = maximaal toelaatbare trekkracht in het geotextiel [kN/m].

T_m is gedefinieerd als de maximaal toelaatbare trekkracht in het geotextiel en is gelijk aan de maximale treksterkte van het geotextiel.

Ook hier moeten weer partiële factoren toegepast worden op de sterkte om de lange duur trek sterkte te verkrijgen.

Tabel 3 geeft ter indicatie voor de meest gangbare geotextielen de treksterkten en de bijbehorende rekken. Voor het berekenen van E' is gebruik gemaakt van de gemiddelde ε_m .

Tabel 3 Treksterkte en bijbehorende rek per geotextiel.

Geotextiel	T_m [kN/m]	ε_m [%]	E' [kN/m]	$T_m \cdot \varepsilon_m$ [kN/m]
polyester (PET)	100 - 1200	8 - 15	870 - 10400	8 - 180
polypropreen (PP)	40 - 300	10 - 15	320 - 2400	4 - 45
polyetheen (PE)	20 - 50	20 - 30	80 - 200	4 - 15
polyamide of nylon (PA)	20 - 800	15 - 30	90 - 3500	3 - 240
vlies	7 - 70	50 - 100	9 - 93	4 - 70

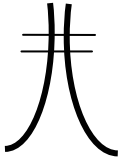
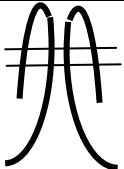
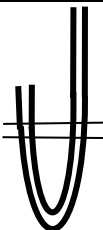
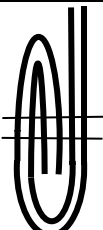
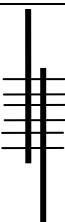
Tijdens de uitvoering kunnen bij het storten van steen op het geotextiel grote vervormingen optreden. Het geotextiel moet zodanig ontworpen zijn dat het na bestorting nog in staat is de vereiste dichtheid, waterdoorlatendheid en sterkte te leveren.

2.7.6 Naainaden

De sterkte van een constructie met geotextiel wordt in veel gevallen bepaald door de sterkte van de naainaden in de constructie. Een naainaad is een verbindingsconstructie en heeft invloed op de treksterkte en het rekvermogen van de constructie. Naainaden zijn meestal stijver dan de constructie waardoor ze de spanningen naar zich toetrekken. Van belang is om de naainaad en het geotextiel op elkaar af te stemmen. Het naaien van geotextiel is een specialistisch werk. Als sprake is van een constructie waarin de sterkte van de naainaad cruciaal is, bijvoorbeeld bij geotextiele zandelementen, dan moet altijd een specialist (leverancier) ingeschakeld worden.

De sterkte van de naden hangt af van het type naainaad en kan ook bij een goed aangebrachte naad variëren van 30% tot meer dan 70 % van de sterkte van het geotextiel. In tabel 4 staan de meest toegepaste naainaden en de bijbehorende (trek)sterktes. Deze tabel is afgeleid van tabel 8 uit [48]. Dit betreft de naainaden die in de fabriek zijn gemaakt. Bij naainaden die met een handnaaimachine op de projectlocatie zelf worden gemaakt, moet in het algemeen rekening gehouden worden met een lagere sterkte. Bij een sterker (zwaardere) geotextiel is dit percentage dan nog lager. Bij ongelijkmatige belasting is het van belang dat de naainaden zo worden aangebracht dat deze een minimale belasting opnemen.

Tabel 4 Meest gebruikte typen naden [6].

Naainaad	Omschrijving	Sterkte naainaad op zelfkant ¹⁾
	Platte of stuiknaad (Prayer seam)	30 – 50% van sterkte doek
	Vlindernaad (Butterfly seam)	40 – 70% van sterkte doek
	J-naad (J-seam)	30 – 60% van sterkte doek
	Dubbele J-naad (Double J-seam)	50 – 70% van sterkte doek
	Overlap Z-naad ²⁾ (Z-seam)	> 70 % van sterkte doek

1) Onder de zelfkant van het doek wordt verstaan de versterkte randen van het doek.

2) Dit type naainaad kan alleen geconfectioneerd worden in de fabriek

2.7.7 Duurzaamheid

De levensduur van constructies van geotextiel wordt voornamelijk bepaald door de duurzaamheid van het gebruikte geotextiel. De eigenschappen van geotextielen kunnen in de loop van de tijd veranderen door:

1. UV-straling;
2. oxidatie;
3. hydrolyse;
4. chemische en bacteriologische aantasting;
5. mechanische beschadigingen;
6. kruip en/of relaxatie.

In tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de weerstand van geotextielen tegen diverse aantastingen. Daarnaast biedt de Durability Guide [67] een goed overzicht.

Tabel 5 Weerstand van grondstoffen waaruit de geotextielen zijn opgebouwd tegen diverse aantastingen.

Grondstof	Polyester		Polypropreen		Polyetheen		Polyamide	
	kort	lang	kort	lang	kort	lang	kort	lang
verdunde zuren	++	+	++	++	++	++	+	0
geconcentreerde zuren	0	-	++	+	++	++	0	-
verdunde logen	++	0	++	++	++	++	++	+
geconcentreerde logen	0	-	++	++	++	++	0	-
zout	++	++	++	++	++	++	++	++
minerale olie	++	++	+	0	+	0	++	++
glycol	++	0	++	++	++	++	+	0
micro-organismen	++	++	++	++	++	++	++	+
UV-licht	+	0	0	-	0	-	+	0
UV-licht*	++	+	++	+	++	+	++	+
droge hitte tot 100 °C	++	++	++	+	+	0	++	+
stoom tot 110 °C	0	-	0	-	+	0	++	+
vochtabsorptie	++	++	++	++	++	++	++	++
wasmiddelen	++	++	++	++	++	++	++	++

kort = van fabriek tot en met uitvoering;

lang = tijdens praktische levensduur van het werk;

* = weerstand na toevoeging UV-stabilisatoren;

++ = goed bestand; + = redelijk bestand; 0 = matig bestand; - = niet bestand.

Ad 1 UV-straling

Onder invloed van UV straling kan het polymaermateriaal bros worden, keten breuk kan dan optreden. Dit kan tegen gegaan worden door UV inhibitors waarvan de bekendste roet is (carbon black)

Ad 2 Oxydatie

Bij veroudering van geotextielen treedt door een gecombineerde invloed van temperatuur en beschikbaarheid van zuurstof oxidatie op. Hierdoor wordt het geotextiel bros. Om dit proces tegen te gaan, worden anti-oxidanten aan het basismateriaal van het geotextiel toegevoegd. Zolang zij in het polymeer aanwezig zijn zal er geen brosheid optreden. Als deze toeslagstoffen uit het polymeer verdwenen zijn zal er geen bescherming meer zijn tegen oxydatie en zal de sterkte snel afnemen en de brosheid toenemen.

Ad 3 Hydrolyse

Hydrolyse houdt in dat de polymeren in geotextielen in vochtige omstandigheden, bij hoge temperatuur en in een omgeving met een hoge pH (> 12,5) een ketenbreuk kunnen gaan vertonen, waardoor de (trek)sterkte afneemt. Polyester is hier gevoelig voor. Een pH > 12,5 komt in de grond hoogst zelden voor (alleen in de omgeving van uithardend beton en dan nog alleen gedurende de eerste dag).

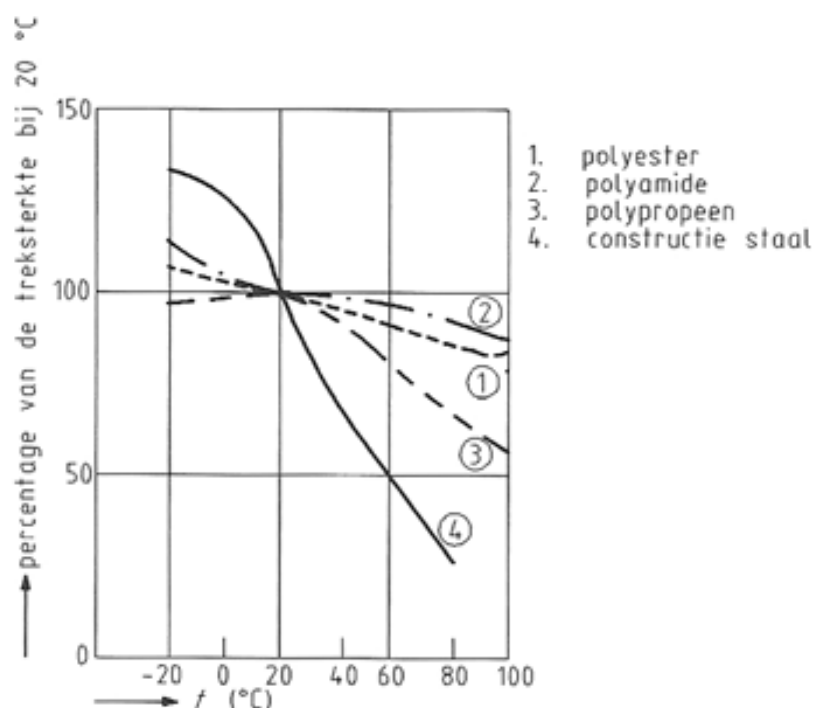
Ad 4 Chemische en bacteriologische aantasting

Ook door de invloed van in de omgeving aanwezige chemicaliën en bacteriën kan onder bepaalde omstandigheden de sterkte van de geotextielen worden aangetast. Polyamide is bijvoorbeeld gevoelig voor een zure omgeving en polypropreen wordt door sommige in de bodem aanwezige mirco-organismen aangetast, waardoor de draden en vezels gaan splijten.

Ad 5 Mechanische beschadigingen

Deze kunnen optreden tijdens de uitvoeringsfase, als wel tijdens gebruiksfase. Te denken valt aan installatie schade door te hoge trekbelastingen of doorboring van het doek door bestorting. Daarnaast kan het toepassen van warm asfalt de treksterkte van het textiel doen laten afnemen. figuur 9 toont een indicatie van afname van sterkte van diverse geotextielen bij verschillende temperaturen. In de figuur is ook te zien dat de treksterkte bij lagere temperaturen voor bepaalde materialen kan toenemen, echter dient men zich ervan bewust te zijn dat bij lage temperaturen de breukrek van het materiaal ook toeneemt, hierdoor kan het materiaal bros breken. Dit kan leiden tot beschadiging, vooral tijdens de uitvoeringsfase. Tijdens de gebruiksfase kan het scheuren van doek bijvoorbeeld optreden door vandalisme of tijdens hersteloperaties van de bestorting, tevens is de kans aanwezig dat dieren het geotextiel beschadigen.

Fig. 9
Invloed van de temperatuur
op de treksterkte van het
geotextiel [6].



Bij de toepassing van geotextiel onder blokken moet voorkomen worden dat het geotextiel tussen de blokken gaat flapperen als gevolg van golfbelasting. Om dit te voorkomen moet de onderlinge afstand tussen de blokken niet te groot zijn. Ook kan beschadiging van doek optreden als deze op een talud van (scherpe) stenen wordt toegepast.

Bij toepassing van polyester moet men er op bedacht zijn dat dit materiaal gevoelig is voor de schurende werking van zand. Andere materialen zijn minder kritisch voor een dergelijke beschadiging.

Ad 6 Kruip en/of relaxatie

Een ander tijdsafhankelijk effect is kruip, waarbij het geotextiel onder constante belasting blijft vervormen. Deze vervorming kan zodanig zijn dat het materiaal uiteindelijk bezwijkt. In tabel 6 is voor verschillende materialen een indicatie van de voor kruip aangepaste toegestane trekspanning gegeven. Hieruit blijkt dat polypropylene (PP) en polyetheen (PE) bij te hoge trekbelastingen onder invloed van kruip al na korte tijd kunnen bezwijken. Aanbevo-

len wordt dan ook om voor geotextielen die langdurig op trek worden belast polyester te gebruiken. In hoofdstuk 3 zal nader ingegaan worden op de berekeningswijze van de “lange-duur-ontwerp-sterkte”. Voor de meeste toepassingen met geotextiel geldt echter dat het geotextiel alleen gedurende het aanbrengen een significante trekbelasting ondervindt. Nadat het is aangebracht, zijn meestal slechts geringe trekbelastingen te verwachten.

Tabel 6 Indicatie van de toelaatbare trekspanning als percentage van de oorspronkelijke trekspanning als gevolg van kruip bij 20 °C.

Materiaal	vanwege kruip toelaatbaar percentage van de trekspanning tot:		
	2 jaar	10 jaar	50 jaar
Polyester	70 %	65 %	50 %
Polypropreen	50 %	40 %	25 %
Polyetheen	50 %	40 %	25 %
polyamide of nylon	60 %	55 %	40 %

2.7.8 Overige ontwerpaspecten

Het ontwerp wordt tijdens deze stap nader uitgewerkt. Eerst wordt het definitief geometrisch ontwerp vastgesteld. Vervolgens wordt aan de hand van het geometrisch ontwerp de totale constructie getoetst op de mogelijke faalmechanismen, om vervolgens definitief de eigenschappen vast te stellen van het benodigde geotextiel. Daarbij komen de volgende zaken aan de orde:

- constructiedetails, zoals overgangen, aansluitingen, boven- en onderbegrenzing;
- doorgroeibaarheid (indien noodzakelijk);
- milieu-aspecten;
- uitvoeringsaspecten;
- gebruik van applicatie- of toepassingsnormen (zie hoofdstuk 5).

Aan de hand van bovengenoemde punten worden zonodig correcties aangebracht ten aanzien van de karakteristieke parameters van het geotextiel (openingsgrootte, dikte, materiaaltype, doorlatendheid) en/of het geometrisch ontwerp totdat gekomen wordt tot een definitief ontwerp en eisen aan het te kiezen geotextiel.

Hoofdstuk 3

Ontwerpen en dimensioneren

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt het ontwerpen en dimensioneren van geotextiele filters in waterbouwkundige toepassingen, toegespitst op de in hoofdstuk 1 behandelde constructie typen. Er wordt vanuit gegaan dat een filterconstructie noodzakelijk is en de constructie, of een onderdeel daarvan, zal bestaan uit een geotextiel filter.

Als gebruik gemaakt wordt van een (geotextiel) filter, dan treedt erosie van basismateriaal op, als aan de volgende twee voorwaarden wordt voldaan:

1. De basiskorrels moeten fysiek gezien door de openingen van het geotextiel (filtermateriaal) heen kunnen;
2. Op de basiskorrels moet een voldoende grote belasting werken om ze in beweging te krijgen.

Vanuit het oogpunt van de ontwerpfilosofie zal een afweging gemaakt moeten worden tussen een geometrisch dicht of open geotextiel. Hierbij is een van de eisen om een zodanige filterconstructie te ontwerpen die voldoende weerstand biedt om onder maatgevende condities te blijven functioneren. Op basis van bovenstaande kan voor een geometrisch open of voor geometrisch dicht spoor worden gekozen. Omdat het geometrisch open spoor geen significante kostenvoordelen met zich meebrengt, maar er wel risico's aan verbonden zijn wordt in eerste instantie uitgegaan van het geometrisch dichte spoor.

Als de filterconstructie bestaat uit geotextiel en het materiaal direct onder het geotextiel zand is, dan is een praktische regel dat in eerste instantie een geometrisch dichte constructie wordt toegepast. Als dit niet mogelijk blijkt, omdat de eisen voor grond dichtheid en waterdoorlatendheid niet met elkaar in overeenstemming te brengen zijn, kan een geometrisch open filter worden overwogen.

Als gekozen wordt voor een geometrisch dichte constructie, dan hoeft voor het ontwerp van het geotextiele filter niet gekeken te worden naar de hydraulische belastingen. Bij een geometrisch open geotextiel filter moeten wel hydraulische belastingen in de berekeningen meegenomen worden. Het bepalen van de hydraulische belastingen is opgenomen in bijlage B. Het dimensioneren van een geometrisch open geotextiel wordt verder uitgewerkt in bijlage C.

Veel theorie is gebaseerd op een basislaag van zand. Een basislaag van klei resulteert in een op sommige punten verschillende ontwerp aanpak op. De afwijkingen worden beschreven in 3.2.7.

3.2 Grond dichtheid

3.2.1 Algemeen

De mate waarin filterwerking effectief is hangt af van de grond dichtheid van het geotextiel. Dit is de relatie tussen de ondergrond (korrelverdeling, doorlatendheid) en de openingsgrootte van het filter.

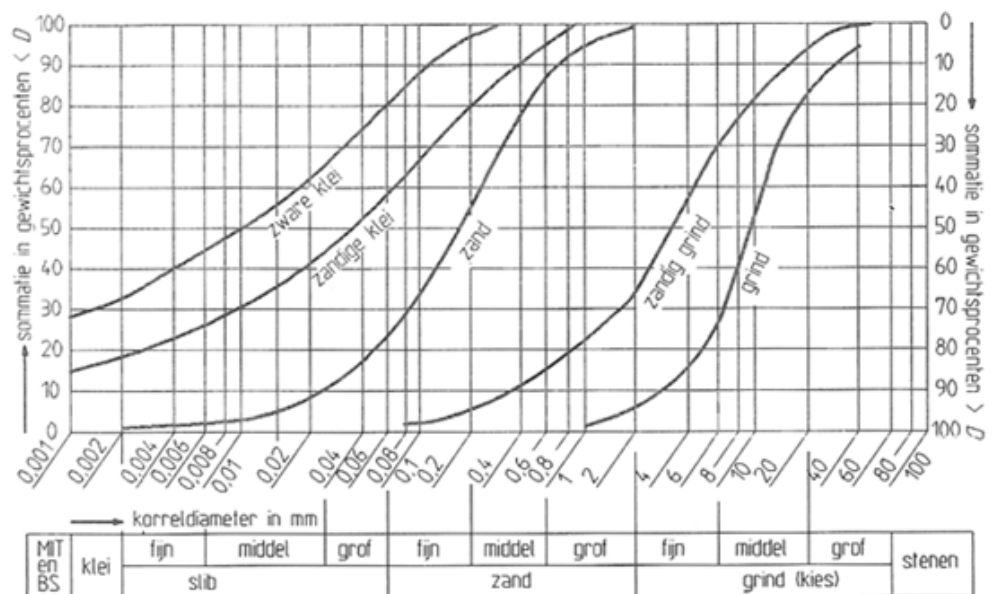
Naast bovengenoemde eigenschappen zijn ook de mechanische eigenschappen van de ondergrond van belang om te bepalen of een constructie grondmechanisch stabiel is. In deze publicatie wordt kort ingegaan op het uitvoeren van grondmechanische stabiliteitsberekeningen (zie paragraaf 3.5.2), daarnaast wordt verwezen naar [49].

3.2.2 Korrelverdeling grond

Om een geotextiel te dimensioneren, dient de korrelverdeling van de basislaag (ondergrond) te worden vastgesteld. Hiervoor wordt een zeefkromme opgesteld. Een zeefkromme geeft inzicht in de verdeling van de grond ten aanzien van hoeveelheden lutum (klei), silt, zand en grind en eventueel stenen. Vanuit de zeefkromme is de D_{50} te bepalen, de diameter van het grondmateriaal waarbij 50% de zeef passeert. De D_{50} , evenals de D_{60} en D_{10} , worden vaak als ingang ter bepaling van andere grondeigenschappen gebruikt.

In figuur 10 worden enkele zeefkrommen gegeven van gebruikelijke Nederlandse grondsoorten. Het overzicht kan worden toegepast voor een (eerste) benadering [11].

Fig. 10
Overzicht van de zeefkrommen
van Nederlandse grondsoorten.

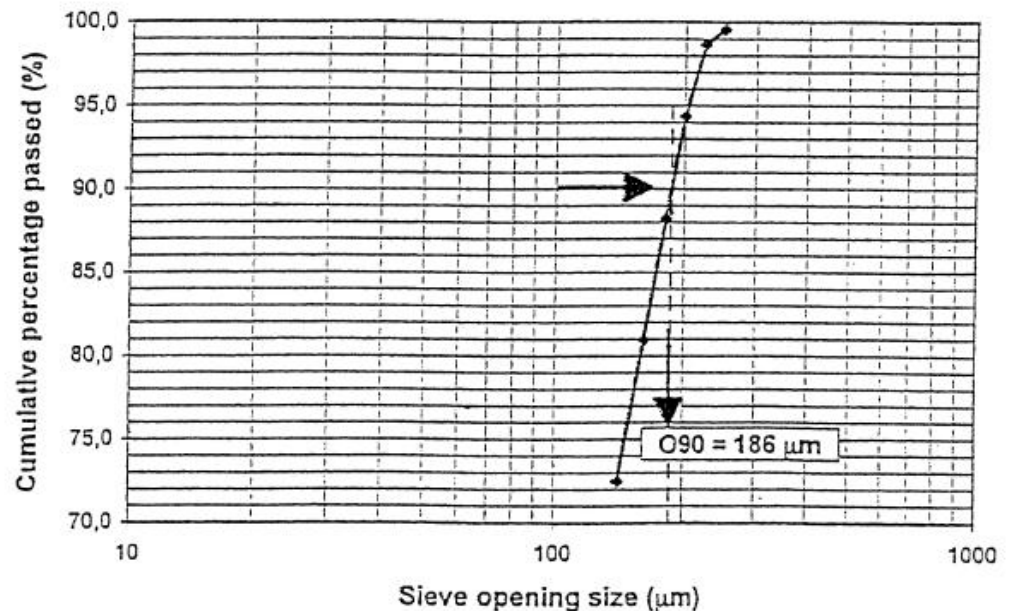


3.2.3 Grond dichtheid

Bestaat de grond uit deeltjes van dezelfde grootte, dan worden theoretisch alle gronddeeltjes tegengehouden als de karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel (O_{90}) kleiner is dan de diameter van de korrels. Als sprake is van de natte zeefmethode volgens de NEN-EN-ISO 12956 dan geldt dat de O_{90} van het geotextiel, of geotextiel gerelateerde product, onder beproeving gelijk is aan de D_{90} van de korrelverdeling van de door het geotex-

tiel gepasseerde korrels. Met andere woorden $O_{90} = D_{90}$ van het gepasseerde materiaal door het geotextiel (zie figuur 11).

Fig. 11
Bepaling O_{90} volgens
NEN-EN 12956 (natte
zeefmethode).



In oudere literatuur worden veel verschillende waarden voor de karakteristieke openingsgrootte gehanteerd, terwijl de gevonden waarde ook nog wordt bepaald door verschillende zeefmethode (droog, nat, hydrodynamisch). In nieuwere literatuur wordt steeds meer gebruik gemaakt van de CEN-ISO norm EN ISO 12956. Deze norm gaat uit van nat zeven en geeft als karakteristieke openingsgrootte de d_{90} .

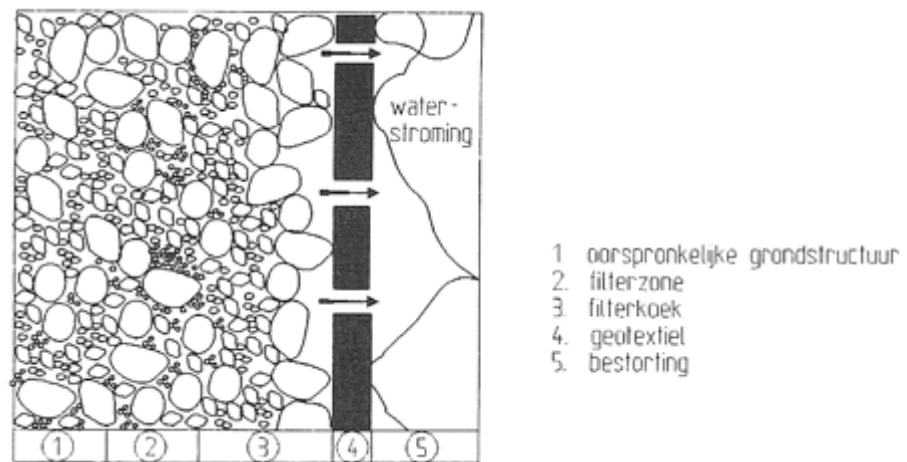
De volgende definities worden aangetroffen in de literatuur [5]:

- O_{max} = poriënafmeting van een geotextiel die correspondeert met de scheiding tussen de zandfractie waarvan een deel door het geotextiel valt en de zandfractie die geheel op het geotextiel achterblijft. In de praktijk wordt O_{max} gelijkgesteld aan O_{98} (droge zeefmethode);
- 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).
- D_w = effectieve openingsgrootte die correspondeert met de korrelgrootte van de zandfractie waarvan 10%, bepaald met de natte zeefmethode, het geotextiel passeert. D_w is vergelijkbaar met O_{95} .
- O_f = filter openingsgrootte, ook wel filtration opening size (FOS) genoemd. O_f is vergelijkbaar met O_{95} (hydrodynamische zeefmethode);
- AOS = apparent opening size, ook wel EOS (effective opening size) genoemd. AOS is vergelijkbaar met O_{95} (droge zeefmethode); De AOS wordt bepaald volgens ASTM 1995b waarin (in tegenstelling tot de EN-ISO normen nog gebruikt wordt gemaakt van de droge zeefmethode. Dit zal hier verder niet worden behandeld.

Als wordt uitgegaan van een loskorrelige (niet cohesieve) grond, kan (in het geval van stationaire niet cyclische stroming) de volgende voorstelling worden gemaakt.

De grond bestaat uit kleinere en grote deeltjes. Dit fenomeen kan worden weergegeven in een zeefkromme (zie figuur 10). In dat geval kunnen de kleinere deeltjes door het geotextiel heen bewegen; de grotere deeltjes blijven achter. De mate waarin dit gebeurt, is sterk afhankelijk van de openingsgrootte van het geotextiel en de vorm van de zeefkromme. Naarmate de zeefkromme flauwer is (het materiaal is breder gegradeerd), kan dit effect beter optreden. Nu ontstaat een situatie waarbij de achtergebleven grote korrels als het ware een boog gaan vormen achter het geotextiel en zo op hun beurt de kleinere deeltjes tegenhouden: er vormt zich een "natuurlijk filter" (zie figuur 12). Hiertoe moet de korrelspanning in het basismateriaal steeds positief blijven.

Fig. 12
Opbouw van een natuurlijk
filter [6].



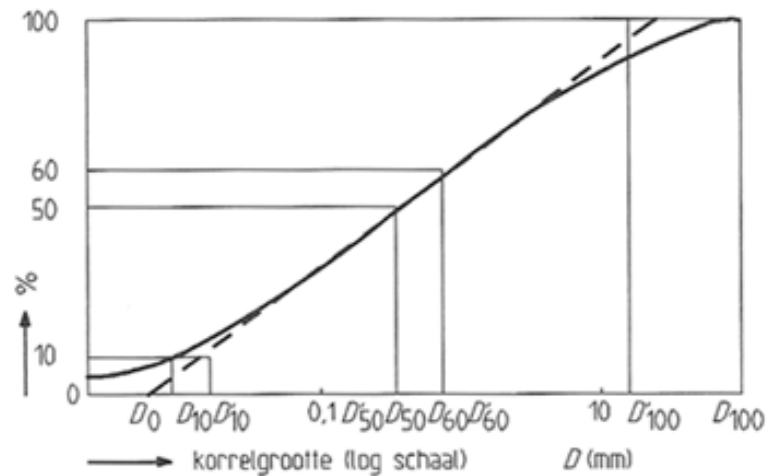
Het ontstaan van een natuurlijk filter is volgens sommige onderzoekers alleen mogelijk bij stationaire stroming [4]. Mlynarek stelt dat dit ook bij niet-stationaire stroming kan gebeuren, zij het dat dan de hydraulische gradiënt beperkt moet blijven [12]. Bij aanzienlijke golfaanval is er een zodanige dynamische belasting aanwezig dat een natuurlijk filter zich niet kan instellen. In extreme situaties is zelfs verweking van de ondergrond mogelijk. In dergelijke gevallen kunnen de fijnere deeltjes het geotextiel bereiken en kan uitspoeling optreden.

Een belangrijke factor is de interne stabiliteit van het korrelskelet. De interne stabiliteit beschrijft in welke mate een granulair grondlichaam uitspoeling van kleine deeltjes kan weerstaan. Bij een losse korrelstapeling kunnen veel kleinere gronddeeltjes worden getransporteerd, voordat een stabiel korrelskelet ontstaat. Het een en ander kan worden versterkt door trillingen ten gevolge van golfklappen, turbulente stroming, enzovoorts. Een goede verdichting van de ondergrond is noodzakelijk. Is dit niet het geval, dan is een geotextiel met een kleinere openingsgrootte noodzakelijk.

De parameter, die de verdeling van de korrelgrootte in de ondergrond weergeeft, is de uniformiteitscoëfficiënt (zie formule 3.10). Als deze kleiner is dan 6 à 10, dan kan worden gesproken van een stabiel korrelskelet.

In de literatuur wordt soms C_u aangetroffen. Hierbij is eerst de zeefkromme gelineariseerd, waarna vervolgens D'_{60} en D'_{10} zijn bepaald (zie figuur 13).

Fig. 13
Lineariseren van de
zeefkromme [5].



Samenvattend kunnen de onderstaande voorwaarden worden gesteld voor het ontstaan van een natuurlijk filter:

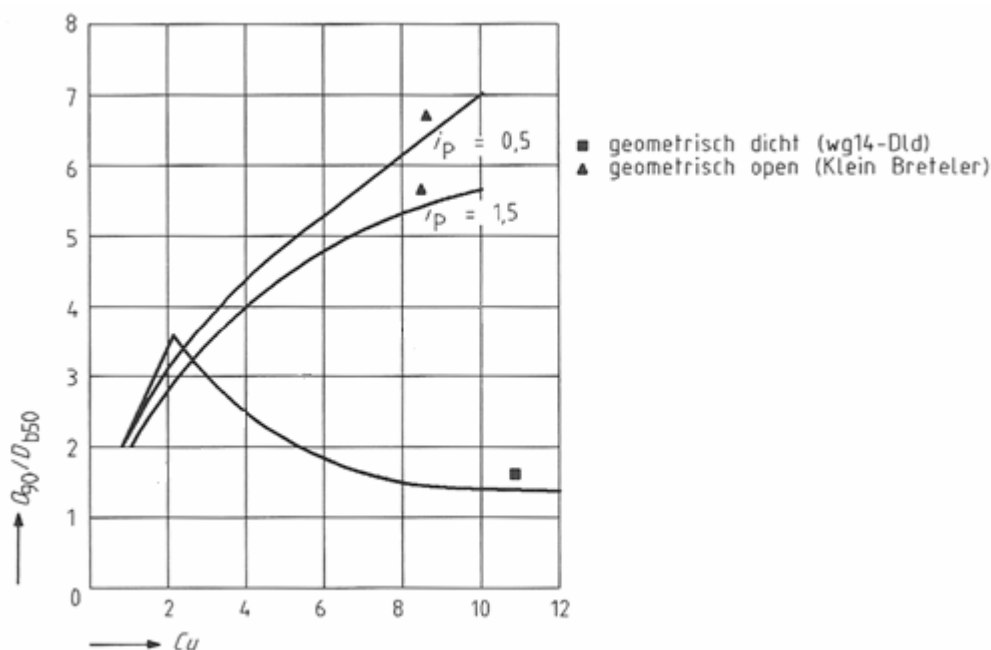
1. grootste korrels worden tegen gehouden en kunnen niet door de grootste openingen in het geotextiel;
2. korrelskelet is intern stabiel;
3. geen of zeer geringe dynamische component ter plaatse van de filterlaag.

Voor stationaire stroming parallel aan het grensvlak zijn in figuur 14 de criteria voor geometrisch open en dichte ontwerpen aangegeven. Te zien is dat toepassing van criteria voor geometrisch open ontwerpen een aanzienlijke verruiming kan geven van de karakteristieke openingsgrootte van het geotextiel. Dit voordeel wordt groter naarmate het verhang (de belasting) kleiner wordt. Bij grotere waarden van de hydraulische gradiënt evenwijdig aan het grensvlak ($> 0,5$) en unifomiteitscoëfficiënt (< 2), wordt het criterium voor een geometrisch open ontwerp echter overeenkomstig aan het criterium voor een geometrisch dicht ontwerp.

Bij criteria voor geometrisch dichte ontwerpen van een filterconstructie op een talud, zijn over het algemeen geen aanvullende eisen te stellen aan de toplaag. Bij geometrisch open filters zijn meestal wel aanvullende eisen nodig. Veelal is een extra (granulaire) tussenlaag nodig om de hydraulische gradiënt, die uiteindelijk op het geotextiel werkt, te reduceren tot een voor het ontwerp van het geotextiel acceptabele waarde. Dit leidt dan ook tot hogere kosten van het ontwerp.

Bij bodembeschermingen die belast worden met relatief lage belastingen is de meeste winst te halen door gebruik te maken van een geometrisch open ontwerp in plaats van een geometrisch dicht. Gezien het feit dat er praktisch geen prijsverschil bestaat tussen een geometrisch open geotextiel en een geometrisch dicht doek, is vooral een kostenbesparing te realiseren wanneer gekozen wordt voor een geometrische open constructie bij toepassing van een granulaire filterconstructie.

Fig. 14
Geometrisch dichte en open
criteria voor parallelle stroming.



Aanbevolen wordt het ontwerp in eerste instantie te richten op geometrisch dicht.

3.2.4 Geometrisch dichte geotextielen

Uitgangspunt bij het bepalen van de vereiste poriënafmeting (O_{90}) van een geometrisch dicht geotextiel, is dat slechts een zeer klein deel mag uitspoelen ongeacht de optredende belasting, waarbij de constructie wel voldoende doorlatend moet zijn.

In de literatuur wordt een zeer groot aantal formules gevonden die allemaal een vergelijkbare opzet hebben [50] en [51].

Deze formules gaan ervan uit dat op de interface geotextiel/grond kleine deeltjes uit kunnen spoelen, maar dat de grotere gronddeeltjes in het basismateriaal wel stabiel blijven en een natuurlijk filter vormen, waardoor de fijne deeltjes dieper in het basismateriaal stabiel blijven.

De retentie capaciteit van een filterconstructie wordt uitgedrukt in de vorm van een 'retention ratio'. Deze is als volgt gedefinieerd [50]:

$$R_R = \frac{O_f}{D_i} \quad (3.1)$$

R_R = retention ratio [-];

O_f = filter openingsgrootte [m];

D_i = indicatieve grootte van het basis materiaal [m].

Voor O_f worden in de literatuur de O_{15} , tot de O_{95} gebruikt en voor de D_i eveneens waarden tussen de D_{15} en D_{90} . Volgens [50] wordt deze variatie veroorzaakt doordat de meeste regels niet gebaseerd zijn op fysische fenomenen Het zijn meestal empirische formules

waarbij vaak ook de coëfficiënt van uniformiteit (C_u) niet meegenomen is (zie formule 3.16). Tussen de verschillende gevonden retention ratio's in de literatuur kunnen daardoor grote verschillen optreden.

Heibaum et al [50] beschrijven in hun 'keynote lecture' tijdens de '8th International Conference on Geosynthetics (2006)', dat het niet meenemen van de coëfficiënt van uniformiteit kan leiden tot een substantiële uitwassing van kleine deeltjes uit het filter. Dit kan leiden tot onconservatieve ontwerpen. Hij stelt daarom op basis van de Canadian Foundation Engineering Manual (CFEM) de filterformules 3.2 en 3.3 voor. Met behulp van tabel 7 en tabel 8 en figuur 15 kan nu de openingsgrootte van het geotextiel bepaald worden:

$$R_R = \frac{O_f}{D_i} < 1 \quad (3.2)$$

Voor geotextielen geldt:

$$O_f = AOS \text{ of } O_f = FOS \quad (3.3)$$

waarin:

AOS = Apparent Opening Size, bepaald met droog zeven [mm];
 FOS = Filtration Opening Size bepaald met hydrodynamisch zeven [mm].

In Europa is nat zeven de standaard. De relatie tussen de O_f , gevonden met nat zeven en die met droog zeven, wordt in de literatuur niet beschreven. Voor een basislaag met deeltjes van 150 μm en groter zal dat niet veel uitmaken. Voor kleinere deeltjes kunnen er verschillen ontstaan. Aanbevolen wordt dan om de FOS te gebruiken [50].

Tabel 7 en tabel 8 geven de relatie weer tussen de indicatieve grootte van het basismateriaal, de uniformiteitscoëfficiënt (C_u) en de openingsgrootte van het geotextiel (O_{95}).

Meestal wordt door de fabrikant van het geotextiel de O_{90} opgegeven, echter de meeste relaties zijn gepasseerd op de O_{95} . Bij eerste benadering mag de O_{90} gelijkgesteld worden aan de O_{95} . Mocht blijken dat de retention ratio (R_R) zich dicht bij 1 bevindt, dan zal de fabrikant gevraagd moeten worden om de O_{95} van het betreffende (beschikbare) geotextiel. In zeer kritische gevallen kan overwogen worden om een proef uit te voeren en daarmee de zanddichtheid van het geotextiel vast te stellen.

Er kunnen 3 belastingsgevallen worden onderscheiden:

1. Stationaire stroming.

Bij dit belastinggeval kunnen bij een gegeven korrelgrootte de grootste openingen in het geotextiel toegelaten worden. Ook al kunnen individuele deeltjes direct achter het geotextiel uitspoelen, er zal een 'brug' ontstaan van deeltjes over de openingen in het geotextiel die de uitspoeling zal stoppen. Bij voldoende interne stabiliteit van de grond achter het geotextiel ontstaat zo een natuurlijk filter.

2. *Cyclische of dynamische belasting.*

Als het geotextiel bij cyclische of dynamische belasting onder invloed van de bovenbelasting strak op korrels ligt, zal er door de cyclische belasting in het algemeen geen “brug” over de openingen kunnen ontstaan. In de grond kan wel een natuurlijk filter ontstaan, waarin dicht bij het geotextiel alleen grote korrels voorkomen. De openingen in het geotextiel moeten in dit geval kleiner zijn dan bij belastinggeval 1 om de grond achter het geotextiel te keren.

3. *Cyclische belasting en een niet aanliggend geotextiel.*

Wanneer het geotextiel niet plaatsvast in de constructie ligt, bijvoorbeeld als het niet afgedekt is of alleen met een dunne laag afdek materiaal, kan het geotextiel bewegen ten opzichte van het zand. Zo zullen steeds andere korrels in de buurt van de openingen van het geotextiel komen. Zanddichtheid is in die situatie alleen gewaarborgd wanneer maar een heel klein gedeelte van die zandkorrels kleiner is dan de openingen in het geotextiel. Deze situatie leidt dus bij een gegeven korrelgrootte tot de kleinste openingen in het geotextiel.

In Nederland wordt meestal tabel 7 gebruikt, zoals die weergegeven was in de eerste uitgave van het CUR rapport 174. Internationaal wordt ook vaak gebruik gemaakt van de methode beschreven in de paper van Heibaum [50]. De ontwerprichtlijnen uit die publicatie zijn weergegeven in tabel 8.

In **belastinggeval 1** is er praktisch geen verschil tussen de uitkomst van de berekening op basis van de criteria in tabel 7 of tabel 8. Men kan dan ook vrijelijk een keuze voor de toepassing maken.

Belastinggeval 2 is de toepassing van een geotextiel in een waterbouwkundige constructie waarbij het gewicht van de op het geotextiel liggende laag granulair materiaal zodanig groot is dat bewegen van het geotextiel onder invloed van cyclische belasting niet plaats kan vinden. Ook is het hierbij van belang dat de openingen tussen de stenen niet te groot zijn en/of dat een laag fijn granulair materiaal direct op het geotextiel ligt. Dit is het geval als het geotextiel is afgedekt met een laag breuksteen met laagdikte van minimaal $2D_{50}$, of een steenzetting met uitvullaag van granulair materiaal, of een vergelijkbare constructie.

In Nederland is veel ervaring op gedaan met dit soort constructies. Ook zijn er veel proeven uitgevoerd. Op basis daarvan is tabel 7 ontwikkeld. Daarom mag voor belastinggeval 2 uitgegaan worden van de waarden uit tabel 7. Die geven over het algemeen grotere openingsgroottes dan de uitkomst is van een berekening met de regels uit tabel 8.

Voor **belastinggeval 3** presenteren Heibaum et al [50] strengere regels. Als een geotextiel daaraan voldoet is het ook geometrisch dicht als het geotextiel kan bewegen onder invloed van de cyclische belasting. Dit zou kunnen gebeuren als het geotextiel dicht aan het oppervlak ligt en dus min of meer direct geëxposeerd is en er sprake is van een behoorlijke golfbelasting ($H_s > 0,5m$, zie [66]). Voorbeelden van zulke constructies zijn de toepassing van (dunne) blokken direct op geotextiel zonder granulaire tussenlaag, of het toepassen van een enkele grove laag breuksteen direct op geotextiel. In deze gevallen moeten de ontwerpregels uit tabel 8 gebruikt worden.

Er is sprake van instabiele grond (fijnkorrelig materiaal) als minimaal voldaan wordt aan één van de volgende specificaties:

- de grond is fijnkorrelig, met een plasticiteitsindex kleiner dan 0,15 (dit is dus geen cohesieve grond);
- 50 gewichtsprocenten van de korrels ligt tussen $0,02 < D_b < 0,1$ mm;
- klei of slibhoudende grond met $C_u < 15$.

De term instabiele grond betekent niet dat de grond van zichzelf als instabiel is. Het heeft betrekking op de mogelijkheid van uitspoelen van fijne korrels uit de grond.

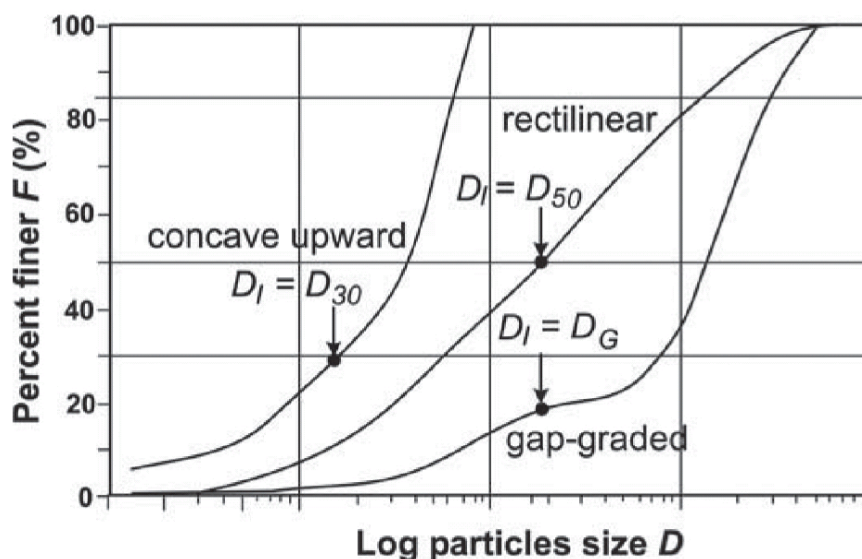
Tabel 7 Ontwerpcriteria voor geometrisch dichte geotextielen [5]. Op basis van onderzoek in Nederland, zoals gepubliceerd in de eerste uitgave van CUR 174. O_{90} is bepaald met behulp van de natte zeefmethode.

	Grondsoort			
	$D_{40} \leq 60 \mu\text{m}$		$D_{40} > 60 \mu\text{m}$	
	Stabiele grond	Instabiele grond	Stabiele grond	Instabiele grond
Stationaire belasting	$O_{90} < 10 \cdot D_{50}$ en $O_{90} < 2 \cdot D_{90}$	$O_{90} < 10 \cdot D_{50}$ en $O_{90} < D_{90}$	$O_{90} < 5 \cdot D_{10} \cdot C_u^{1/2}$ en $O_{90} < 2 \cdot D_{90}$	$O_{90} < 5 \cdot D_{10} \cdot C_u^{1/2}$ en $O_{90} < D_{90}$
Dynamische belasting	$O_{90} < 1,5 \cdot D_{10} \cdot C_u^{1/2}$ en $O_{90} < D_{50}$ en $O_{90} < 500 \mu\text{m}$		$O_{90} < D_{90}$	

Tabel 8 Verband tussen indicatieve grootte van het basismateriaal, uniformiteitscoëfficiënt en openingsgrootte geotextiel, op basis van de paper van Heibaum e.a. [50].

Basismateriaal	Stationaire belasting/stroming	Dynamische, pulserende, cyclische belasting (geotextiel kan bewegen)
$D_{50} \geq 0,075$ mm	$O_{95} < B \cdot D_b$ $C_u \leq 2$ $B = 1, D_b = D_{85} (D_i = D_{85})$ $2 < C_u \leq 4$ $B = 0,5 \cdot C_u, D_b = D_{85}, (D_i = 0,5 \cdot D_{85} \cdot C_u)$ $4 < C_u \leq 8$ $B = 8 / C_u, D_b = D_{85} (D_i = 8 D_{85} / C_u)$ $8 < C_u$ Lineair gecgradeerde grond: $B = 1, D_b = D_{50} (=D_i)$ Grond met een concave korrelverdeling (zie figuur 15): $B = 1, D_b = D_{30} (=D_i)$ Voor 'gap graded' gronden. Waar DG de minimum korreldiameter van de gap is: $B = 1, D_b = D_g (=D_i)$	$O_{95} < 0,5 \cdot D_{85}$ Of $O_{95} < 0,3$ mm
$D_{50} < 0,075$ mm	Weefsel $O_{95} < D_{85}$ Vlies $O_{95} < 1,8 \cdot D_{85}$	$O_{95} < 0,5 \cdot D_{85}$ Of $O_{95} < 0,3$ mm
Silt	$O_{95} < 0,3$ mm	

Fig. 15
Classificatie van
graderingskrommes bij
wijdgegradeerde materialen
[50].



3.2.5 Karakteristieke openingsgrootte

De karakteristieke openingsgrootte O_{90} van een geotextiel, is de poriënafmeting die correspondeert met de D_{90} waarvan 90% op het geotextiel achterblijft. De O_{90} van een geotextiel wordt bepaald met behulp van de testmethode EN ISO 12956, “determination of the characteristic opening size”.

Onderzoek heeft uitgewezen dat voor belastingsniveaus (trekspanning kleiner dan 0,3 maal de breukspanning) die overeenkomen met het gebruik van geotextielen als filters, de karakteristieke openingsgrootte niet ingrijpend verandert als gevolg van rek [52].

De vereiste O_{90} , die resulteert uit het detailontwerp, kan als eis aan het geotextiel gesteld worden. Een veiligheidsfactor over de O_{90} zou leiden tot te grote of te kleine openingen. Hiermee wordt direct de werking van het filter beïnvloed. In de praktijk zal gekozen worden voor een geotextiel, waarvan de O_{90} gelijk is aan de ontwerpeis.

3.2.6 Geometrisch open geotextielen

Bij geometrisch open constructies is tevens de kracht die door het water op de korrels wordt uitgeoefend van belang. De zogenoemde sleepkracht. Deze kracht kan worden gereduceerd door het geotextiel.

De karakteristieke parameter die de sleepkracht beschrijft, is de gradiënt. Deze gradiënt is afhankelijk van de grootte van de (externe) belasting en het constructietype en dient per situatie bepaald te worden. Het uitgangspunt is dat het optredende verhang niet groter mag zijn dan een kritiek verhang, waarbij onder de maatgevende omstandigheden geen materiaaltransport optreedt. Deze kritieke waarden zijn voor een aantal situaties bepaald uit modelonderzoek. Het vaststellen van de optredende verhangen in de constructie verdient de nodige aandacht.

Voor zand zal in de meeste gevallen kunnen worden volstaan met een geometrisch dicht ontwerp, echter voor heel fijn zand (silt) en klei is dit niet het geval. Geotextielen zijn ver-

krijgbaar met een O_{90} van 140 μm of groter. Vliezen zijn beschikbaar met een openingsgrootte van 80 μm of groter.

Voor meer informatie omtrent het ontwerpen van geometrisch open textielen wordt verwezen naar bijlage B en bijlage C. Bijlage B beschrijft de bepaling van de hydraulische belastingen en bijlage C gaat verder in op het ontwerp van geometrisch open geotextielen.

3.2.7 Toepassing geotextiel direct op klei

Voor cohesieve grondsoorten, zoals klei en silt, wordt de interne stabiliteit sterk bepaald door de cohesie. Hoe groter de cohesie des te stabielere de grondsoort.

De beschikbare kennis ten aanzien van de gronddichtheid van geotextielen betreft voornamelijk het gebied van non-cohesieve gronden. In Nederland worden ook veel cohesieve grondsoorten, zoals klei en veen, aangetroffen. Ten behoeve van het ontwerp op gronddichtheid wordt het materiaal (de grond) veelal beschouwd als bestaande uit zeer kleine deeltjes. Toch is door de cohesieve krachten het werkelijke gedrag van bijvoorbeeld klei anders: erosie vindt eerder plaats in de vorm van brokjes met een grootte van enkele millimeters, dan in de vorm van afzonderlijke deeltjes. Om die reden kan de openingsgrootte van het textiel als het ware groter zijn. Ontwerp op de voor loskorrelige materialen beschreven wijze geeft dus veilige waarden.

Voor statische belasting en voor grond waarvan > 50% de 80 μm zeef passeert wordt in [50] aangegeven dat de

$$O_f < 0,3\text{mm} \quad (3.4)$$

Als de ondergrond voor 100% kleiner is dan 80 μm wordt geadviseerd een

$$O_f < \frac{D_{15}}{4} \text{ of } O_f < 125\mu\text{m} \quad (3.5)$$

Ook in deze gevallen is het niet nodig een veiligheidscoëfficiënt toe te passen.

Tegenwoordig zijn er ook zandmatten op de markt waarbij er tussen twee geotextielen in een laagje zand is opgenomen. Door het gebruik van deze matten op bijvoorbeeld een klei ondergrond, kan een geometrisch dichte constructie verkregen worden, ook onder invloed van hydraulische belastingen. Voor nadere informatie omtrent de systemen wordt verwezen naar de verschillende leveranciers.

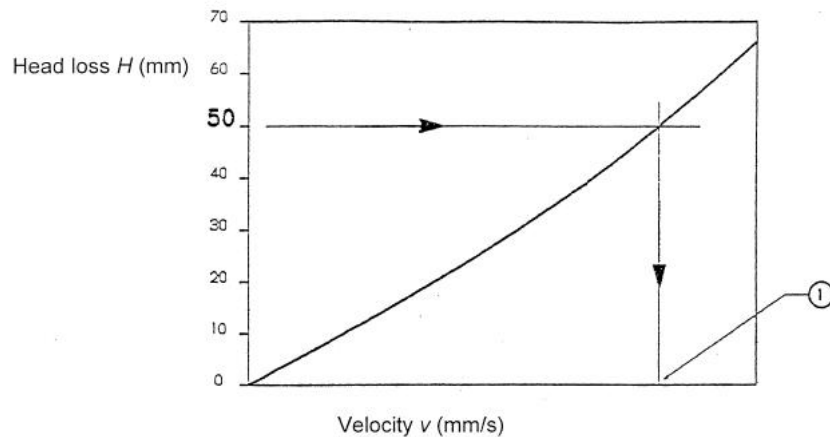
3.3 Waterdoorlatendheid

3.3.1 Algemeen

Basisuitgangspunt bij het ontwerp van waterdoorlatende filterconstructies is het tegengaan van wateroverdrukken. Dit houdt een voldoende grote afvoercapaciteit van de diver-

se lagen in, die in de richting van de grondwaterstroming toeneemt: de hydraulische gradiënt in de opeenvolgende lagen moet steeds kleiner worden, ofwel de doorlatendheid steeds groter. De doorlatendheid van geotextielen wordt in EN ISO 11058 vastgelegd door de 'Velocity Index' (V_{H50}). Deze is gedefinieerd als de snelheid die optreedt bij een stijghoogteverschil van 50 mm over het geotextiel, met een nauwkeurigheid van 1 mm/s (zie figuur 16).

Fig. 16
Bepaling doorlatendheid met
behulp van de Velocity
Index (V_{H50}).



3.3.2 Waterdoorlatendheid loodrecht op het grensvlak

Waterdoorlatendheid moet worden onderscheiden in "loodrecht op het grensvlak" en "evenwijdig aan het grensvlak". In de waterbouw is alleen de waterdoorlatendheid loodrecht op het grensvlak van belang.

Oogmerk van het ontwerp op waterdoorlatendheid is:

$$i_n \leq i_b \quad (3.6)$$

waarin:

i_b = verhang in het basismateriaal [m];

i_n = verhang loodrecht over het geotextiel [m].

Twee variabelen worden hierbij gehanteerd, namelijk de doorlatendheid van het geotextiel en de permittiviteit, waarvan er één voldoende is voor het ontwerp. De permittiviteit is een functie van de filtersnelheid per eenheid van verhang en per eenheid van breedte. Het begrip permittiviteit is verder uitgewerkt in 3.3.2. De relatie tussen de doorlatendheid van het geotextiel en de permittiviteit is bij laminaire stroming als volgt:

$$\psi = \frac{k_n}{t_g} \quad (3.7)$$

waarin:

ψ = permittiviteit [$1/s$];

k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s];

t_g = dikte van het geotextiel [m].

De permittiviteit is in geval van laminaire stroming rechtstreeks te berekenen uit de velocity index. Er geldt:

$$\psi = 20 \cdot V_{H50} \quad (3.8)$$

Om de doorlatendheid te berekenen moet ook de dikte van het geotextiel bekend zijn: Invullen van vergelijking (3.7) in (3.8) geeft weer voor laminaire stroming:

$$k_n = 20 \cdot T_g \cdot V_{H50} \quad (3.9)$$

Bij deze test treedt overigens vrij vaak turbulente stroming op in het geotextiel.

Criteria voor de waterdoorlatendheid zijn gebaseerd op voornoemde variabelen, maar de zo gevonden doorlatendheden zijn niet rechtstreeks te vergelijken met die van de ondergrond. Eerder genoemde test is een index test, zonder grond. De doorlatendheid van een in de grond geplaatst geotextiel is altijd kleiner dan de waarde bepaald in de index test. Bij de doorlatendheid worden empirische criteria gehanteerd, die over het algemeen op eenvoudige en acceptabele wijze zijn toe te passen. Aan het begrip "permittiviteit" worden meestal meer fundamentele relaties gekoppeld.

3.3.3 Doorlatendheid van de ondergrond

De doorlatendheid van de ondergrond kan bepaald worden door het uitvoeren van een gestandaardiseerde doorlatendheidsproef. Het is ook mogelijk, met een beperkte mate van betrouwbaarheid, een schatting te doen van de doorlatendheid van de grond op basis van de korrelverdeling en de porositeit. Een indicatie van doorlatendheden wordt gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 9 Doorlatendheden verschillende grondsoorten.

Materiaal	D ₅₀ [mm]	k [m/s]
Klei	< 2*10 ⁻³	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻⁸
Silt	2*10 ⁻³ – 63*10 ⁻³	10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁶
Zand	63*10 ⁻³ – 2	10 ⁻⁶ – 10 ⁻³
Grind	2 – 63	10 ⁻³ – 10 ⁻¹

Meer specifiek kan voor zand de doorlatendheid geschat worden uit de uniformiteitscoëfficiënt (formule 3.10) en de doorlatendheid volgens de formule van Beyer (formule 3.11) en de korrelgrootte:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.10)$$

C_u = uniformiteitscoëfficiënt [-];

D_{60} = effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 60% de zeef passeert [m];

D_{10} = effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert [m].

$$k_p = c_B \cdot (D_{10})^2 \quad (3.11)$$

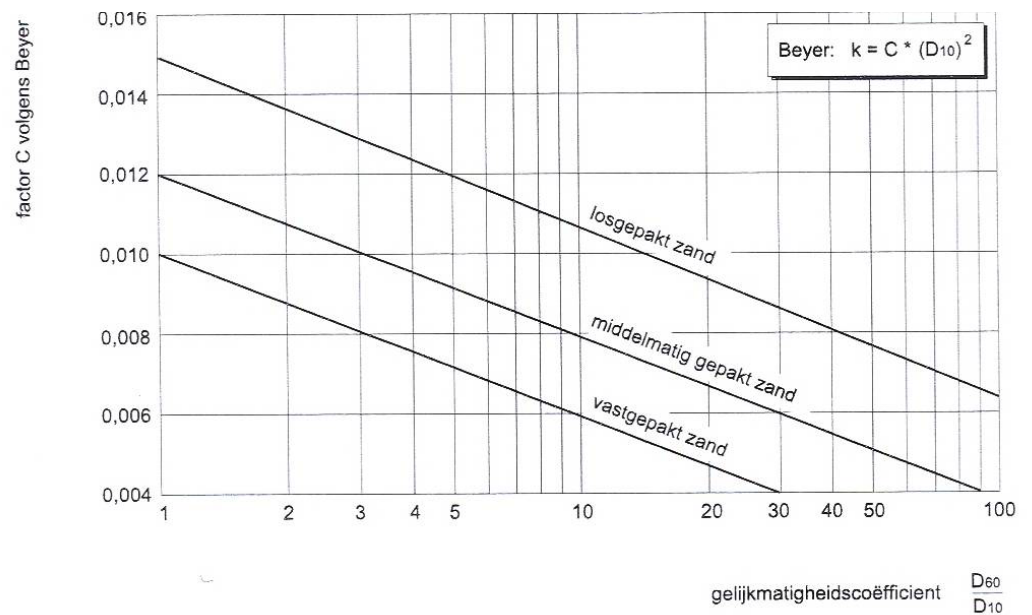
waarin:

k_p = doorlatendheid basismateriaal [m/s];

c_B = factor volgens Beyer (zie figuur 17) [-];

D_{10} = effectieve korreldiameter die correspondeert met de zandfractie waarvan 10% de zeef passeert [mm].

Fig. 17
Doorlatendheid zand
volgens Beyer.



3.3.4 Ontwerp op basis van de doorlatendheid k

Ten aanzien van de doorlatendheid wordt gesteld dat de doorlatendheid van het geotextiel groter moet zijn dan die van de basislaag, ofwel:

$$k_n \geq c_m \cdot k_b \quad (3.12)$$

waarin:

k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s].

c_m = constante afhankelijk van het basismateriaal [-];

k_b = doorlatendheidscoëfficiënt van het basismateriaal [m/s].

De doorlatendheid is een rekengrootheid die is bepaald met de relatie van Darcy:

$$v_f = k_n \cdot i \quad (3.13)$$

waarin:

v_f = filtersnelheid [m/s];

k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s];

i = verhang [-].

Deze relatie houdt geen rekening met turbulente stromingscomponenten. Ook de dikte van het geotextiel is in werkelijkheid van invloed op de doorlatendheid. De relatie van Darcy is slechts geldig voor laminaire stroming.

De waarde van c_m in formule (3.12) wordt bepaald door de hoedanigheid van de ondergrond, de waterstroming en het gevaar voor clogging en blocking. Veel onderzoekers geven waarden voor de parameter c_m :

- Stationaire stroming: als geen gevaar voor dichtslibben bestaat, is een waarde van c_m van 2 à 3 voldoende. Als er gevaar voor clogging of blocking bestaat, is voor wovens een waarde van $c_m = 10$ over het algemeen acceptabel.
- Voor niet-stationaire stroming hanteert het "Bundesanstalt für Wasserbau" de volgende criteria:
 - $c_m = 10$ voor niet-cohesief basismateriaal;
 - $c_m = 100$ voor cohesief basismateriaal.

Voor grote hydraulische gradiënten wordt ook voor c_m bij niet-cohesief basismateriaal gegeven; $c_m = 16 - 20$ [16].

Er zijn geen gegevens beschikbaar om deze waarden voor c_m te verifiëren, zodat enige voorzichtigheid moet worden betracht bij de toepassing ervan.

3.3.5 Ontwerp op basis van de permittiviteit

De permittiviteit is een grootheid die voor een bepaald geotextiel eenduidig is vast te stellen. Ook hierbij geldt altijd formule 3.12. De permittiviteit wordt beschreven door de volgende relatie:

$$\psi = \frac{v_f}{\Delta h_g} = \frac{v_f}{t_g} \cdot \frac{t_g}{\Delta h_g} = \frac{v_f}{t_g} \cdot \frac{1}{i_n} = \frac{k_n}{t_g} \quad (3.14)$$

waarin:

- v_f = filtersnelheid in het geotextiel [m/s];
- Δh_g = verval over het geotextiel [m];
- t_g = dikte van het geotextiel [m];
- i_n = verhang loodrecht over het geotextiel;
- k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s].

Combinatie met formule 3.7 en door gebruikmaking van de continuïteitsvergelijking:

$$k_n \cdot i_n = k_b \cdot i_b \quad (3.15)$$

waarin:

- k_b = doorlatendheidscoëfficiënt van het basismateriaal [m/s];
- i_b = gradiënt in het basismateriaal [-];

geeft:

$$\psi = (10^2 \text{ tot } 10^3) \cdot k_b \cdot \frac{i_b}{\Delta h_g} \quad (3.16)$$

Er is een relatie af te leiden die identiek is aan formule 3.15. Dit wordt echter voor praktisch gebruik niet aanbevolen.

De loodrechte afvoer door het geotextiel is te bepalen met:

$$Q = v_f \cdot A = \psi \cdot \Delta h_g \cdot A = k_n \cdot A \cdot i_g \quad (3.17)$$

waarin:

Q = loodrechte afvoer [m³/s];
A = doorstroomoppervlak [m²].

Uit het ontwerp volgt een vereiste waarde voor de doorlatendheid k_n of de permittiviteit ψ :

$$\psi = \frac{k_n}{t_g} \quad (3.18)$$

waarin:

t_g = dikte van het geotextiel [m];
 k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s].

De doorlatendheid van het geotextiel wordt bepaald met behulp van EN ISO 11058, “determination of waterpermeability characteristics perpendicular to the plane, without load”. Het resultaat van deze proef is de zogenaamde Velocity Index (zie 3.3.1). Het debiet door het geotextiel bij een verval van 50 mm. Uit deze Velocity Index (V_{H50}) is de waarde van ψ voor het geotextiel bij een verval van 50 mm rechtstreeks te bepalen. Er geldt (V_{H50} in [m/s]):

$$\psi = 0,5 \cdot V_{H50} \quad (3.19)$$

De lange duur doorlatendheid wordt beïnvloed door samendrukking van het geotextiel onder belasting, chemische degradatie, blocking en clogging. Deze effecten kunnen berekend worden met de volgende formule:

$$\psi_{lange_duur} = \frac{\psi_{gemeten}}{RF_{tot}} \quad (3.20)$$

Met:

RF_{tot} = product van de reductiefactoren $RF_1 \cdot RF_2 \dots \cdot RF_n$
 RF_1 = reductiefactor voor het verschil in indrukking onder gebruikslast versus testconditie;
 RF_2 = reductiefactor voor lange duur samendrukking onder belasting;
 RF_3 = reductiefactor voor chemische degradatie;
 RF_4 = reductiefactor voor blocking door gronddeeltjes;

RF_5 = reductiefactor voor chemische clogging;

RF_6 = reductiefactor voor biologische clogging.

Onderstaand is een aantal mogelijke waarden voor de parameter RF opgenomen.

RF_1 = 1,0 als de doorlatendheid gemeten is bij een verticale belasting die gelijk is aan de gebruikslast;

RF_2 = 1,0 als de doorlatendheid gemeten is met een belasting die meer dan 100 uur aanwezig is geweest. Anders moet 1,2 als standaardwaarde gebruikt worden of moet de waarde gebaseerd zijn op testen;

RF_3 = 1,4 – 2,0 volgens [38];

RF_4 = 5 – 10 afhankelijk van de omringende grond. Deze waarde is de constante c_m in formule (3.15). Als bij het ontwerp gerekend is met $c_m = 10$ kan hier $RF_4 = 1,0$ gehouden worden;

RF_5 = 1,2 - 2,0 volgens [38];

RF_6 = 1,5 – 2,0 volgens [38].

Tot slot geldt dat de langeduur permittiviteit groter moet zijn dan de ontwerp permittiviteit en er moet worden voorkomen dat een te fijne openingsgrootte van het geotextiel wordt gekozen ($0,5 < O_{90}/D_{90} < 1$), aangezien dit kan leiden tot "blocking": deeltjes uit de ondergrond zetten zich af in de openingen van het geotextiel, waardoor dit wordt geblokkeerd (zie 3.4.1).

In dit hoofdstuk wordt niet ingegaan op de waterdoorlatendheid in het vlak van het geotextiel. Deze parameter is van belang als het geotextiel water moet kunnen afvoeren, bijvoorbeeld bij toepassing als drainage. Dit valt buiten het doel van deze publicatie.

3.4 Vermindering van doorlatendheid als gevolg van lange duur processen

De doorlatendheid is een variabele die in het gebruik aan verandering onderhevig is. Hierbij worden de volgende situaties onderscheiden:

- Blocking (zie 3.4.1)
- Blinding (zie 3.4.2)
- Clogging (zie 3.4.3)

Om problemen te voorkomen geïntroduceerd door bovenstaande mechanismen wordt aangeraden om de eigenschappen van het geotextiel zo te kiezen dat de kans klein is dat één van mechanismen kan optreden.

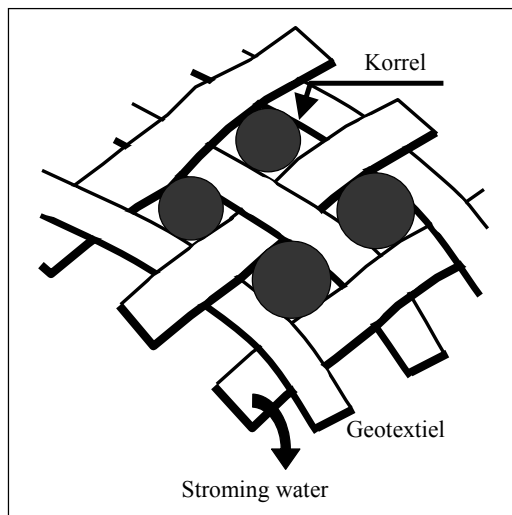
3.4.1 Blocking

Deeltjes uit het basismateriaal worden meegenomen door de grondwaterstroming en zetten zich af in de openingen van het geotextiel, waardoor deze geblokkeerd raken (zie figuur 18). Deze situatie, die het meeste voorkomt bij weefsels, treedt alleen op bij stroming loodrecht op het grensvlak.

Het effect treedt op bij het gelijktijdig aanwezig zijn van de volgende factoren:

- een min of meer uniforme openingsgrootte van het geotextiel;
- een uniforme korrelverdeling van het basismateriaal;
- O_{90}/D_{b90} tussen 0,5 en 1,0.

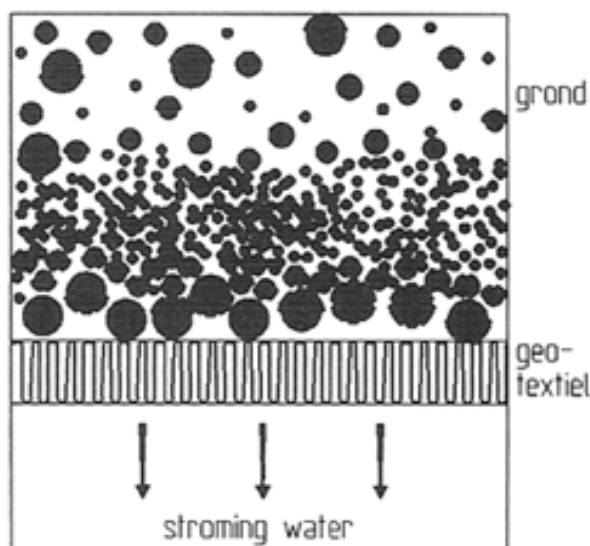
Fig. 18
Schematische weergave van
het blocking-mechanisme [16].



3.4.2 Blinding

Een fenomeen dat sterk overeenkomt met blocking is blinding. Hierbij onderscheppen grovere deeltjes, die door het geotextiel worden tegengehouden, fijnere deeltjes zodanig dat een slecht doorlatende laag wordt opgebouwd juist bovenstrooms van het geotextiel (zie figuur 19).

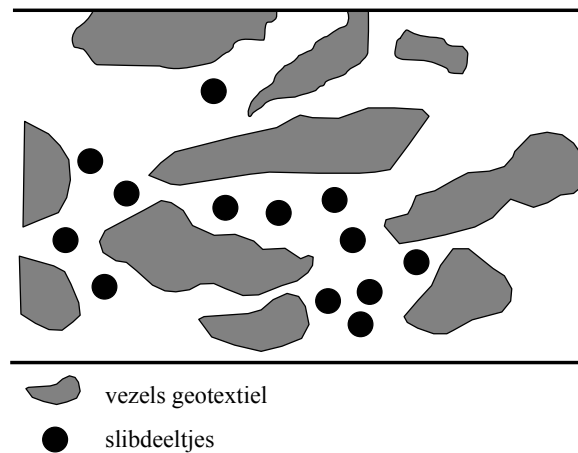
Fig. 19
Schematische weergave van
het blinding-mechanisme [16]



3.4.3 Clogging

Bij clogging slibt het geotextiel dicht doordat fijne deeltjes uit het basismateriaal zich in de loop der tijd in het geotextiel dringen en de poriënkanalen aan de bovenstroomse zijde blokkeren: "unilateral clogging" (zie figuur 20).

Fig. 20
Schematische weergave van
het clogging-mechanisme.



Clogging kan ook ontstaan door de oxidatie van roestdeeltjes, kalkhoudend water, biologische aangroei of, zoals bij oever- of dijkbekledingen, door het aanslibben van buitenaf.

De doorlatendheidscoëfficiënt, de permittiviteit of de effectieve openingsgrootte blijken geen goede parameters om het verschijnsel te beschrijven. Inzicht in het werkelijke gedrag bij een bepaalde situatie is in feite slechts door middel van een simulatieproef te verkrijgen.

Verscheidende onderzoekers hebben "in situ-onderzoek" gedaan naar clogging. Hieruit is geconcludeerd dat bij "mineral clogging", hoewel het poriëngehalte en de doorlatendheid van het geotextiel sterk verminderden (de doorlatendheid tot wel 50% van de oorspronkelijke waarde), de waterdoorlatendheid toch altijd groter blijft dan die van het basismateriaal. Omdat in veel gevallen een soort evenwicht wordt bereikt, blijkt de waterdoorlatendheid desondanks voldoende groot te blijven.

Clogging treedt vooral op bij stationaire stroming en vliezen. Een percentage silt van meer dan 20% of een gap-graded basismateriaal werken clogging in de hand.

Er bestaat geen gevaar voor clogging als de hydraulische gradiënt, over basismateriaal en geotextiel samen, kleiner is dan 3 of een goed gegradeerd basismateriaal aanwezig is. Wel is altijd vereist dat het basismateriaal intern stabiel is.

Voor minder kritieke omstandigheden kan worden gesteld dat clogging niet optreedt als:

- $C_u > 3$; $O_{95}/D_{b15} > 3$;
- $C_u < 3$; gronddichtheids criterium.

De overige vormen van clogging ("iron clogging", "microbiological clogging") hebben het nadeel dat zij in de praktijk onomkeerbaar zijn en progressief de waterdoorlatendheid kunnen verkleinen. Op het moment dat omstandigheden als zuurgraad, temperatuur en aanwezigheid van een voedingsbodem gunstig zijn voor de biochemische processen verandert het totale grond-geotextielsysteem op een onomkeerbare wijze door ijzeroxide-afzetting of bacteriële aangroei. Vanuit deze invalshoek is de vermelding terecht dat dan de hydraulische parameters qua beschrijving tekort schieten; alleen praktijksimulaties kunnen voor de nodige indicaties zorgen.

In het verleden is uitgebreid laboratoriumonderzoek uitgevoerd naar de filtereigenschappen van Nederlandse geotextielen [12]. De testresultaten zijn vergeleken met de bestaande filterregels en in grafieken uitgezet, waarbij op de horizontale as de waterdoorlatendheidsverhoudingen en op de verticale as de karakteristieke gronddichtheidsparameters van geotextiel en ondergrond zijn uitgezet. Figuur 21 geeft deze relaties voor weefsels en figuur 22 voor vliezen. Deze figuren geven een goede indicatie van de bruikbaarheid van de verschillende ontwerpcriteria. De informatie kan worden gebruikt ten behoeve van een eerste globaal ontwerp. Als hieruit een ontwerpvoordeel is te behalen, moet de definitieve keuze worden onderbouwd/gekwantificeerd door een aanvullend onderzoek of berekening. Bij het gebruik van de grafieken zijn de volgende punten het van belang:

- De onderzoeken zijn uitgevoerd met een stationaire stroming die van boven naar beneden gaat. Dit is mogelijk van toepassing voor geotextielen met een drainagefunctie.
- Geotextielen met een functie die beschermt tegen erosie en een filterfunctie worden meestal belast door een dynamische stroming van beneden naar boven.

Fig. 21
Filtercriteria voor weefsels [12].

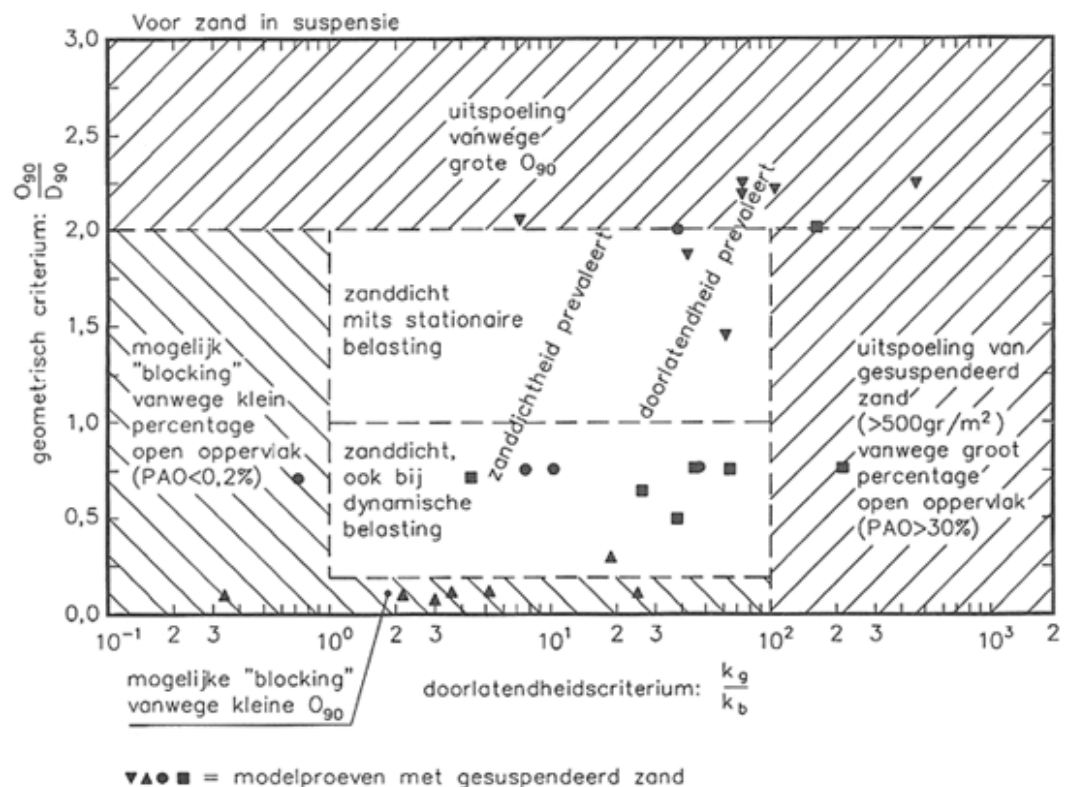
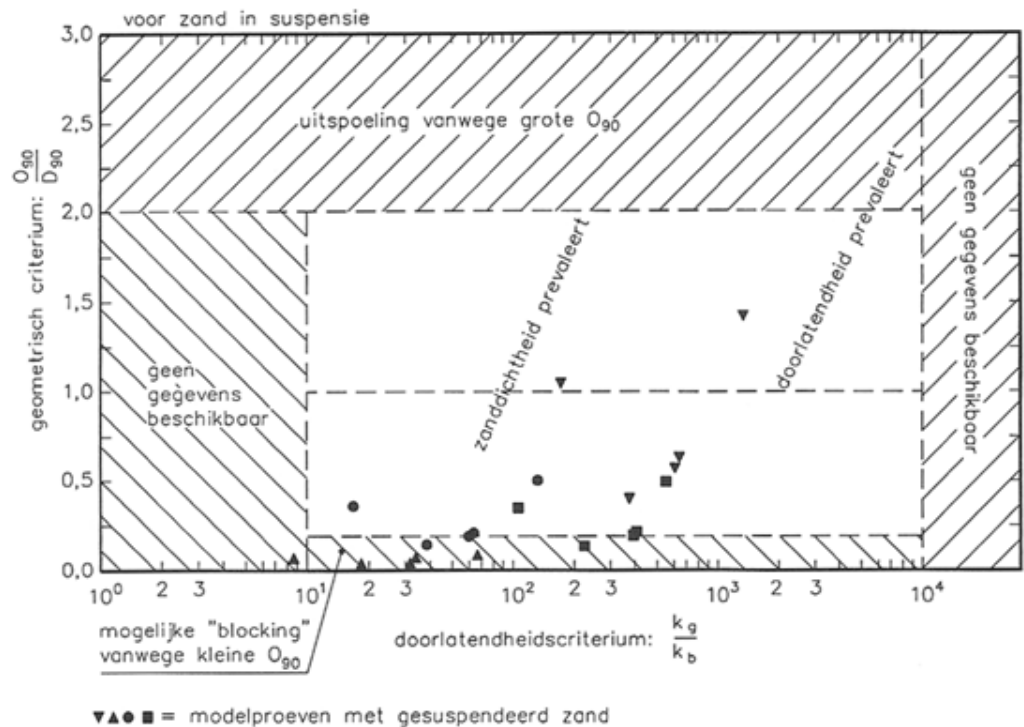


Fig. 22
Filtercriteria voor vliezen [12].



3.4.4 Verandering openingsgrootte onder invloed van trekbelasting

Bij de bepaling van de juiste openingsgrootte en daarmee de zanddichtheid, moet met het volgende rekening worden gehouden [52]:

- De trekspanning in een constructie heeft invloed op de openingsgrootte van een geotextiel. Als een geotextiel in de gebruikstoestand onderworpen is aan een trekspanning die kleiner is dan 0,3 maal de spanning bij breuk, hoeft geen rekening worden gehouden met een (significante) verandering van de openingsgrootte.
- Als de trekspanning in de gebruikstoestand groter is dan 0,3 maal de spanning bij breuk, moet wel rekening worden gehouden met een verandering van de openingsgrootte. Het type geotextiel en het type draden bepalen of de openingen groter of kleiner worden.
- Voor geotextielen die zijn geweven uit multifilament draden moet met een vergroting van de waarde van O_{90} rekening worden gehouden die procentueel even groot is als de fractie van de uni-axiale spanning bij breuk. Met andere woorden, als een dergelijk geotextiel in de gebruikstoestand een uni-axiale spanning ondervindt van 50 % van de spanning bij breuk, moet rekening worden gehouden met een vergroting van de waarde van O_{90} van 50 %.
- Bij geotextielen die zijn geweven uit monofilament draden moet met een verkleining van de waarde van O_{90} rekening worden gehouden die procentueel gezien gelijk is aan de helft van de fractie van de spanning bij breuk.
- Bij bi-axiale belasting treedt alleen bij geotextiel dat is geweven uit multifilamentdraden een verandering van de waarde van O_{90} op; de O_{90} wordt groter. De procentuele verandering bedraagt $\frac{2}{3}$ van de fractie van de spanning bij breuk. Als de spanning in de gebruikstoestand 50 % van de spanning bij breuk is, is de vergroting van de waarde van O_{90} 33 %.

Voorgesteld wordt dat ook bij kleine rekken rekening wordt gehouden met dezelfde procentuele vergrotingen van de O_{90} als hierboven beschreven voor rekken boven 30% van de breukrek.

3.5 Sterkte-ontwerp

3.5.1 Algemeen

Geotextielen zijn er in uiteenlopende soorten en maten. De keuze van het type geotextiel is mede afhankelijk van de toepassing, ofwel het constructietype en de omgeving, waarbij zowel de uitvoerings- als de gebruiksfase van betekenis zijn. Het is van belang dat de grondichtheid en waterdoorlatendheid van het geotextiel gewaarborgd blijven. Dit houdt in dat het geotextiel voldoende rekbaar moet zijn om vervormingen te kunnen volgen zonder een te grote verandering van de openingsgrootte en zonder te grote beschadigingen. Is ook de wapeningsfunctie van belang, dan is het tevens nodig dat het geotextiel voldoende stijf en sterk is om ontoelaatbare vervormingen te voorkomen. Dit speelt bijvoorbeeld bij spantuin en op steilere taluds. Ook tijdens de uitvoering kunnen aanzienlijke belastingen optreden.

Geotextielen kunnen, door diverse invloeden van buitenaf, aan verandering onderhevig zijn. Het is van belang dat genoemde eigenschappen ook in de loop der tijd gewaarborgd blijven.

Meestal wordt tijdens het ontwerpproces expliciet onderscheid gemaakt tussen:

- "Survivability": kan het geotextiel de uitvoeringsfase zonder ontoelaatbare schade doorstaan? Dit wordt bepaald door:
 - het materiaal dat op het geotextiel wordt aangebracht;
 - de ondergrond;
 - de installatiemethode.
- "Durability": het (voldoende) bestand zijn van het geotextiel tegen externe invloeden gedurende gebruiksfase, zodanig dat deze zijn functies blijft vervullen. De vertaling van "Durability", duurzaamheid, kan in het Nederlands betekenen dat het lang mee gaat, of dat het met oog voor het milieu is ontworpen. Hier betekent het dus het eerste, voor het laatste wordt in het Engels het woord "Sustainability" gebruikt.

Tijdens het ontwerpproces moet dan ook rekening gehouden worden met statische en dynamische belastingen. Daarnaast moet een keuze worden gemaakt met betrekking tot:

- het materiaal;
- het type geotextiel;
- de sterkte.

Het kan zijn dat een enkel geotextiel niet aan alle eisen voldoet. In dat verband kan worden gekozen uit een samengestelde constructie waar verschillende geotextielen elk één of meer functies vervullen.

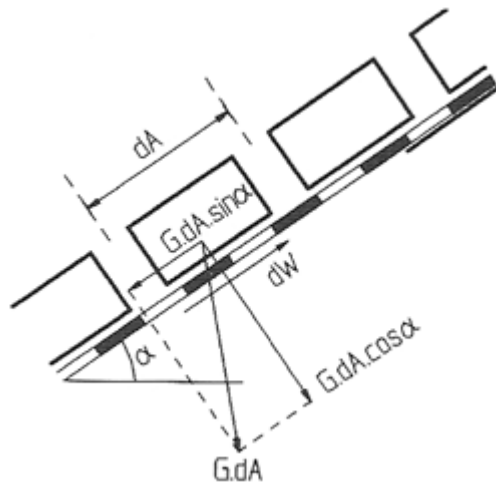
3.5.2 Taluds

Bij te steile taluds moet het geotextiel schuifkrachten overdragen van de toplaag naar de ondergrond. Hierbij kunnen twee situaties optreden: de toplaag schuift af over het geotextiel of de toplaag plus het geotextiel schuiven in hun geheel af over de ondergrond. Dit is afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt tussen toplaag en geotextiel, tussen geotextiel en ondergrond en van de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond zelf. Ook een eventuele verankering van het geotextiel is hierop van invloed. Samengevat:

1. De toplaag glijdt af over het geotextiel;
2. De toplaag en het geotextiel willen gezamenlijk afglijden:
 - 2a. Het geotextiel wordt boven vastgehouden;
 - 2b. Geotextiel en toplaag glijden gezamenlijk af.

De situatie wordt in figuur 23 geschematiseerd. Op een taludelementje dA werkt ten gevolge van het gewicht van de toplaag een kracht F_p evenwijdig aan het talud naar beneden ter grootte van $G \cdot dA \cdot \sin \alpha$.

Fig. 23
Evenwicht van een bekleding
op het talud.



De weerstand tegen afglijden wordt geleverd door de wrijvingsweerstand:

$$dW = G \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot \tan \delta \quad (3.21)$$

waarin:

δ = wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond ofwel de toplaag [°];

α = taludhelling [°];

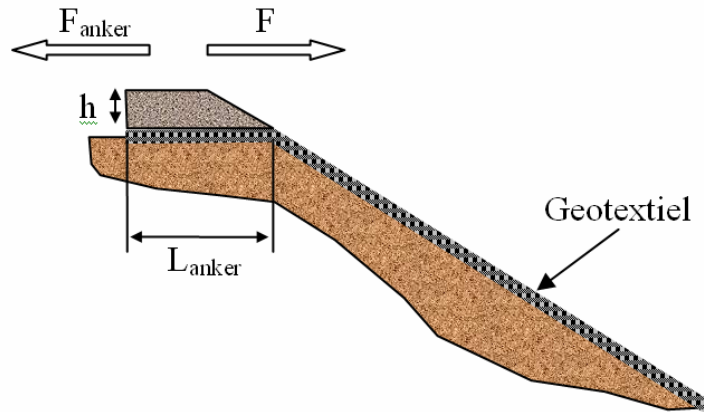
G = gewicht van de toplaag per eenheid van oppervlak [kN/m²].

De veiligheid tegen afschuiven bedraagt:

$$S.F. = \frac{\sum F_{\text{tegenwerkend}}}{\sum F_{\text{aandrijvend}}} = \frac{G \cdot dA \cdot \cos \alpha \cdot \tan \delta}{G \cdot dA \cdot \sin \alpha} = \frac{\tan \delta}{\tan \alpha} \quad (3.22)$$

Deze veiligheidsbeschouwing geldt voor een oneindig lang talud. In de praktijk zal voor een helling met beperkte lengte een hogere veiligheid aanwezig zijn als gevolg van de aanwezigheid van een passieve weerstand in de teen van het talud. Daarnaast is het geotextiel veelal verankerd in de ondergrond (zie figuur 24).

Fig. 24
Verankering geotextiel.



Indien de verankering van het geotextiel bestaat uit de wrijving tussen textiel en onderliggend materiaal, kan deze berekend worden volgens:

$$F_{\text{anker}} = (h \cdot \rho_a \cdot g \cdot L_{\text{anker}}) \cdot \tan \delta + c' \cdot L_{\text{anker}} \quad (3.23)$$

waarin:

F_{anker} = verankeringskracht [N/m^1];

h = dikte gronddekking [m];

ρ_a = dichtheid van het afdek materiaal [kg/m^3];

g = gravitatieversnelling [m/s^2];

c' = effectieve cohesie ondergrond [kPa];

L_{anker} = verankeringslengte [m].

Als verankering worden eveneens meer constructieve elementen gebruikt, bijvoorbeeld palen.

Ten aanzien van situatie 1, de toplaag glijdt af over het geotextiel, kan gesteld worden dat deze optreedt als de wrijvingscoëfficiënt $\tan(\delta)$ tussen toplaag en geotextiel geringer is dan die tussen geotextiel en ondergrond, of de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond zelf.

De maximale trekkracht F_{max} , die in het geotextiel kan optreden in de situaties 1 en 2a, bedraagt:

$$F_{\text{max}} = G \cdot L_{\text{geo}} \cdot (\sin \alpha - \tan \delta \cdot \cos \alpha) \quad (3.24)$$

waarin:

L_{geo} = lengte geotextiel langs het talud [m];

In situatie 2b, geotextiel en toplaag glijden gezamenlijk af, ondervindt het geotextiel geen schuifkracht. Het spreekt echter vanzelf dat de constructie dan is bezwaken.

In de geotechniek wordt in geval van een interactie tussen een geotextiel en klei/zand/leem, voor de hoek δ veelal de waarden uit tabel 10 aangehouden. De gevonden waarde voor δ is inclusief een veiligheidsfactor.

Tabel 10 Richtwaarden voor de wrijvingshoek tussen materiaal en grond, waarin ϕ de wrijvingshoek van de grondsoort is [53].

Ruwheid materiaal	Wrijvingshoek ϕ (°)
Ruw ($0.5 - 10 \cdot d_{50}$)	$2/3 \cdot \phi$
Halfruw ($0.1 - 0.5 \cdot d_{50}$)	$1/3 \cdot \phi$

In de literatuur worden voor de wrijvingshoek δ (zonder veiligheidsfactor) waarden gevonden tussen de 18° en 27° [59].

In het geval van een klei ondergrond zal bij het toename van het watergehalte in de klei de wrijvingshoek gereduceerd worden. Voor klei wordt daarom aanbevolen een wrijvingshoek van maximaal 18° aan te houden. Voor een talud onder water wordt veelal ook een hoek van $\delta = 18^\circ$ aangehouden [59]. Het wordt ten aanzien van zowel kansen als risico's aanbevolen te allen tijde onderzoek te doen naar de van toepassing zijnde wrijvingshoek in de geldende situatie.

Zowel tijdens het ontwerpproces, als tijdens de uitvoeringsfase, is het belangrijk om te beseffen dat door grondwaterstromingen en overdrukken de wrijvingsweerstand tussen lagen onderling kan verminderen, doordat de effectieve spanningen in de ondergrond afnemen.

Ten aanzien van waterspanningen kan onderscheid gemaakt worden tussen de volgende situaties:

- *Horizontaal aanwezige waterlijn* (boven de buitenwaterstand)
Deze waterdruk kan zich onder andere manifesteren wanneer het geotextiel ondoorlatend geworden is als gevolg van verstopping.
- *Waterdruk parallel aan talud* (boven de buitenwaterstand)
Een parallel aan het talud liggende waterdruk kan ontstaan als gevolg van een relatief ondoorlatend geworden toplaag, waarin water voor enige tijd aanwezig blijft.
- *Waterdruk als gevolg van golfbelasting*
Hiervoor wordt verwezen naar bijlage B.

3.5.3 Sterkte eis als gevolg van installatie

In veel gevallen wordt geotextiel tijdens de inbouwfase het zwaarst belast. Daarom moet de werkmethode afgestemd worden op het geotextiel, of de keuze van het geotextiel moet worden afgestemd op de werkmethode. Tijdens het ontwerp moet hiermee rekening gehouden worden. In sommige gevallen zullen de uitvoeringseisen zwaarder kunnen wegen dan de theoretische ontwerpeisen, zoals bijvoorbeeld bij de toepassing van geotextielen

afgedekt met granulair materiaal of bij het trekken van een zinkstuk vanaf de zate. In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de uitvoeringsaspecten.

3.5.4 Sterkte eis als gevolg van bestortingen

De weerstand van geotextielen tegen vallende stenen bij het bestorten van oevers en bodems heeft vaak tot gevolg dat veel zwaarder doek gekozen moet worden dan op basis van zanddichtheid en waterdoorlatendheid nodig is.

Dit wordt beïnvloed door de volgende factoren:

- Gewicht en vorm van de steen;
- De valhoogte;
- Type, materiaal en sterkte geotextiel;
- Soort, verdichtingsgraad en verzadiging van de ondergrond.

De volgende fenomenen kunnen zich voordoen [21]:

- de treksterkte van het geotextiel wordt ter plaatse van de steeninslag overschreden. Gebeurt dit door de directe werking van de steen dan wordt over inslag gesproken; er wordt gesproken over pons als de steen reeds op het doek ligt en deze door een daarop vallende steen door het doek wordt gedrukt;
- vaak is de rek belangrijker dan de sterkte;
- de treksterkte van het geotextiel tussen verschillende stenen wordt overschreden, waardoor het scheurt.

Fig. 25
Invloed van een vallende steen
op het geotextiel.



Uit praktijkproeven [21] blijkt dat een enkele vallende steen over het algemeen minder schade veroorzaakt dan een grotere hoeveelheid die in één gang wordt gestort (bulkstort). Daarnaast zullen scherpe stenen meer schade veroorzaken dan stompe of puntige stenen. De invloed van de mate van verzadiging en verdichting (bij proctordichtheden van 90, 95 en 100%) van de ondergrond hierbij is verwaarloosbaar.

De indrukking in de ondergrond speelt een grote rol. Als bijvoorbeeld een vallende steen op een geotextiel dat aan alle zijden vastgehouden wordt door naastliggende stenen een indrukking van 5 – 7,5 cm geeft bij een steen diameter van 25 cm, zal de optredende rek groter zijn dan 20%. PP weefsels zullen dan scheuren. Vliezen hebben een veel grotere breukrek en zullen in deze situatie nog niet bezweken zijn. Daarentegen is de sterkte van een vlies veelal minder dan dat van een weefsel. Soms wordt gebruik gemaakt van een composiet geotextiel, bestaande uit een constructieve laag en een tweede erop bevestigde opofferingslaag. De opofferingslaag biedt bescherming aan de constructieve laag tijdens het aanbrengen van bestortingsmateriaal. De grote rek van de opofferingslaag voor-

komt dat in deze laag scheuren ontstaan. Er moet wel op gelet worden of de combinatie van de twee nog voldoet aan de zanddichtheids- en waterdoorlatendheidseis, zo kan de grote rek leiden tot een grotere openingsgrootte.

Lawson presenteert een formule waarmee het benodigde gewicht van een geotextiel kan worden bepaald als functie van het stortmateriaal en de valhoogte [21]:

$$m_a > C_S \cdot H_{stort}^{0,5} \cdot D_{85} \quad (3.25)$$

waarin:

m_a = massa van het geotextiel per eenheid van oppervlak [kg/m^2];

H_{stort} = valhoogte van het stortmateriaal [m];

D_{85} = 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.

Uit een vergelijkende studie [21], waarbij diverse onderzoeken zijn beschouwd, blijken de verschillende onderzoeken tot vergelijkbare, maar niet dezelfde resultaten te leiden. Een en ander is vastgesteld bij de bepaling van de kritieke valhoogte (de valhoogte waarbij schade aan het geotextiel optreedt) voor de steensorteringen 10/60 kg, 30/130 kg en 60/300 kg met een geotextiel met een massa van 325 g/m^2 , alsmede voor een kritieke valhoogte voor een steensortering 30/130 kg met een geotextiel met een gewicht van 450 g/m^2 . Voor lagere gewichten van het geotextiel dan 300 g/m^2 geeft Lawson (zie formule 3.25) geringere valhoogten en voor gewichten van 600 g/m^2 juist grotere dan BAW (Bundesanstalt für Wasserbau). In dat geval is het beter de relaties van het BAW te gebruiken.

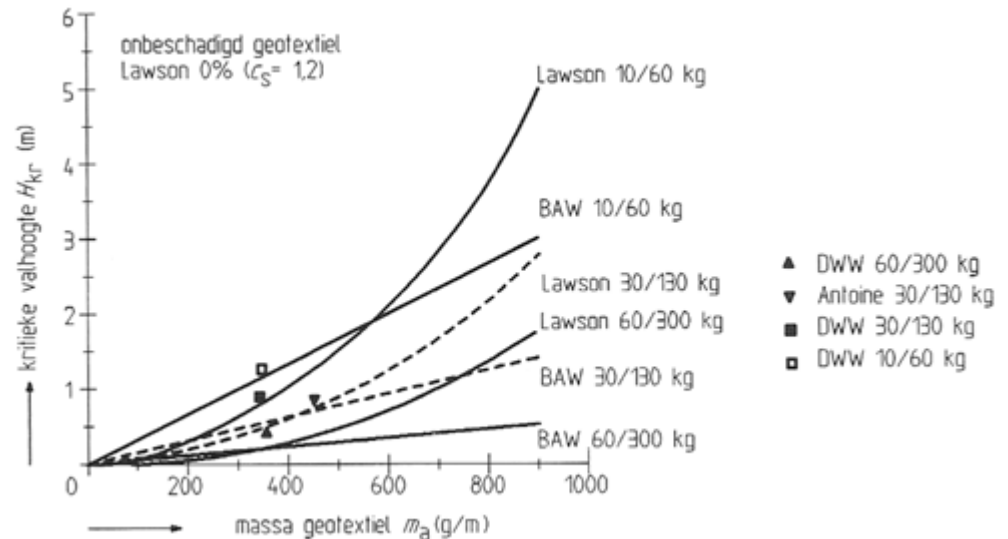
In figuur 26 zijn de twee methoden weergegeven. Bij storten onder water is de kritieke valhoogte, als gevolg van wrijvingsverliezen in het water, groter dan in lucht.

In bijlage E is een methode gegeven, waarbij de valhoogte in een droge situatie kan worden omgerekend naar een natte. In de praktijk wordt vaak het gewicht van het geotextiel per eenheid van oppervlak gebruikt als maat voor de sterkte. Meestal zijn hier op ervaring gebaseerde kentallen ontwikkeld, waarbij de uitvoeringsfase veelal bepalend is.

Bovenstaande theorieën zijn gebaseerd op een ondergrond van fijn granulair materiaal. Als sprake is van een ondergrond bestaande uit harde delen met scherpe punten dan gaan de bovenstaande theorieën niet meer op en bestaat de kans dat het geotextiel gaat scheuren als de boven liggende (granulaire) laag wordt aangebracht. Deze situatie komt vaak voor in het buitenland. Daarnaast komt een soortgelijke situatie voor als achter een golfbreker zand opgespoten moet worden. Als een geotextiel direct op de buitenste bekledingslaag van de golfbreker wordt aangebracht bestaat de kans op scheuren van het

doek. Aangeraden wordt om in deze gevallen eerst een fijnere granulaire laag aan te brengen, alvorens het geotextiel te installeren. Dit voorkomt doorpensen van het doek.

Fig. 26
Kritieke valhoogte als functie
van de massa van het
geotextiel [21].



In de laatste jaren is mede door schadegevallen meer inzicht verkregen over de schade die kan ontstaan door vallend stortsteen op het geotextiel.

Als praktische regel kan gehanteerd worden:

- Bij stortsteen 10/60 kg mag de valhoogte bij een weefselgewicht van 300 gr/m² maximaal 0,75 m zijn als het direct op het geotextiel gestort wordt en er van uitgaande dat de ondergrond goed verdicht is.
- Bij een valhoogte van 1,50m moet het weefselgewicht minstens 600 gr/m² zijn.
- Is de ondergrond samendrukbaar dan moet een tussenlaag toegepast worden. Dit is zeker het geval met een ondergrond die samendrukbaar is.
- De valhoogten onder water kunnen groter zijn. Hierbij moet wel rekening gehouden met het feit dat losse stenen langzamer vallen dan stenen die in een bulk gestort worden.
- Gebruik van composietmaterialen van vliezen en weefsels kan een oplossing bieden.

Voor oeververdedigingsconstructies worden over het algemeen geokunststoffen toegepast met een gewicht van ten minste 200 g/m², met treksterkten (in de ketting) van ten minste 15 tot 20 kN/m¹. Het heeft echter de voorkeur, zeker bij bestortingen, een gewicht van ten minste 300 g/m² te gebruiken.

In de huidige Nederlandse praktijk worden als bestortingsmateriaal geen sorteringen zwaarder dan 10/60 kg gebruikt. Vereisen de hydraulische omstandigheden een zwaardere toplaagsortering, dan wordt een tussenlaag van circa 200 kg/m² lichter materiaal aangebracht.

Op het moment van schrijven van deze publicatie is een discussie gaande om niet de massa van het geotextiel maatgevend te laten zijn.

3.5.5 Lange duur sterkte

Uit het ontwerp volgt een minimale sterkte voor het geotextiel gedurende de levensduur van de constructie. Deze lange duur sterkte F_{des} wordt berekend op basis van de korte duur sterkte, die bepaald wordt m.b.v. EN ISO 10319, “wide width tensile strength test”.

$$F_o = \frac{F_{kar}}{f_m \cdot f_k \cdot f_d \cdot f_e \cdot f_{naainaad}} \quad (3.26)$$

waarin:

- F_o = lange duur sterkte (kN/m);
- F_{char} = karakteristiek sterkte van het geotextiel (kN/m);
- f_m = reductiefactor voor extrapolatie en productie nauwkeurigheid;
- f_k = reductiefactor voor kruip;
- f_d = reductiefactor voor beschadiging tijdens inbouw;
- f_e = reductiefactor voor chemische invloeden;
- $f_{naainaad}$ = reductiefactor voor effect van naainaden;
- f_m = 1,1 – 1,5 afhankelijk van de mate van extrapolatie van de kruipmetingsresultaten. Neem 1,1 voor extrapolatie van 1 decade; neem 1,5 voor extrapolatie met 2 decades;
- f_k = 1,5 – 4,0 kruip reductiefactor afhankelijk van het polymeer. Neem PET multifilament = 1,5; PET = 2,0; PP = 3,0 – 4,0);
- f_d = 1,1 – 1,6 afhankelijk van de mechanische beschadiging tijdens het aanbrengen van de laag granulair materiaal op het geotextiel. Neem 1,1 voor zand; 1,3 voor grind; 1,4 – 1,6 voor stenen;
- f_e = 1,0 – 1,2 alleen bij $Ph > 12$ en $Ph < 4$ moet met een reductiefactor van 1,2 gerekend worden;
- $f_{naainaad}$ = 1,4 – 3,3 afhankelijk van het type naainaad.

3.6 Andere ontwerpaspecten

3.6.1 Zinkstukken

Bij zinkstukken die op de zate worden samengesteld, ontstaat een significante belasting tijdens het trekken van het stuk van de wal. Over het algemeen worden, voor zinkstukken en te bestorten geotextielen, weefsels gebruikt van polypropreen met een gewicht van ten minste 325 g/m².

3.6.2 Oeverbeschermingen

Bij het gebruik van geotextielen achter verticale oeververdedigingen zijn de volgende ervaringen bekend met betrekking tot de vereiste massa van geotextielen:

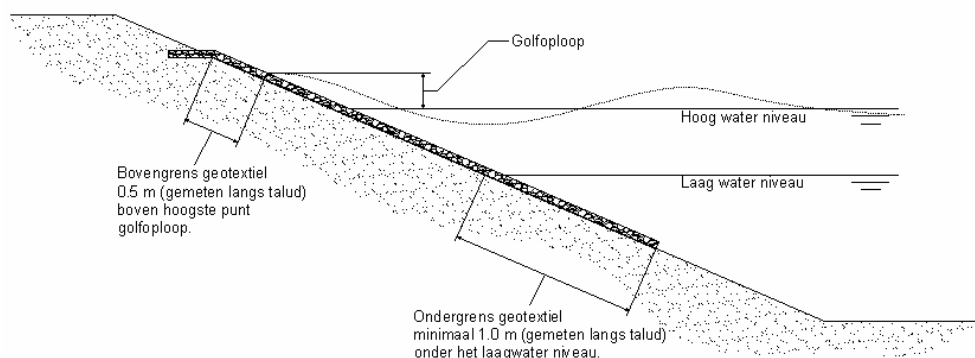
- Bij beschoeiingen of spantuinen: 300 - 330 g/m²;
- Als afdichting van naden van beschoeiingen: 135 - 190 g/m².

3.6.3 Lengte waarover geotextiel (kraagstuk) wordt toegepast op een talud

Ten aanzien van de bepaling van de locatie waarover een geotextiel moet worden aangebracht (zie figuur 27), zijn de volgende parameters van belang.

1. Hoogwater niveau
2. Laagwater niveau
3. Bovengrens textiel
4. Ondergrens textiel

Fig. 27
Bepaling van de positie van
het geotextiel.



Ad 1 Hoog water niveau

- Geen getijden: normaal hoog water niveau.
- Geen getijden, toch grote fluctuatie waterniveau: niveau behorend bij een bepaalde overschrijdingskans.
- Getijden: GHWS: gemiddeld hoogwaterspringtij.

Ad 2 Laag water niveau

- Geen getijden: normaal laag water niveau.
- Getijden: GLWS: gemiddeld laagwaterspring.

Ad 3 Bovengrens textiel

De bovengrens wordt vastgelegd door 0.50 m gemeten langs het talud, boven het hoog water niveau waarbij de golfploop is toegevoegd. Voor bepaling van de golfploop wordt verwezen naar [54].

Ad 4 Ondergrens textiel

- Indien het totale talud is blootgesteld aan schuifkrachten (bijvoorbeeld door stroming): gehele talud / bodem beschermen.
- Bij windgolven: 1.5 tot 2.0-H_s verticaal gemeten onder laagwater niveau met een minimum van 1.0 m gemeten langs het talud.

Bij een taludverdediging is ook van belang dat het gewicht van de toplaag voldoende is, zodat de blokken niet bewegen en dat het talud ook bij golfaanval stabiel is. Hiervoor wordt verwezen naar [55].

3.6.4 Duurzaamheid

De levensduur van een geotextiel is afhankelijk van het basispolymeer en de erin gemengde toeslagstoffen. Veel geotextielen voor gebruik in de waterbouw zijn gemaakt van polypropreen (PP). Aan PP zijn anti-oxidanten en UV stabilisatoren toegevoegd. De UV bestendigheid is van belang tijdens de uitvoering als het geotextiel nog niet afgedekt is. Meestal wordt Carbon Black als UV stabilisator gebruikt, dit is de reden dat veel geotextielen zwart zijn. Verder moeten anti-oxidanten aan het polymeer worden toegevoegd. Deze zorgen er voor dat het tijdstip waarop oxidatie van het polymeer kan beginnen wordt uitgesteld. Als oxidatie optreedt, zal het polymeer snel bros worden en de sterkte afnemen. Vermeden moet worden, door de juiste keuze van anti-oxidanten en de hoeveelheid ervan, dat oxidatie tijdens de levensduur kan optreden.

Om de kwaliteit van het geotextiel te borgen kan voor grote werken een uitgebreide type-goedkeuringstest worden uitgevoerd. In speciale laboratoria kan met behulp van oventesten, oxidatie-inductietijdtesten en andere chemische analysemethoden een afschatting gemaakt worden van de levensduur van het geteste geotextiel. De resultaten zijn afhankelijk van de hoeveelheid en het type anti-oxidant. Uitspraken kunnen worden gedaan over de te verwachten levensduur tot meer dan 100 jaar.

Gedurende de productie van het geotextiel wordt de hoeveelheid toegevoegde additieven streng gecontroleerd (productie controle). Eventueel kunnen na de levering door middel van een Oxydation Induction Test (OIT) controles uitgevoerd worden (de resultaten worden dan vergeleken met de OIT waarden tijdens de goedkeuringsproef). Op deze manier kan de levensduur van het geotextiel betrouwbaar vastgesteld en gecontroleerd worden.

Bij kleinere werken is het uitvoeren van uitgebreide goedkeuringstesten relatief kostbaar. In dat geval zal afgegaan moeten worden op informatie van de leverancier. Als de levensduur van het materiaal kritisch is voor de veiligheid van de constructie, moet men deskundig advies vragen bij de beoordeling van de door de leverancier afgegeven informatie.

In geval van polyester is naast UV resistentie en de invloed van eventuele schadelijke chemicaliën de levensduur ook afhankelijk van hydrolyse.

UV resistentie wordt bereikt door stabilisatoren aan het polymeer toe te voegen. Deze zorgen voor een minimale resistentie.

Hydrolyse van PET houdt in dat de polymeerketens breken onder invloed van een chemische reactie van het polymeer met water. Vochtige omstandigheden zijn dus noodzakelijk voor deze reactie. Het proces verloopt zeer traag bij normale temperaturen. Bij temperaturen $< 15^{\circ}\text{C}$ zal geen sterktevermindering optreden gedurende een levensduur van 100 jaar. Bij hogere temperaturen gaat het proces sneller. Ook de pH graad (zuurgraad) van de omgeving speelt een rol. Bij een $\text{pH} > 12$, ontstaat een situatie dat sterktevermindering tot 50% kan optreden tijdens de levensduur van 100 jaar. Een niveau van $\text{pH} > 12$ komt nooit voor in grond, alleen gedurende de eerste dag van de verharding van beton zou zo een hoge waarde kunnen optreden.

Hydrolyse als gevolg van basische omstandigheden is dus verwaarloosbaar.

De duurzaamheidsaspecten van polyester zijn dus minder kritisch dan bij PP en PE en vereisen dan ook een minder stringente kwaliteitscontrole..

In het kader van de CE markering en de declaratie van de eigenschappen, moet door de leverancier aangegeven worden hoe lang het materiaal tijdens de installatie onafgedekt mag liggen. Dit geldt zowel voor PP als voor PET geotextielen.

3.7 Applicatienormen

Voor verschillende toepassingen zijn NEN-EN-normen beschikbaar. In deze normen wordt aangegeven welke eigenschappen van het product van belang zijn en gespecificeerd moeten worden voor de specifieke toepassing. Een voorbeeld is de NEN-EN 13362:2005 “Afdichtingen van geokunststof – Vereiste eigenschappen voor gebruik in de bouw van kanalen”

Een overzicht van de verschillende applicatienormen, met betrekking tot geotextiel, wordt gegeven in tabel 15, in hoofdstuk 5.

3.8 Structuurmatten als erosiebescherming

3.8.1 Inleiding

Zoals reeds aangegeven moet een talud beschermd worden tegen erosie. Zowel boven als onder de waterlijn (zie figuur 28) zal de erosie plaatsvinden doordat de korrels aan de oppervlakte van het talud meegevoerd worden door het langstromende water. Het talud kan permanent boven water liggen: droog talud. Hier wordt de erosie veroorzaakt door regenval. Diepe erosiegeulen kunnen ontstaan. Bijna altijd is de eerste beschermingsstap tegen erosie boven de waterlijn het aanbrengen van een grasmatt. Deze grasmatt of vegetatiematt heeft een bepaalde weerstand tegen het langstromende water en door de dichte wortelstructuur van de vegetatie wordt erosie op korrelniveau tegengegaan. Traditioneel worden grasmatten voor dit doel op taluds van kaden, binnentaluds van dijken of andere taluds toegepast. Daarnaast kan een structuurmatt ook enige bescherming leveren tegen beschadiging van het talud door dieren.

*Fig. 28
Erosie van droge hellingen
en op het waterniveau.*



Als de grasmatt volgroeid is vormt het een goede bescherming tegen erosie door regenval of door overslaand water. In zeer droge gebieden kan geen grasmatt worden gebruikt.

Om de grasmatt te versterken en om erosie tegen te gaan in de periode dat de grasmatt / vegetatie nog niet goed ontwikkeld is of later verzwakt is, worden structuurmatten gebruikt als een kunstmatig wortelgestel.

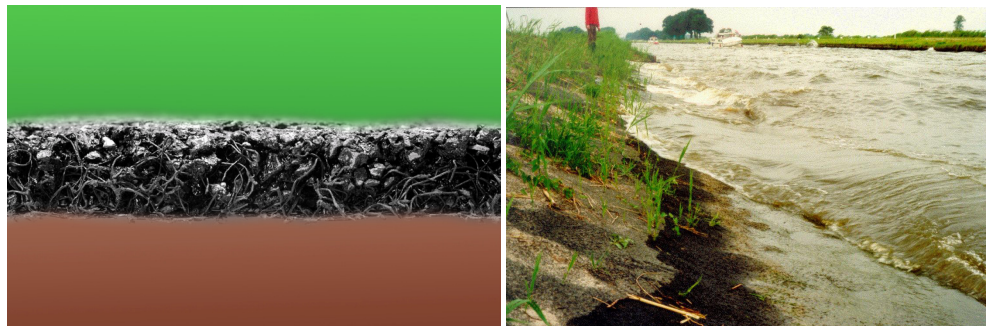
Het talud kan ook soms of gedeeltelijk onder water liggen: nat talud. In licht aangevallen taluds onder water, zoals sloten, singels en vaarten met beperkte golfslag worden structuurmatten gevuld met split toegepast. Het split zorgt voor het gewicht van de bekleding, terwijl de vegetatie gemakkelijk door deze laag kan groeien om vervolgens met de wortels de mat aan de ondergrond te verankeren. Zo wordt een oever gevormd met natuurlijke vegetatie, terwijl de sterkte door de doorgroeide mat wordt geleverd. Als de vegetatie zich voldoende kan ontwikkelen kan een onge vulde mat, die goed aan de ondergrond gepind is, worden toegepast. In geval van belasting met een splitlaag wordt tegenwoordig meestal een prefab met split gevulde mat gebruikt. De al dan niet met split gevulde matten moeten goed verankerd worden aan de ondergrond om klappen te vermijden.

*Fig. 29
Strukturmat en vulling met
split op een oever.*



Als de oever permanent onder water ligt zal de vegetatie zich niet kunnen ontwikkelen. In het overgangsgebied met wisselend boven en onderwater kan zich een natuurvriendelijke oever ontwikkelen, met vegetatie en versterking door de strukturmat.

*Fig. 30
Prefab gevulde strukturmat,
doorgroeide oeverconstructie
met prefab gevulde
strukturmat.*



Er is al meer dan 30 jaar ervaring in Nederland met structuurmatten (Enkamat®). In 1996 is in samenwerking met de DWW van Rijkswaterstaat een onderzoek gedaan naar de situatie van de matten in 27 projecten die in de 15 jaar ervoor uitgevoerd waren. De conclusie was dat in alle gevallen de structuurmatten in goede staat waren en dat zich er goede vegetatie ontwikkeld had.

Veel praktijkproeven [41] zijn uitgevoerd om na te gaan wat de grenswaarden voor de kritische stroomsnelheid zijn voor verschillende grondsoorten. Dit is zowel voor droge als voor natte toepassingen gedaan. Hierop zijn ontwerpgrafieken gebaseerd. Ook is een classificatie methode ontwikkeld voor ontwerp van droge taluds.

Het ontwerp van erosie-beschermingsmatten bestaat uit de volgende drie stappen:

1. Bepaal de noodzaak van bescherming tegen erosie;
2. Ga na of de toplaag erosiegevoelig is;
3. Bepaal met behulp van de ontwerpgrafieken het type erosie-beschermingsmat afhankelijk van de mate van ontwikkeling van de vegetatie, de stroomsnelheid van het langsstromende water en de tijdsduur van de belasting.

In geval van een talud permanent boven de waterlijn wordt het ontwerp bepaald door de intensiteit van de regen en de daarmee afstromende hoeveelheid water. Ook is het afhankelijk van de mate van ontwikkeling van de gras- of vegetatiemat en de tijdsduur van de belasting.

3.8.2 Structuurmat ontwerp voor een natte toepassing

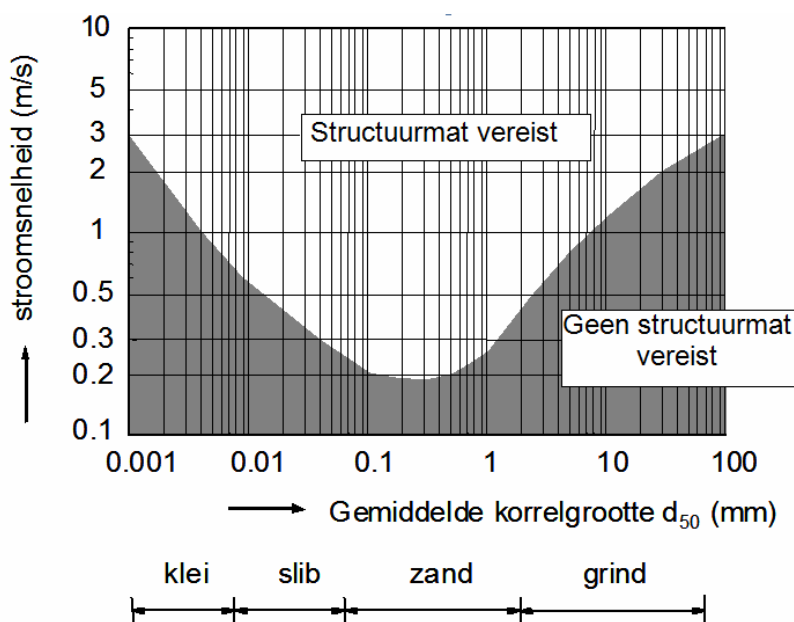
De volgende drie stappen moeten doorlopen worden voor het ontwerpen van een structuurmat die onder de waterlijn wordt aangebracht:

1. Bepaling erosiegevoeligheid van de grond aan de oppervlakte van het talud;
2. Bepaling hoog- en laag waterniveau;
3. Bepaling type structuurmat.

Ad 1 Bepaling erosiegevoeligheid van de grond aan de oppervlakte van het talud

De erosiegevoeligheid van de grond aan de oppervlakte van het talud wordt bepaald met behulp van figuur 31.

Fig. 31
Erosiebestendigheidscriteria
voor een talud afhankelijk
van de grondsoort [41]



Ad 2 Bepaling hoog- en laag waterniveau

Als hoog water niveau wordt gekozen:

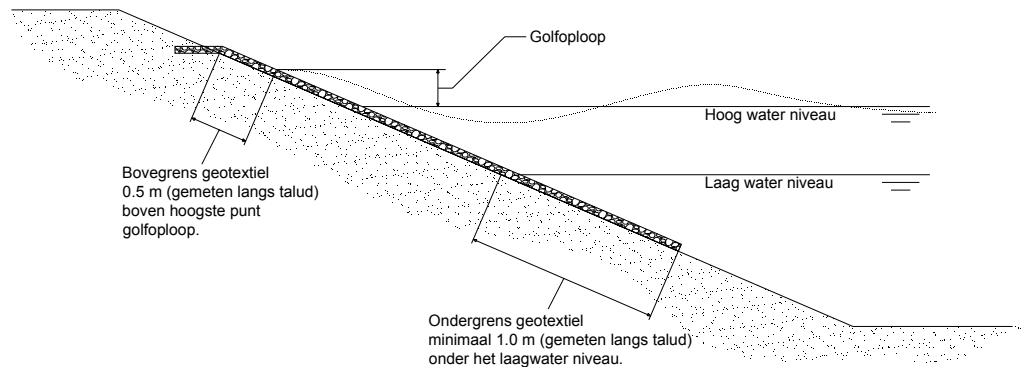
- Bij licht variërende waterspiegels (geen getijde invloeden), het normale hoog water niveau;
- Bij sterk variërende waterspiegels het niveau dat maximaal 3 keer per jaar wordt overschreden;
- In getijdegebieden het gemiddelde hoogwaterniveau bij springvloed.

Het laagwater niveau is gedefinieerd als:

- Bij variërende waterniveaus (geen getijdegebied) het normale laagwaterniveau;
- In getijde gebieden het gemiddeld laag water bij springvloed.

De mat wordt verankerd op een niveau dat minimaal 0,5 m, gemeten langs het talud, ligt boven het hoogwater niveau plus de golfloop (zie figuur 32).

Fig. 32
Lengte van de bescherming
op het talud.



Structuurmatten kunnen toegepast worden als de maximaal optredende golfhoogte niet groter wordt dan 0.5 m.

Ten gevolge van de ruwheid van een bekleding op het talud en het eventueel aanwezig zijn van een berm op stilwaterniveau zal de golfloop reduceren. Ook indien de invallende golven een hoek maken met de waterkering zal de golfloop kleiner zijn. Hiertoe worden reductieparameters gebruikt. Voor het gebruik van de reductieparameters wordt verder verwezen naar [56].

De mat moet minimaal tot 1m (gemeten langs het talud) onder het laagste waterniveau aangebracht worden, of tot een niveau $1,5 - 2H_s$, verticaal gemeten onder het laagste waterniveau. Daarnaast kan het noodzakelijk zijn om het gehele talud te bekleden als de stroomsnelheden maatgevend zijn. Bijvoorbeeld bij schroefstraalbelastingen. De lengte van de structuurmat kan berekend worden met onderstaande formule.

$$L_{mat} = 0,20 + 0,50 + (R + (HW - LW)) \cdot \sin \beta + 1,00 \quad (3.27)$$

waarin:

L_{mat} = Lengte structuurmat [m];

R = Golfloop [m];

HW = Niveau hoogwater [m];

LW = Niveau laagwater [m];

β = Taludhelling [°].

Ad 3 Bepaling type structuurmat

Twee belastingsgevallen dienen te worden geanalyseerd:

- het water stroomt langs de mat en de vegetatie is nog niet ontwikkeld;
- het water stroomt langs de mat en de vegetatie is volledig ontwikkeld.

In beide gevallen is het noodzakelijk vast te stellen wat de snelheid van het langsstromende water is, gekoppeld aan de tijd waarin deze snelheid zich voordoet. Verschillende combinaties kunnen bekeken worden, bijvoorbeeld een korte duur en een hoge snelheid, langere duur en lagere snelheid.

Voor beide belastingsgevallen zijn er ontwerpgrafieken (zie figuur 33 en figuur 34), waarmee afhankelijk van de stroomsnelheid en de stromingsduur het type structuurmat en de minimale dikte van de mat bepaald kunnen worden.

Fig. 33
Indicatieve ontwerpgrafiek voor
de situatie zonder vegetatie.

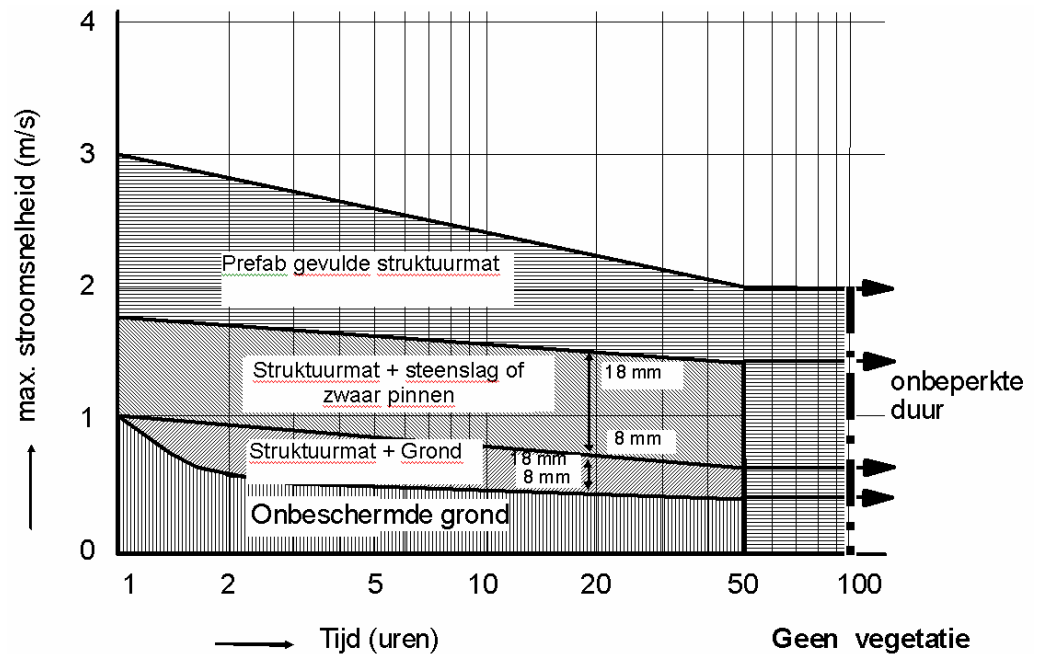
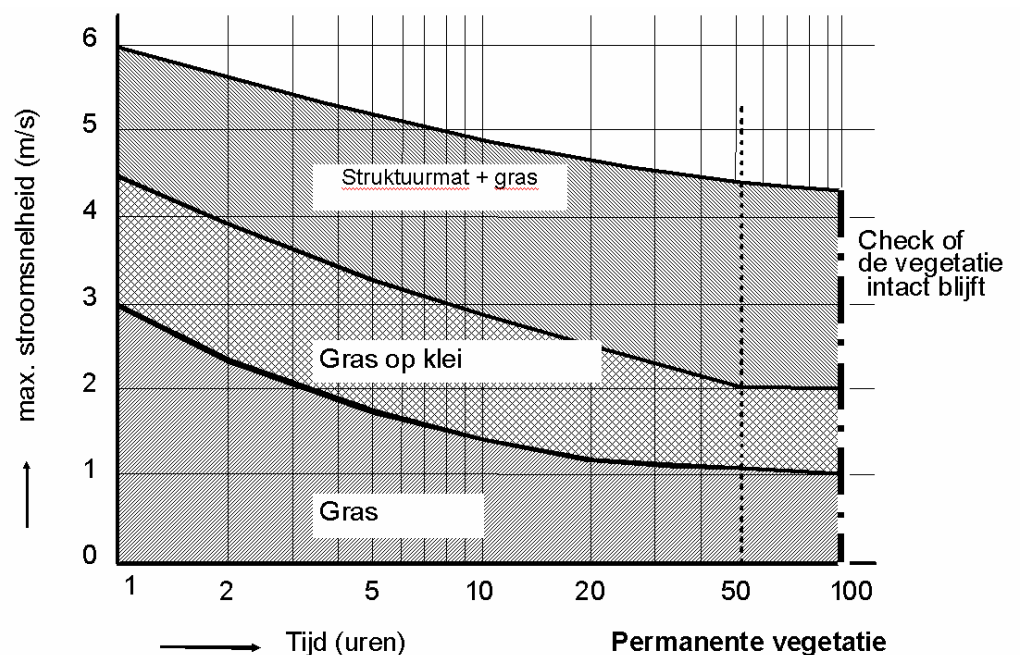


Fig. 34
Indicatieve ontwerpgrafiek voor
de situatie met volgroeide
vegetatie.



Uit deze grafieken blijkt dat als de vegetatie volgroeid is, de ontwerpsnelheid van het langsstromende water en de duur ervan veel groter is dan in de niet-begroeide situatie.

Als een deel van de mat permanent onder water ligt en dus de begroeiing niet plaats kan vinden, moet een prefab gevulde structuurmat worden toegepast. Als de hoogwatergolf langer dan 50 uur duurt, moet nagegaan worden of de gekozen vegetatie dit zal overleven. Bij twijfel moet overgegaan worden naar de ontwerpgrafiek niet begroeid (figuur 33).

Er zijn enkele soorten structuurmatten verkrijgbaar. Het is belangrijk dat de keuze van de mat gebaseerd wordt op de ontwerpwaarden, zoals aangegeven in de ontwerpgrafieken, die behoren bij de gekozen mat. Deze ontwerpgrafieken moeten gebaseerd zijn op lange duur performance testen. De waarden moeten getoetst worden aan de ontwerpisen.

3.8.3 Structuurmat ontwerp voor taluds boven de stilwaterlijn

Op taluds boven de stilwaterlijn wordt de erosie van het talud veroorzaakt door opspattend en langsstromend water als gevolg van regen. Voor het ontwerp moeten onderstaande stappen doorlopen worden.

1. Bepaling erosiebestendigheid grond van het talud.
2. Bepaling hellingsfactor
3. Bepaling vegetatiefactor
4. Bepaling type structuurmat

Ad 1 Bepaling erosiebestendigheid grond van het talud

De erosiegevoeligheid van de grond van het talud kan bepaald worden met behulp van tabel 11.

Tabel 11 Noodzaak erosiebescherming in onbegroeide situatie.

Maximale regen intensiteit (mm/uur)	Grondsoort					
	klei	zandige klei	kleiig zand	zand	steenslag	stenen
<30	+	+	-	-	+	+
30 - 60	+	-	-	-	+	+
> 60	-	-	-	-	-	+

(-) erosie bescherming is noodzakelijk

(+) het talud is ook zonder erosiebescherming stabiel

Ad 2 Bepaling hellingsfactor

Om de effecten van de steilheid van de taludhelling te verdisconteren in het ontwerp wordt een hellingsfactor bepaald met behulp van tabel 12.

Tabel 12 Hellingsfactor.

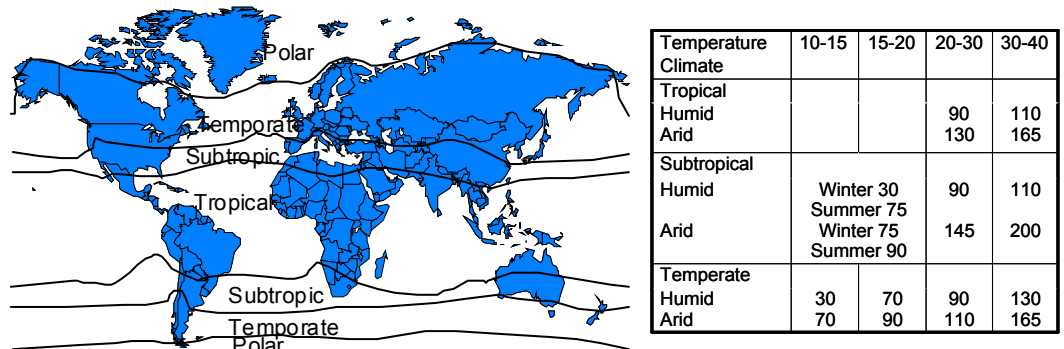
Taludhelling	Hellingsfactor	Taludhelling	Hellingsfactor
$\leq 1 : 3$	1	$1 : 1,5$	4
$1 : 2,5$	2	$1 : 1$	5
$1 : 2$	3	$\geq 1 : 1$	Controleer laboratorium testen

Ad 3 Bepaling vegetatiefactor

De ontkieming van zaden en de ontwikkeling van selectief gekozen vegetatie is afhankelijk van temperatuur en vochtigheid. Dit betekent dat het proces afhankelijk is van de tijd van het jaar (groeiseizoen) en van de locatie.

De tabel in figuur 35 geeft een overzicht van de benodigde hoeveelheid regen per maand die nodig is voor een snelle ontkieming en ontwikkeling van vegetatie.

Fig. 35
Benodigde hoeveelheid regen/
maand om een goede
vegetatie te kunnen
ontwikkelen, afhankelijk van
het klimaat.



De verwachte gemiddelde regenval in de eerste maanden na het aanbrengen of zaaien van de vegetatie, wordt vergeleken met de benodigde hoeveelheid die voor een goede ontwikkeling nodig is (aangegeven in de tabel van figuur 35). Aan de hand hiervan wordt een vegetatiefactor bepaald. Als de regenval groter is dan de benodigde wordt de vegetatiefactor op 2 gesteld, als er niet genoeg regenval is wordt de vegetatie factor op 3 gesteld.

Ad 4 Bepaling type structuurmat

Het type structuurmat wordt bepaald met behulp van een protectiefactor. Dit is een getal dat gevormd wordt door de waarde van de hellingsfactor en de vegetatiefactor bij elkaar op te tellen. Dit resulteert in de volgende twee mogelijkheden:

- Als de protectiefactor ≤ 5 is kan een open structuurmat met een dikte van 9 mm gekozen worden;
- Als de protectie factor > 5 is, is een minimale dikte van 18 mm vereist.

Deze berekeningsmethode is gebaseerd op onderzoek dat uitgevoerd is door Morgan [57]. In een aantal testsecties werd op een ondergrond van zandige klei (66,1% zand, 24,2% silt en 9,7% klei, geclassificeerd volgens het ASDA systeem als sandy loam en zeer erosiegevoelig) verschillende typen structuurmatten geïnstalleerd. De matten waren gevuld met identieke grond. De lengte van de helling was 1,9 m en er is met verschillende taludhellingen getest. Een regentest regiem werd toegepast, bestaande uit: 1 uur 35 mm/uur, 2 uur rust, gevolgd door opnieuw 1 uur regenval van 35 mm/uur. Hierna kon de helling gedurende 48 uur drogen, waarna opnieuw de regencyclus werd uitgevoerd. In het totaal werd 4 keer berekend. Deze regenbelasting heeft een kans van voorkomen van 1/100 jaar en een energie van 494 J/m². Dit komt overeen met de helft van de jaarlijkse energie aan eroderende regenval. Het uitgespoelde sediment werd opgevangen en gemeten. Een niet beschermde controle-sectie werd ook gemeten. Bij de met structuurmatten afgedekte stukken nam het verlies aan sediment af in de tijd, bij de controle sectie werd de hoeveel-

heid uitgespoeld sediment steeds groter. Als structuurmatten gebruikt worden is de optredende erosie 20% of minder dan in de situatie zonder structuurmatten.

3.9 Overige ontwerpaspecten

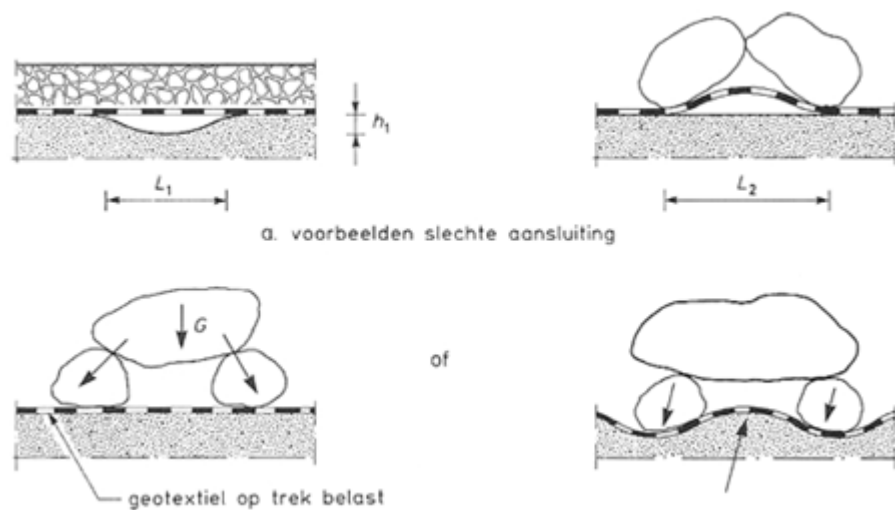
3.9.1 Algemeen

In voorgaande paragrafen is voornamelijk gekeken naar het geotextiel in een bepaalde dwarsdoorsnede van de constructie. Bij een goed ontwerp wordt ook een aantal overige ontwerpaspecten beschouwd. Hierbij spelen de aansluiting van het geotextiel op de ondergrond en de begrenzingen, ofwel overgangen een rol. Het belang hiervan wordt wel aangetoond doordat in de praktijk is gebleken dat het ontwerp over het algemeen niet op de bepaling van het juiste geotextiel faalt, maar juist op deze aspecten. Ook de begroeiingsmogelijkheden en het milieu-aspect moeten aan de orde komen.

3.9.2 Aansluiten op de ondergrond

Het is van groot belang dat het geotextiel goed aansluit op de ondergrond. Is dit niet het geval, dan kunnen extra belastingen op het geotextiel of de ondergrond optreden die tot bezwijken kunnen leiden. In figuur 36 wordt hiervan een aantal voorbeelden gegeven.

Fig. 36
Aansluiting ondergrond
geotextiel-stenen [4].



Ook kunnen er, bij een slechte aansluiting op de ondergrond, kanaaltjes en kuilen onder het geotextiel ontstaan die vormverlies en mogelijk instabiliteit of bezwijken tot gevolg hebben. Ook kan het geotextiel gaan klapperen onder turbulente stroming, waardoor extra materiaaltransport door het geotextiel heen kan optreden.

Een slechte aansluiting is over het algemeen het gevolg van een onregelmatige ondergrond of een te grove steen. Als criterium kan voornamelijk worden aangehouden [4]:

$$h_1 < (0,1 \text{ tot } 0,2) \cdot L_1 \text{ en } L_2 < 0,03 \text{ m} \quad (3.28)$$

waarin:

h_1 = de hoogte van de onvlakheid van de ondergrond [m];

L_1 = de lengte van de onvlakheid van de ondergrond [m];

L_2 = de lengte van de onvlakheid van een geotextiel [m].

3.9.3 Overgangen

Een zeer gevoelige plek in een waterbouwkundige constructie is de overgang. Het is belangrijk dat een overgang grond dicht is en blijft en dat deze geen extra belastingen op de constructie veroorzaakt, bijvoorbeeld doordat deze een discontinuïteit in de afstroming van water vormt. In [22] wordt een uitvoerig overzicht gegeven van diverse overgangen in dijkbekledingen.

Bij geotextielen kunnen de volgende overgangen worden onderscheiden:

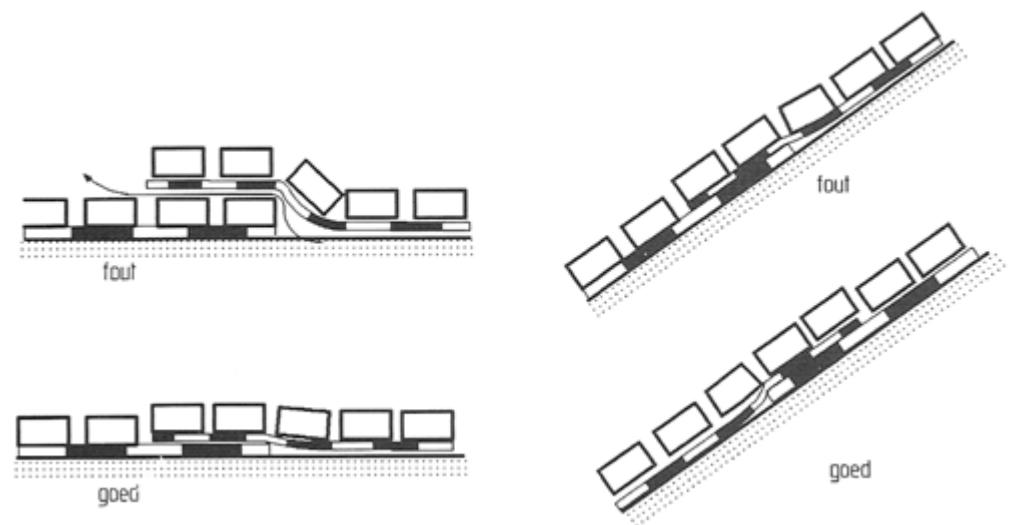
- overlappen;
- aansluitingen op andere bekledingsmaterialen;
- aansluitingen op constructies;
- teenconstructies.

3.9.4 Overlappen

Om een goede overgang van het ene geotextiel op het andere te krijgen, wordt vaak een overlap toegepast. Hoewel dit niet altijd valt te vermijden, heeft het de voorkeur de overlap niet op dezelfde locatie te leggen als de overgang in de toplaag. Bij voorkeur moet de overgang in het geotextiel in een richting loodrecht op de kruinlijn van een dijkta-lud of, bij bodembeschermingen, evenwijdig aan de stroming worden gelegd. Is een overlap loodrecht op de stroomrichting noodzakelijk, dan moet bij een taludbekleding het lager op het talud liggende geotextiel over het hoger op het talud liggende geotextiel worden geplaatst of, bij bodembeschermingen, het bovenstroomse over het benedenstroomse (zie figuur 37). Vanwege de uitvoeringsaspecten wordt ook wel de omgekeerde vorm gekozen. Zie paragraaf 5.4.1 voor de beweegredenen.

Fig. 37

Voorbeelden van overlappen.



De grootte van de overlap is boven water minimaal 0,3 m en onder water minimaal 0,5 m. Een overlap houdt in dat er verschillende lagen over elkaar worden geplaatst en dat dus de karakteristieke filtereigenschappen worden aangetast. Hiervoor wordt verwezen naar 3.4.

Verbindingen die op trek worden belast, bijvoorbeeld bij zinkstukken of als de wapeningsfunctie een rol speelt, moeten worden vermeden. Is dit niet te voorkomen, dan kunnen bij weefsels naaiverbindingen worden toegepast. Bij voorkeur moeten deze naden niet loodrecht op de naad worden belast.

Stuiknaden kunnen op het werk worden gemaakt met eenvoudige naaimachines. De sterkere overlappnaden moeten in de fabriek worden gemaakt, aangezien hiervoor speciale naaimachines nodig zijn [6]. In tabel 4 zijn de eigenschappen van diverse typen naden vermeld (tabel in hoofdstuk 2).

3.9.5 Aansluitingen op andere bekledingsmaterialen

Bij aansluitingen op andere bekledingsmaterialen of filters kunnen in principe dezelfde uitgangspunten worden gehanteerd als bij overlappen. Het heeft steeds de voorkeur om de filterconstructie iets door te zetten onder het andere bekledingsmateriaal.

Een speciale vorm van een dergelijke overgang is de bovenbegrenzing, bijvoorbeeld van een blokkenmat. Hier wordt het geotextiel vaak als bescherming tegen afschuiven vastgelegd, door middel van ingraven of verankeren. In figuur 38 zijn enige voorbeelden van dergelijke overgangen opgenomen.

3.9.6 Aansluitingen op constructies

Bij aansluitingen op constructies, zoals kunstwerken, vreemde objecten, enzovoorts, is over het algemeen een open naad niet te voorkomen, aangezien het doorzetten van het filter hier niet mogelijk is. Om een blijvende dichte aansluiting te verkrijgen, wordt daarom aanbevolen ter plaatse van de aansluiting naast het geotextiel andere materialen, zoals gietasfalt, een folie of een grindkoffer, toe te passen (zie figuur 39).

Fig. 38
Overgangsconstructies.

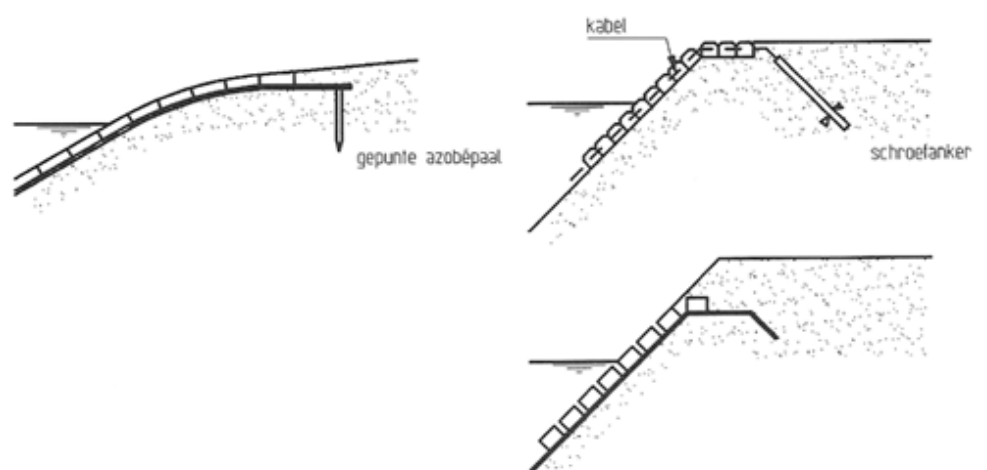
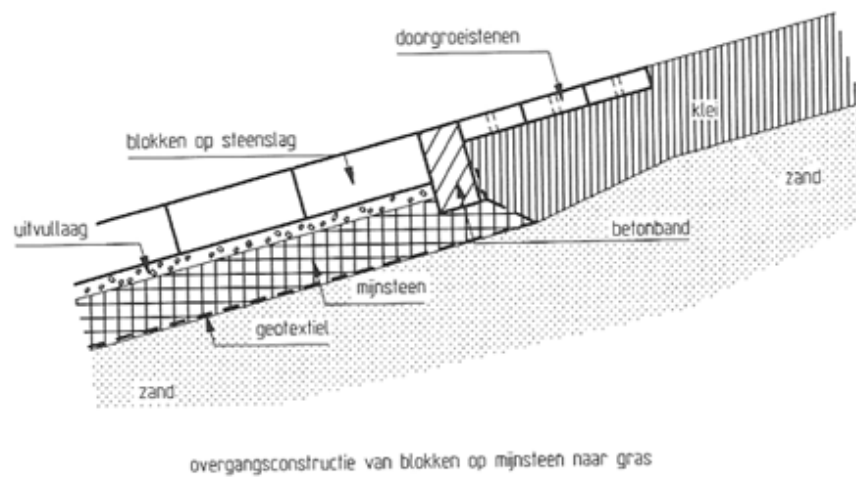
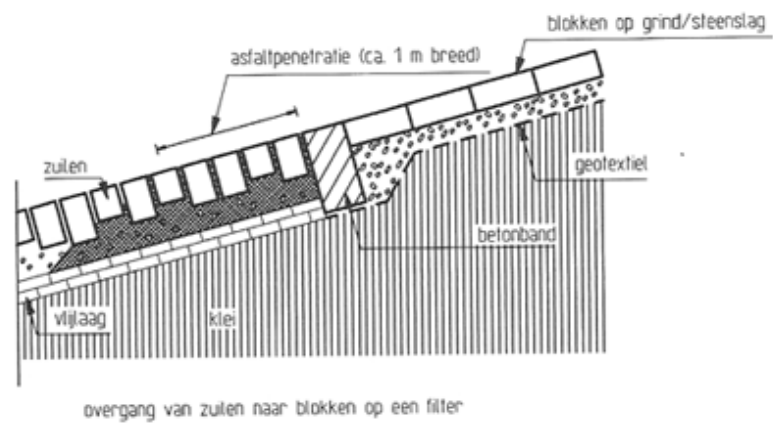
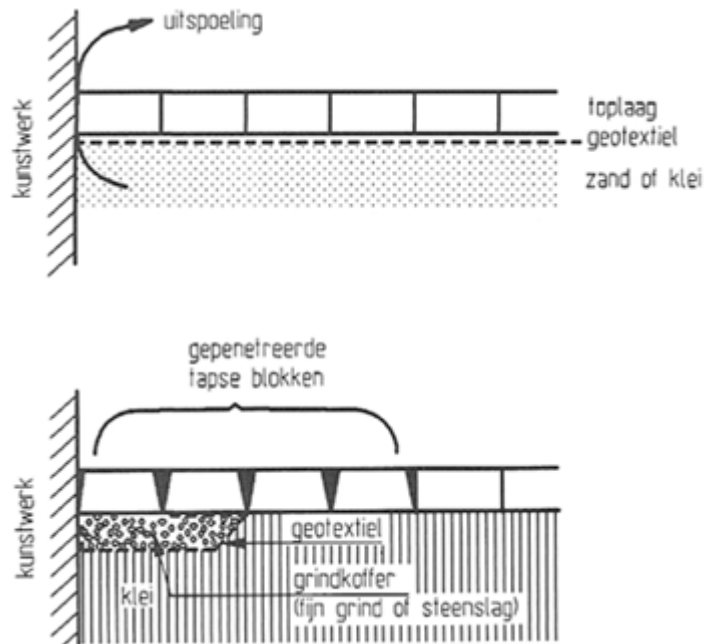


Fig. 39
Aansluitingen.



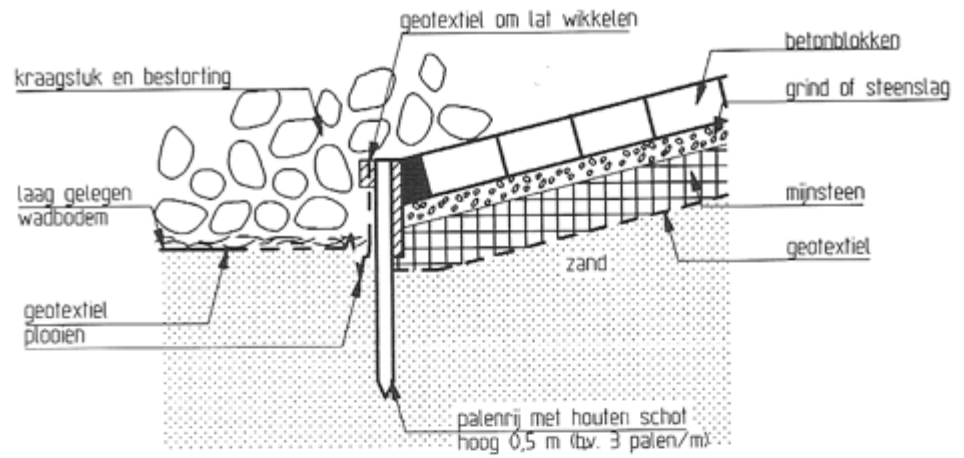
3.9.7 Teenconstructies

Een speciale vorm van overgangen die de nodige aandacht vereist, is de teenconstructie. Niet alleen is deze constructie vaak gelegen in een sterk aangevallen zone van de waterkering, ook is het door de veelvuldige aanwezigheid van verticale elementen, zoals schotten, palenrijen en damwandjes, vaak lastig een filter onder de constructie door te zetten, waardoor verticale naden kunnen ontstaan.

Grote zorg moet worden besteed aan een goede aansluiting van het geotextiel tegen de verticale elementen in de teen. Zonodig kan het om een lat of gording worden gewikkeld, die vervolgens tegen het verticale deel wordt bevestigd. Er moet dan op worden gelet dat, door middel van het aanbrengen van plooien, het geotextiel ruimte krijgt om te bewegen.

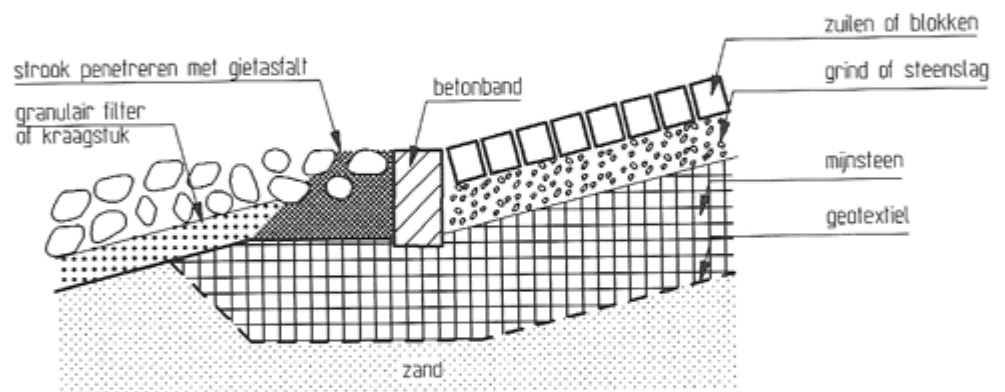
Wanneer een goede aansluiting met het teenschot op deze wijze moeilijk te realiseren is, zoals bij toepassing van perkoenpalen of bij een erg grote belasting, verdient het aanbeveling het geotextiel te combineren met andere materialen, zoals een granulaire laag, gietasfalt, zandasfalt of klei. In figuur 40 worden enkele voorbeelden van teenconstructies gegeven.

Fig. 40
Teenconstructies.

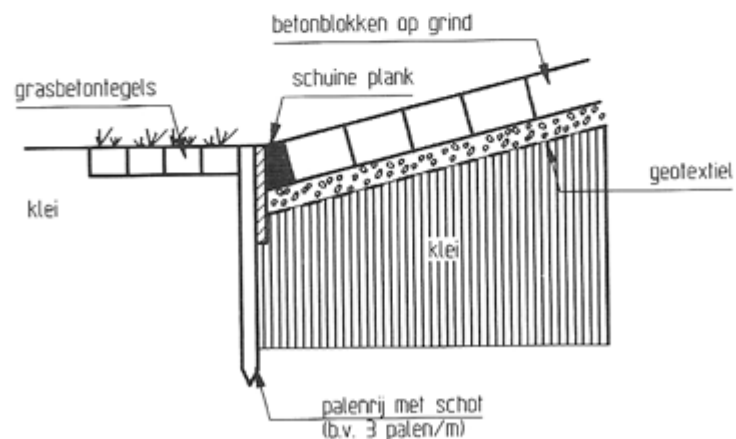


nb.i.p.v. palen met schot, kan ook een
damwand worden toegepast

voorbeelden van teenconstructies in de tijzone



alternatieve teenconstructie op steunberm



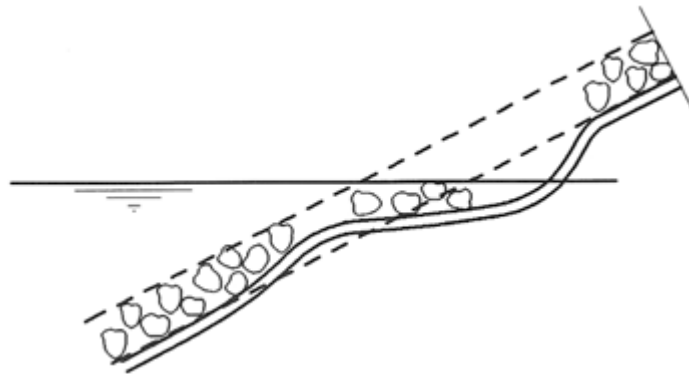
voorbeelden van teenconstructies bij een hoog voorland
(de grasbetontegels kunnen eventueel achterwege gelaten worden)

3.9.8 Uitzakken van taludbekledingen

Een verschijnsel dat ter plaatse van de waterlijn veel wordt aangetroffen bij bekledingen op oevers met een relatief constant waterpeil en waarbij de bekledingen bestaan uit een geotextiel met direct daarop grove steen, is de zogenoemde S-vorm (zie figuur 41). Deze ontstaat doordat, door een dynamische waterbeweging door golven, zand onder het geotextiel naar beneden migreert. Hierdoor kan het geotextiel scheuren en kan er schade optreden aan de bekleding. Deze vervorming is dus onwenselijk.

Fig. 41

S-vorm bij oeverbestortingen.



Heerten [23] geeft de volgende criteria voor het optreden van migratie onder het geotextiel:

- fractie $< 0,06$ m aanwezig in de korrelgradering en $C_u < 15$;
- de fractie $0,02 \text{ mm} < d < 0,1 \text{ mm}$ is groter dan 50 %;
- voor fijne grondsoorten ($D_{60} 0,063 \text{ mm} > 40$ %):
- $P_i < 0,15$ of een verhouding fractie klei ten opzichte van fractie silt $< 0,5$.

Om de vorming van een S-profiel tot het minimum te beperken kan worden gedacht aan het aanbrengen van voldoende bestorting en indien mogelijk, het verdichten van de ondergrond [58].

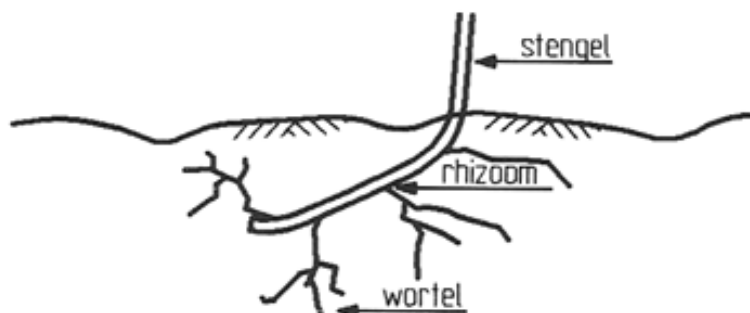
3.9.9 Doorgroeibaarheid van geotextielen

Natuurvriendelijke oevers krijgen steeds meer aandacht. In dat verband speelt de begroeiing van de oever een grote rol. De doorgroeibaarheid van geotextielen, met oeverplanten, is hierbij een punt van aandacht.

Dit aspect is onderwerp van studie geweest van de CUR [24]. Doorgroei van riet, rietgras of biezengras kan gebeuren vanaf twee zijden, namelijk van onderaf door stengels of van bovenaf door rhizomen en wortels (zie figuur 42).

Fig. 42

Doorgroeien van geotextielen door riet.



Verschillende typen weefsels en een genaaldprikte vlies zijn onderzocht. Bij weefsels blijkt het aantal draden per eenheid van oppervlak bepalend te zijn voor de doorgroeibaarheid van stengels en rhizomen: hoe minder draden, hoe beter doorgroeibaar. Dicht bandjesweefsel en ook gecoat gaasweefsel blijken goed doorgroeid met stengels en rhizomen; de monofilamentweefsels en de weefsel-vliescomposiet blijken niet of nauwelijks doorgroeibaar. Wel is bij alle weefsels worteldoorgroei waargenomen.

Verschillende onderzoeken geven niet altijd een eenduidig resultaat. Zo werd bij het genaaldprikte vlies, dat een dichte structuur heeft, slechts geringe doorgroei van stengels en rhizomen geconstateerd. In tabel 13 is een overzicht gegeven van de resultaten van het onderzoek.

Een later onderzoek, waarbij bakken met diverse soorten geotextielen zijn beplant met riet, is na een jaar bij zowel de vliezen als weefsels stengeldoorgroei geconstateerd. In dit onderzoek werd geen verschil gevonden tussen weefsels en vliezen.

De mate van doorgroei van vliezen kan het best worden geschat met behulp van de parameter karakteristieke openingsgrootte O_{90} . Voor weefsels geldt dat de mate van doorgroei vooral wordt bepaald door de eigenschap "1/gewicht". Hierbij moet worden aangetekend dat de proef pas een jaar is gevolgd en dat de resultaten als voorlopig moeten worden beoordeeld.

Tabel 13 Onderzoek naar de doorgroeibaarheid van geotextielen.

type geotextiel	doorgroeibaarheid		
	onder (spruit)	boven (wortel)	boven (rhizoom)
genaaldprikte vlies	-	+	-
zeer open gecoat multifilamentweefsel	0	+	0
dicht bandjesweefsel	+	+	++
dicht monofilamentweefsel	--	--	--
open monofilamentweefsel	-	++	--
zeer open monofilamentweefsel	--	+	--
weefsel-vliescomposiet	--	0	--

++ = zeer goede doorgroei;

+ = goede doorgroei;

0 = gemiddelde doorgroei;

- = slechte doorgroei;

-- = zeer slechte doorgroei

Uit de verschillen tussen de verschillende onderzoeken moet worden geconstateerd dat bovenstaande tabel niet meer dan een eerste richtlijn kan zijn. Grond, bodemvochtigheid en flora zijn te gevarieerd om in één tabel te vatten. Wanneer doorgroeibaarheid belangrijk is, is een test ter plaatse de meest zekere oplossing.

3.9.10 Milieubelasting

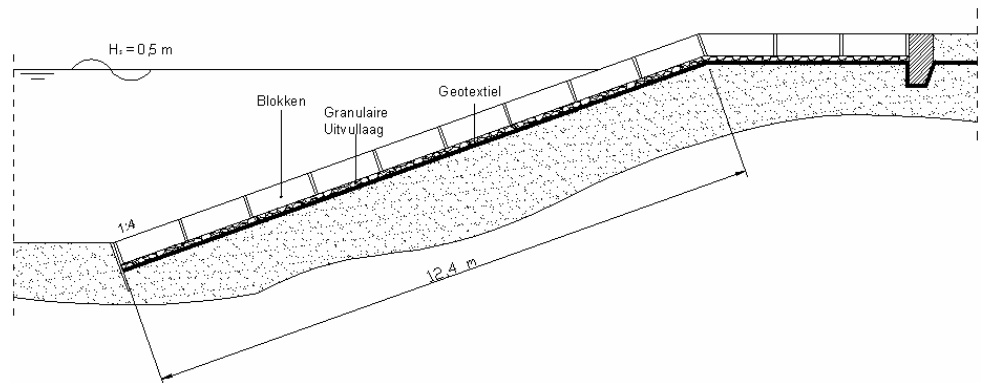
Onder normale omstandigheden zijn geotextielen vrijwel inert en veroorzaken ze geen belasting van het milieu. Een "attest toxiciteit aantasting" (ATA) kan worden verleend bij toepassing in waterwingebieden of drinkwaterbekkens. Een andere vorm van milieubelasting ontstaat bij verwijdering van het geotextiel. Er kan dan worden overgegaan tot storten, verbranden of hergebruik. Bij de beschouwde geotextielen hoeven bij gecontroleerd ver-

branden geen schadelijke stoffen vrij te komen. Dit is onder meer het geval bij verbrandingen in moderne verbrandingsinstallaties, waarbij een snelle koeling van de rookgassen en aansluitend rookgasreiniging plaatsheeft. Hergebruik heeft de voorkeur, bijvoorbeeld door het geotextiel, als het nog geschikt is direct weer als filter toe te passen. Verwerking tot andere producten, zoals vuilniszakken of folies, is momenteel in ontwikkeling. Overigens kan het onzorgvuldig omgaan met bouwmaterialen, en niet alleen geotextielen, vervuiling van de omgeving veroorzaken [6].

3.10 Rekenvoorbeeld

In een scheepvaartkanaal is een taludbescherming nodig, bestaande uit een toplaag van gezette steen, daaronder een granulaire uitvullaag en vervolgens een geotextiel (zie figuur 43).

Fig. 43
Schets constructie
rekenvoorbeeld.



Onder de gezette steen en de uitvullaag is een geotextiel nodig om te voorkomen dat de zandige ondergrond onder invloed van de hydraulische belastingen uitspoelt.

De stappen in het ontwerpproces, zoals weergegeven in fig. 8, worden gevolgd. In dit voorbeeld wordt ervan uitgegaan dat gekozen is om een geotextiel toe te passen.

De volgende stappen worden doorlopen om tot de specificaties van het geotextiel te komen:

1. vaststellen omgevingscondities
2. vaststellen functies en eisen
3. veiligheidsbeschouwing
4. ontwerpaspecten geotextiel
5. vaststellen specificaties geotextiel

Ad 1 Vaststellen omgevingscondities

Uit metingen blijkt dat sprake is van geringe stroming (maximaal 0,1 m/s) en een dynamische belasting in de vorm van golven. De scheepsgolven zijn hierbij dominant boven de windgolven. De maximale golfhoogte H_s bedraagt 0,5 m.

Het basismateriaal en de diepere ondergrond bestaan uit zand, met de volgende kenmerken:

$$C_u = 3$$

$$D_{90} = 250 \mu\text{m}$$

$$\varphi = 32^\circ$$
$$k_b = 10^{-4} \text{ m/s}$$

Daarnaast volgt uit sonderingen dat de ondergrond en het talud goed verdicht zijn.

Uit onderzoek blijkt dat de hoek van inwendige wrijving voor de granulaire uitvullaag gelijk is aan $\varphi_{\text{uitvullaag}} = 45^\circ$.

In het voorontwerp is reeds de taludhelling bepaald, namelijk 1:4.

Daarnaast blijkt uit eerder onderzoek dat er geen bijzondere omgeving- of milieueisen zijn, waaraan het geotextiel moet voldoen.

Ad 2 Vaststellen functies en eisen

In de constructie zal het geotextiel de functie van filter vervullen, zonder dat basismateriaal kan uitspoelen.

Ten aanzien van het geotextiel worden de volgende eisen gedefinieerd:

- Het geotextiel dient voldoende zanddicht te zijn;
- Het geotextiel dient voldoende doorlatend te zijn;
- Het geotextiel dient voldoende sterk te zijn (in zowel uitvoerings- en operationele fase);
- De taludbescherming dient voldoende stabiel zijn;
- De levensduur van de constructie dient minimaal 100 jaar te zijn. Het geotextiel moet gedurende de levensduur van de constructie aan de functionele eisen blijven voldoen.

Ad 3 Veiligheidsbeschouwing

Bepaal meest gangbare uitvoeringsmethode

Het geotextiel zal langs het talud uitgerold worden met behulp van een kraan, zoals weergegeven in paragraaf 5.4.1. Vervolgens wordt de granulaire uitvullaag met een kraan aangebracht en voorzichtig uitgevlakt. De blokken worden tot slot machinaal gezet.

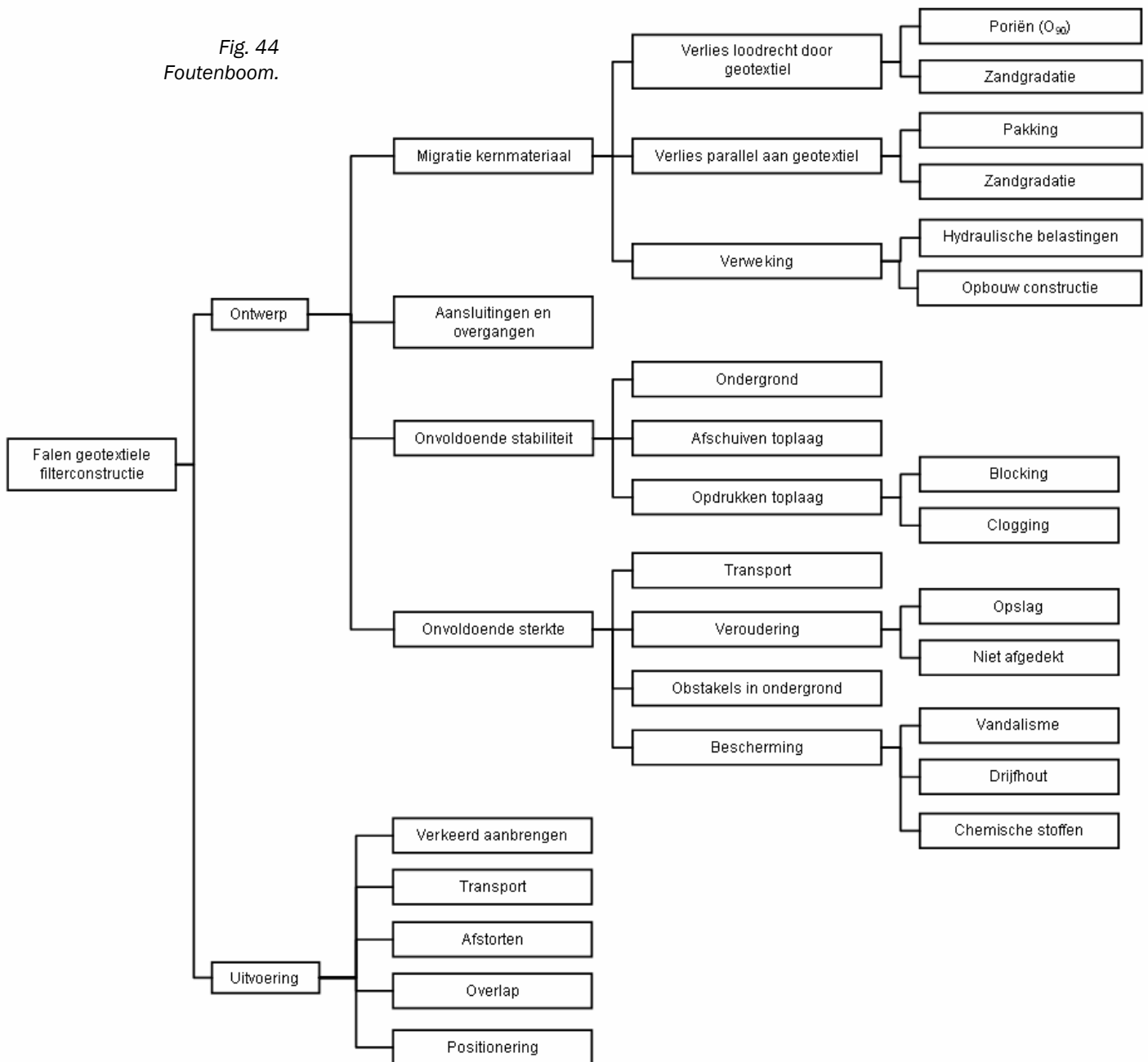
Opstellen foutenboom en vaststellen belangrijkste faalmechanismen

Voor de voorbeeldconstructie zijn de mogelijke faalmechanismen benoemd en weergegeven in een foutenboom, zie figuur 44. Hieruit zijn de belangrijkste faalmechanismen geselecteerd.

Voor deze constructie zijn vooral de volgende faalmechanismen aan de orde:

- afschuiven toplaag/toplaag en geotextiel;
- uitspoelen basismateriaal;
- verlies van waterdoorlatendheid;
- scheuren doek tijdens uitvoering.

Fig. 44
Foutenboom.



Vaststellen te hanteren veiligheden

Op basis van de veiligheidsanalyse en paragraaf 2.6, zijn de onderstaande veiligheidsfactoren vastgesteld:

- Een veiligheidsfactor van 1,5 ten aanzien van beschadiging tijdens uitvoering;
- Een veiligheidsfactor van 1,3 voor de stabiliteit van het talud (onder natte en droge omstandigheden);
- Een veiligheidsfactor van 3 voor sterkteverlies door kruip voor het meest gangbare polypropyleen.

Ad 4 Ontwerpaspecten

Bepalen noodzaak geometrisch open of dicht filter

Gezien de richtlijnen in deze publicatie wordt in principe altijd gekozen voor een geometrisch dicht ontwerp. Als dit niet mogelijk is, dan moet onderzocht worden of een geometrisch open ontwerp mogelijk is. Op basis van de bij dit voorbeeld gegeven parameters wordt gekozen voor een geometrisch dicht ontwerp.

Bepalen benodigde sterkte van het geotextiel

Het geotextiel ondervindt de grootste belasting tijdens de uitvoeringsfase. De exacte krachten zijn lastig te bepalen. Uitgaande van plaatsing onder normale omstandigheden, dan zal een benodigde treksterkte van geotextiel in de orde van enkele kN/m¹ liggen. Gezien het feit dat het doek altijd kan blijven haken achter een object, bijvoorbeeld een steen of onderhevig is aan windbelasting etc. kunnen de belastingen op het doek aanzienlijk groter worden. Daarnaast moet tijdens het aanbrengen van de vullaag en het plaatsen van de blokken voorzichtig te werk worden gegaan, waarbij de kraan niet op het geotextiel mag staan. Voor verder specifiek uitvoeringstechnische zaken wordt hier verwezen naar hoofdstuk 5.

De exacte belasting op het geotextiel tijdens de uitvoeringsfase is lastig te kwantificeren. Op basis van ervaringsgegevens blijkt dat een geotextiel met een treksterkte van 35 kN/m¹ in de meeste gevallen voldoet in de hier beschreven applicatie. Hierin zijn dan ook de vastgestelde veiligheidsfactoren impliciet verdisconteerd.

Bepalen benodigde sterkte naainaad

In de constructie komen geen naainaden voor, deze stap mag dan ook overgeslagen worden.

Bepalen stabiliteit toplaag tegen afschuiven

Bij (te steile) taluds moet het geotextiel schuifkrachten overdragen van de toplaag naar de ondergrond. Hierbij kunnen twee situaties optreden: de toplaag schuift af over het geotextiel of de toplaag plus het geotextiel schuiven in hun geheel af over de ondergrond. Dit is afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt tussen toplaag en geotextiel, tussen geotextiel en ondergrond en van de hoek van inwendige wrijving van de ondergrond zelf.

Formule 3.22 geeft voor de veiligheid tegen afschuiven, zonder verankering en zonder golfbelasting:

$$S.F. = \frac{\tan \delta}{\tan \alpha}$$

waarin:

δ = wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond of de toplaag [°];

α = taludhelling [°];

Volgens tabel 9 en [49] kan de ruwheid van het basismateriaal geclassificeerd worden als "half ruw". Volgens deze tabel mag gerekend worden met een wrijvingshoek tussen geotextiel en het basismateriaal van $1/3 \cdot \phi$. Ten aanzien van de veiligheidsfactor moet getoetst worden op 1, aangezien de verhoudingen in tabel 9 reeds veilige waarden opleve-

ren. Voor de wrijvingshoek tussen het geotextiel en het zand betekent dit: $\delta = 1/3 \cdot 32^\circ = 10,7^\circ$. De veiligheid tegen afschuiven is dan $\tan \delta / \tan \alpha = \tan 10,7 / \tan 14,0 = 0,75$. Dit ligt onder de eis van een veiligheidscoëfficiënt van 1. Hier wordt dan ook gekozen om een verankering toe te passen.

Uit de berekening van de blokkenmatten (dit valt buiten de scope van deze publicatie), blijkt dat een blokkenmat met een gewicht van $5,4 \text{ kN/m}^2$ voldoet. Deze waarde (G) wordt hier dan ook verder gebruikt voor het bepalen van F_{anker} , daarnaast wordt voor de blokhoogte een hoogte van $0,21 \text{ m}$ aangehouden.

De maximale verankeringskracht die geleverd moet worden door de verankeringsconstructie, het deel van de te mobiliseren weerstand tegen afschuiven dat niet door wrijving tussen geotextiel en basismateriaal geleverd kan worden, wordt bepaald door (formule 3.24):

$$F_{\text{max}} = G \cdot dA \cdot (\sin \alpha - \tan \delta \cdot \cos \alpha) = 5,4 \cdot 12,4 \cdot (\sin 14^\circ - \tan 10,7 \cdot \cos 14^\circ) = 3,92 \text{ kN/m}^1$$

Hier wordt gekozen om het geotextiel te verankeren door middel van blokken die ook op het talud gebruikt worden. Daarnaast is F_{max} kleiner dan de eerder benoemde treksterkte voor tijdens de uitvoering van 35 kN/m^1 . Er hoeft dan ook geen sterker doek toegepast worden. Als door golfaanval het doek over de gehele lengte van het talud minder contact zou maken met de ondergrond (wat overigens een wel erg pessimistische aanname is), dan vervalt de term $(\tan \delta \cdot \cos \alpha)$. De totale trekkracht in het doek wordt dan circa 16 kN/m^1 . Dit is nog steeds minder dan de gestelde treksterkte van het geotextiel van 35 kN/m^1 .

Om de verankeringslengte (L_{anker}) te bepalen, wordt gebruik gemaakt van formule 3.23, hierbij wordt een veiligheidsfactor van 1,3 gehanteerd op F_{anker} :

$$F_{\text{anker}} = (h \cdot \rho \cdot g \cdot L_{\text{anker}}) \cdot \tan \delta + c' \cdot L_{\text{anker}}$$

Omdat hier sprake is van een zand ondergrond, is er geen cohesie tussen het geotextiel en ondergrond ($c' = 0$). De verankeringslengte wordt nu (zonder golfaanval):

$$L_{\text{anker}} = \frac{F_{\text{anker}}}{h \cdot \rho_a \cdot g \cdot \tan \delta} = \frac{F_{\text{anker}}}{G \cdot \tan \delta} = \frac{3,9 \cdot 10^3}{5,4 \cdot 10^3 \cdot \tan 10,4^\circ} = 3,8 \text{ m}$$

Wanneer het geotextiel (gedeeltelijk) los komt als gevolg van golfaanval (hier onwaarschijnlijk) en de trekkracht 16 kN/m wordt, dan wordt de verankeringslengte groter. Dit zou praktisch gezien problemen kunnen opleveren en tevens tot hogere kosten kunnen leiden. Dan is het aan te raden om een andere verankeringsconstructie te overwegen (zie 3.9)

Voor de wrijvingshoek tussen het geotextiel en de uitvullaag geldt dat deze als “ruw” aangemerkt mag worden. Er geldt dan: $\delta = 2/3 \cdot \varphi = 2/3 \cdot 45^\circ = 30^\circ$. De veiligheid tegen afschuiven is dan $\tan 30 / \tan 14,0 = 2,31$. Deze waarde voldoet aan de veiligheidseis van 1. Extra maatregelen ten aanzien van het afschuiven van de toplaag over het geotextiel hoeven

niet genomen te worden, tenzij weer door golfaanval de glooiing over meer dan de helft van zijn lengte van het talud wordt gedrukt. Bij de hier gedimensioneerde glooiing is dat zeer onwaarschijnlijk. Wanneer bij een glooiing dit zich kan voordoen, is de bekleding te licht ontworpen en dient deze zwaarder te worden uitgevoerd.

Bij de definitieve keuze van het geotextiel moet gecontroleerd worden of de wrijving tussen granulair materiaal en geotextiel voldoet aan de gestelde veiligheidscoëfficiënt: $\tan \delta / \tan \alpha = 1.3$. Dit houdt in dat de minimale wrijvingscoëfficiënt tussen granulair materiaal en geotextiel minimaal 12,3° moet zijn.

Het is aan te raden om daar waar deze wrijvinghoek kritiek is en/of sprake is van een anker op basis van wrijving tussen geotextiel en ondergrond (vooral bij korrelig materiaal) een wrijvingstest uit te voeren met het desbetreffende geotextiel om de waarde van δ expliciet te kunnen bepalen voor het definitieve ontwerp. Zeker als de berekende veiligheidsfactor praktisch gelijk is aan de gestelde veiligheidsfactor. Dit kan zeer eenvoudig door een deel van de constructie (basismateriaal, geotextiel, granulaire laag, blokken) in een bak te bouwen en deze vervolgens aan één kant omhoog trekken totdat een deel van de constructie afschuift en dan de hellingshoek te meten. De proef moet droog en onder water uitgevoerd worden.

Bepalen stabiliteit talud

Gezien de relatief flauwe taludhelling van 1:4 en de zandondergrond met een hoek van inwendige wrijving; $\varphi = 32^\circ$, zal er geen gevaar zijn op afschuiven van het talud (ondergrond). Daarnaast is sprake van een vastgepakte ondergrond, waardoor er geen kans bestaat op verwekingsvloeiing.

Opstellen eisen aan geotextiel ten aanzien van:

- *Zanddichtheid*

Het geotextiel bevindt zich niet aan het oppervlak en de blokken staan niet direct op het geotextiel. Voor het bepalen van de zanddichtheid wordt dan ook gebruik gemaakt van tabel 7. De maatgevende belasting is scheepsgolven. Met andere woorden een dynamische belasting. Daarnaast is sprake van een stabiele ondergrond. De O_{90} wordt nu als volgt bepaald: $O_{90} < D_{90} \Rightarrow O_{90} < 0,25 \text{ mm}$.

Ten aanzien van de trekkrachten in het doek in dit voorbeeld kan gesteld worden dat deze dusdanig klein zijn dat geen rekening gehouden hoeft te worden met verandering van de O_{90} onder invloed van (trek)belasting.

- *Waterdoorlatendheid*

Voor de beschouwde constructie is alleen de waterdoorlatendheid loodrecht op het grensvlak van belang. Ten aanzien van de doorlatendheid wordt gesteld dat de doorlatendheid van het geotextiel groter moet zijn dan die van de basislaag.

De eis ten aanzien van de doorlatendheid wordt bepaald met:

$$k_n \geq c_m \cdot k_b$$

waarin:

k_n = loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s];

c_m = constante afhankelijk van het basismateriaal [-];

k_b = doorlatendheidscoëfficiënt van het basismateriaal [m/s].

Voor de waarde van c_m wordt 3 aangehouden, gezien het feit dat sprake is van een zandondergrond (zie 3.3.4). Dit leidt tot een minimale waterdoorlatendheid van het geotextiel van: $k_n \geq 3 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Deze vaak toegepaste regel heeft als probleem dat de doorlatendheid van het geotextiel bekend moet zijn en dit is alleen bekend als de dikte van het geotextiel bekend is. Het is ook mogelijk om uit te gaan van de in de CEN-norm; EN ISO 11058 gedefinieerde V_{H50} (zie 3.3.1). Om de stabiliteit van de toplaag te kunnen waarborgen moet de drukopbouw onder het geotextiel veel kleiner zijn dan het gewicht van de blokken. In dit geval lijkt het redelijk te veronderstellen dat de drukval niet groter mag zijn dan 50 mm, de snelheid van het water door het geotextiel mag met deze eis dus niet groter zijn dan de V_{H50} (m/s). Nu geldt dat de in een indextest gemeten V_{H50} wel een factor 5 hoger kan zijn dan in werkelijkheid (omdat in een constructie de openingen van het geotextiel gedeeltelijk worden afgedekt door het zand en de uitvullaag [60]). Dit betekent dat de opgegeven waarde voor de V_{H50} ook een factor 5 hoger moet zijn. De maximale stroomsnelheid loodrecht op het talud wordt bepaald door het verhang loodrecht op het talud. Hiervoor is door Bezuijen en Köhler [60] een rekenmethode gegeven, maar hier kan gesteld worden dat dit verhang niet hoger zal worden dan maximaal 3. Dit is een veilige bovengrensbepaling. Dit echt te berekenen valt buiten het kader van dit rapport, zie daarvoor [60]. Aangezien de doorlatendheid van het zand 10^{-4} m/s is zal bij een naar buiten gericht verhang van 3 het debiet $3 \cdot 10^{-4}$ m/s zijn. Door het geotextiel gaat hetzelfde debiet en dus moet de V_{H50} is dan $3 \cdot 10^{-4}$ m/s en de V_{H50} uit de index test moet 5 keer zo groot zijn; $1.5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Hier wordt dan ook gekozen om de V_{H50} op te geven.

Op basis van de gegeven grondparameters mag geconcludeerd worden dat geen gevaar bestaat voor blocking, blinding of clocking (zie 3.4). Als voldaan wordt aan de hierboven gestelde eis aan de doorlatendheid, kunnen zich geen bovenmatige waterdrukken opbouwen die kunnen leiden tot het opdrukken van de toplaag (constructie). Extra maatregelen zijn dan ook niet nodig.

- *Duurzaamheidsaspecten*

Uit de omschrijving blijkt dat de beoogde levensduur van de constructie 100 jaar is en er geen sprake is van een agressief milieu waarin het geotextiel wordt toegepast. Daarnaast ligt het geotextiel onder een granulaire uitvullaag en blokken. Het textiel zal dan ook niet onderhevig zijn aan UV belastingen. Het geotextiel moet een minimale levensduur van 100 jaar hebben. De levensduur van een polymeer bestaat voor een groot deel uit de tijd dat nog geen oxidatie van het polymeer heeft plaats gevonden. Oxidatie leidt tot afname van de sterkte en toename van de broosheid. Meestal wordt de levensduur gedefinieerd als de tijd totdat de sterkte 85% van die van het uitgangsmateriaal is geworden.

Anti-oxidanten en andere toeslagstoffen verhinderen de oxidatie. Zolang deze materialen in voldoende mate in het polymeer aanwezig zijn zal er geen sterkteverlies optreden. Doormiddel van een DSC test kan nagegaan worden of er anti-oxidanten in het polymeer aanwezig zijn. Door nu monsters gedurende lange tijd aan verschillende hoge temperaturen bloot te stellen, kan bepaald worden wanneer de anti-oxidanten verdwenen zijn (OIT test). Gekwalificeerde instituten kunnen zo voor een bepaald geotextiel de levensduurverwachting vaststellen. Tijdens de selectie- en goedkeuringsprocedure van een toe te passen geotextiel kan deze informatie opgevraagd worden of kunnen indien nodig de testen uitgevoerd worden.

Ad 5 Vaststellen specificaties geotextiel

Op basis van de bovenstaande constatering kunnen de functionele eisen (vraagspecificaties) aan het geotextiel worden vastgesteld:

- openingsgrootte $O_{90} = 0,25 \text{ mm}$;
- de waterdoorlatendheid van het geotextiel moet groter $V_{H50} = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$;
- minimale treksterkte geotextiel = 35 kN/m^2 ;
- wrijvingshoek tussen het geotextiel en de ondergrond moet minimaal $12,3^\circ$ zijn.
- sterkteverlies door oxidatie van het polymeer mag maximaal 15% bedragen binnen 100 jaar.

Op basis van deze eisen kan een geotextiel geselecteerd worden. Het geselecteerde geotextiel dient vervolgens getoetst te worden aan de gestelde eisen.

Hoofdstuk 4

Testmethoden

4.1 Algemeen

In hoofdstuk 3 is het ontwerp van geotextielen behandeld. Dit resulteert in een aantal eisen, waaraan het geotextiel moet voldoen om het gewenste gedrag te vertonen. Bij de realisatie van het ontwerp moet vervolgens een geotextiel worden gekozen dat ook daadwerkelijk aan de gestelde eisen voldoet.

Er bestaat een veelheid aan testmethoden. Ieder land kent weer eigen methoden met de bijbehorende voor- en nadelen. Vaak behoren specifieke ontwerpvariabelen bij een bepaalde testmethode.

De testmethoden die bepaalde eigenschappen van alleen het geotextiel meten (de zogenaamde index tests) zijn in de afgelopen jaren gestandaardiseerd op Europees of internationaal (ISO) niveau. Veel normen zijn CEN ISO normen en dus zowel in Europa als internationaal gestandaardiseerd. Dit betekent dat de eigenschappen die worden gemeten vergelijkbaar zijn. De openingsgrootte wordt wereldwijd op dezelfde manier gemeten en is dus wereldwijd vergelijkbaar, al moet men er rekening mee houden dat er bij bepalingen van verschillende laboratoria toch wel enig verschil kan ontstaan. Voor performance testen waarin de eigenschappen van het geotextiel worden bepaald in samenhang met de omringende grond zijn er nauwelijks gestandaardiseerde normen. Voor de naainaden is alleen de index test voor de treksterkte gestandaardiseerd. Aangezien de naainaden vaak de zwakste schakel zijn in een constructie met geotextielen, verdient het aanbeveling om in een ontwerp hier terdege rekening mee te houden en zo nodig performance testen te laten uitvoeren.

Dit hoofdstuk behandelt de meest gebruikelijk testmethoden voor geotextielen met een beschermende functie tegen erosie. Allereerst wordt in 4.2 ingegaan op het onderscheid dat kan worden gemaakt in de testmethoden. In 4.3 wordt een overzicht gegeven van de meest gebruikelijke testmethoden ter bepaling van de in de waterbouw relevante variabelen. Voor eigenschappen van geotextielen waar gestandaardiseerde testmethoden beschikbaar zijn, zullen alleen deze gestandaardiseerde methoden worden behandeld.

Op internationaal niveau (ISO) worden alleen testmethoden gestandaardiseerd. In Europa is men een stap verder gegaan. Hier worden ook de producten gecertificeerd via een CE markering. Wat dit inhoudt zal in 4.3 worden behandeld.

4.2 Hoofddeling van testmethoden

Bij de beschouwing van de diverse testmethoden kunnen de volgende hoofdtypen worden onderscheiden:

- Indextest: De eigenschappen van het geotextiel worden bepaald zonder de invloed van de omringende grond mee te nemen. Deze tests zijn tevens geschikt voor de kwaliteitscontrole van het productieproces van de geotextielen.
- Performancetest: De eigenschappen van het geotextiel worden bepaald in samenhang met de omringende grond voor wat betreft een aantal standaard grondsoorten en

standaard laagdikten van de grond. De te gebruiken grondsoorten moeten in voorschriften en normen zijn vastgelegd.

- Simulatietest: Deze methode komt overeen met de performancetest, waarbij echter de grond, zoals die in werkelijkheid op de bouwlocatie wordt aangetroffen, wordt gebruikt in de test.
- Prototypetest: De eigenschappen van het geotextiel worden in prototype onderzocht.

Index-, performance- en simulatietests worden in het laboratorium uitgevoerd; prototype-tests op de betreffende bouwlocatie.

Het spreekt vanzelf dat de representativiteit van deze tests, ofwel de mate waarin de tests de werkelijkheid benaderen, in de genoemde volgorde toeneemt. Dit is weergegeven in tabel 14.

Tabel 14 Karakteristieken van de testmethoden [25].

Testmethode	Locatie	Grond in test	Representativiteit
Index	laboratorium	Nee	5 - 15 %
performance	laboratorium	standaardgrond	15 - 65 %
simulatie	laboratorium	werkelijke grond	40- 85 %
prototype	in situ	werkelijke grond	75 - 95 %

Hoewel de precieze percentages anders doen vermoeden gaat het in deze tabel om niet meer dan een indicatie van de representativiteit. Voor de verschillende tests zal deze ook nog sterk verschillen. Zo wordt de openingsgrootte bepaald met een index test, maar hierbij wordt wel zand gebruikt. Deze test is representatiever voor het gedrag van een geotextiel in grond dan een bepaling van de treksterkte, omdat in de praktijk de belasting anders zal zijn dan die wordt opgelegd om de treksterkte te bepalen (zie 4.3.2). Een treksterkte bepaling heeft echter weer een grotere representativiteit dan een index doorlatendheidstest zonder belasting en zonder grond, omdat de doorlatendheid of permittiviteit in belangrijke mate wordt bepaald door de belasting en de grond boven en onder het geotextiel.

In de praktijk worden de eigenschappen van geotextielen bijna alleen in indextests, en sporadisch in performancetests, onderzocht. De index tests zijn gestandaardiseerde proeven die de mogelijkheid tot certificering van het product bieden. De specificaties die door de diverse producenten van geotextielen worden gegeven, zijn meestal gebaseerd op dergelijke tests. Performance- en simulatietests zijn nog nauwelijks gestandaardiseerd. In de Europese normalisatie en CE markering is het van belang om de eigenschappen van het product vast te stellen en te kunnen vergelijken. Dit heeft geleid tot een sterke nadruk op index tests.

De kosten van de diverse tests nemen over het algemeen toe in de genoemde volgorde. Simulatie- of prototypetests worden dan ook pas uitgevoerd als [6]:

- het project een grote omvang heeft en de kosten van een dergelijke test een nadere karakterisering van het geotextiel rechtvaardigen;
- de potentiële schade door het falen van het geotextiel, zowel aan de constructie als aan de omgeving, groot is;
- de gewenste eigenschappen van het geotextiel niet met andere tests kunnen worden bepaald;
- geen goede ontwerpmethoden voor de betreffende eigenschap voorhanden zijn;
- toepassing van een geotextiel een significante kostenbesparing met zich meebrengt.

Een tweede onderverdeling kan worden gemaakt naar de eigenschap die met de tests worden bepaald. Deze hebben betrekking op:

- geometrisch-fysische eigenschappen: gewicht en dikte;
- fysisch-mechanische eigenschappen: spannings-rekrelatie, barststerkte, doorpingssterkte, scheursterkte, slijtsterkte, wrijving;
- waterdoorlatendheid: permittiviteit, horizontale doorlatendheid, verticale doorlatendheid, transmissiviteit;
- openingskarakteristiek;
- filterwerking/grondichtheid: clogging, filterwerking;
- duurzaamheid van de producten tegen oxideren, hydrolyse, doorgroeien door wortels, micro biologische eigenschappen en speciale chemicaliën.

Ten aanzien van de fysisch-mechanische eigenschappen kan een verder onderscheid worden gemaakt in:

- destructieve tests: het monster bezwijkt tijdens de proef;
- niet-destructieve tests: het monster blijft heel.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van testmethoden. Hierin wordt ook het resultaat genoemd. Normaal worden er bij het uitvoeren van een test door het laboratorium meer resultaten gegeven. Het resultaat dat hier wordt genoemd is het resultaat dat volgens de toepassingsstandaarden bij het geotextiel moet worden verstrekt om in aanmerking te komen voor de CE markering, zie ook 4.3.

4.3 Overzicht van indextesten

4.3.1 Geometrisch fysische testmethoden

Deze tests zeggen weinig over de eigenschappen van het geotextiel die in de grond van belang zijn, maar worden gebruikt om verschillende geotextielen met verschillende diktes en dus ook massa van elkaar te onderscheiden.

Dikte

De dikte van een geotextiel wordt gemeten als de verticale afstand tussen een referentieplaat waarop het geotextiel rust en het parallel daaraan verlopende drukstempel. De dikte van het geotextiel moet bij verschillende drukken worden gemeten. De testmethode is onder ISO en CEN gestandaardiseerd. De test geeft de dikte bij een belasting van 2 kPa.

Massa per eenheid van oppervlak

Voor de massabepaling van een proefstuk wordt gebruik gemaakt van een balans. Ook deze testmethode is onder ISO en CEN gestandaardiseerd. Het resultaat is de massa van het geotextiel per vierkante meter.

4.3.2 Fysisch-mechanische testmethoden

Hier worden eigenschappen (zoals de treksterkte) gemeten die ook voor de functie van het geotextiel in de grond van belang zijn.

Korteduur spannings-rekrelatie

Voor het vaststellen van de korteduur spannings-rekrelatie van een geotextiel is de zogenaamde “Wide width tensile strength” test als ISO en CEN test gestandaardiseerd (EN ISO 10319). Hierin wordt aan een relatief breed stuk geotextiel (breedte 0.2 m) uniaxiaal getrokken. De breedte van het geotextiel moet er voor zorgen dat er een uniforme spanningstoestand ontstaat. Het resultaat is de maximale treksterkte en de rek waarbij breuk optreedt. De afmetingen zijn weergegeven in figuur 45.

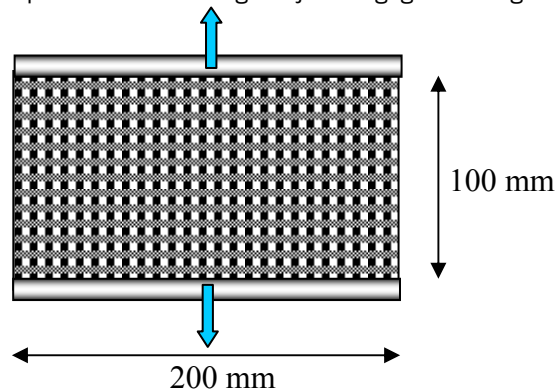


Fig. 45
Afmetingen van een geotextiel
gebruikt voor een
‘wide width tensile test’.

In een vergelijkbare test kan ook de treksterkte van overgangen en naainaden worden onderzocht (EN ISO 10321).

CBR doorpingssterkte

Naast deze uniaxiale testen is ook de statische doorpings test gestandaardiseerd (EN ISO 12236). Deze wordt ook wel de CBR (Californian Bearing Ratio Test) genoemd, hoewel de oorspronkelijke CBR wordt gebruikt om de sterkte van granulaire onderlagen bij een weg te bepalen. Bij deze test wordt een stuk geotextiel ingespannen in een ring en wordt hierin langzaam een piston geduwd, zie voor de afmetingen figuur 46. De doorpingssterkte is de sterkte waarbij de kracht op de piston niet verder toeneemt.

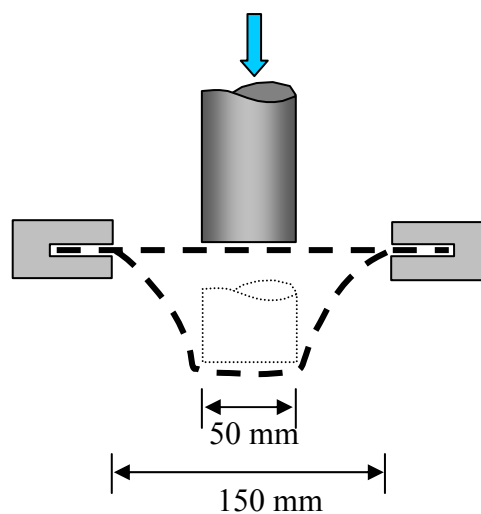


Fig. 46
Schematische weergave
‘static puncture test’.

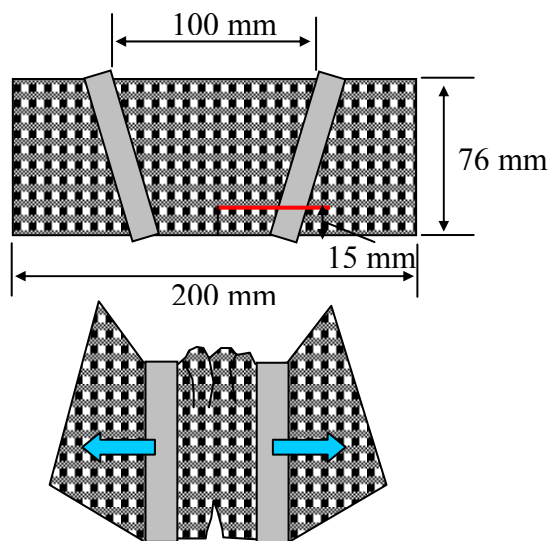
Barststerkte

De barststerkte van een geotextiel wordt bepaald door middel van een barstproef, waarbij een cirkelvormig, tussen twee ringen ingeklemd proefstuk door middel van een met gas- of waterdruk gevuld membraan, loodrecht op zijn vlak wordt belast totdat het geotextiel openbarst.

Scheursterkte

Voor het vaststellen van de scheursterkte van een geotextiel is geen CEN of ISO gestandaardiseerde test aanwezig. Binnen de technische commissies van deze organisaties heeft men de indruk dat de bestaande tests onvoldoende representatief zijn. De Amerikaanse normerings organisatie ASTM heeft 2 scheurtesten gestandaardiseerd, de 'grap tear strenght' (ASTM D4533) en de 'Mullen Burst test' (ASTM D3786). De eerste test is schematisch weergegeven in figuur 47. De laatste gebruikt kleine samples en is weinig betrouwbaar. De bepaling van de scheursterkte van geotextielen uit het kracht-ervormingsdiagram blijkt in de praktijk voor alle scheurtests op problemen te stuiten, hetgeen door de onderlinge verschillen in uitvoering en rapportage van de testmethoden alleen nog maar wordt versterkt.

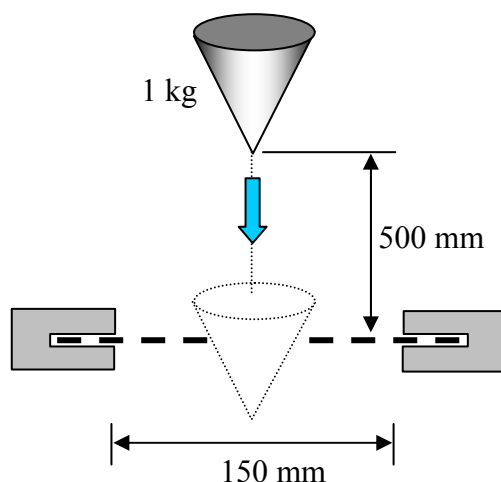
Fig. 47
Schematische weergave
'grap tear test'.



Conus val test

In deze proef (EN 918) wordt onderzocht in hoeverre het geotextiel bestand is tegen een dynamische punt belasting. Een conus valt van 0,5 m hoogte op het te beproeven geotextiel. De mate waarin de conus indringt in het geotextiel is een maat voor de sterkte van het geotextiel, des te groter de indringing des te zwakker is het geotextiel. De proef is schematisch weergegeven in figuur 48 (in werkelijkheid is de conus veel spitsger vormd). Het resultaat van de proef is het aantal centimeters dat de conus is ingedrongen.

Fig. 48
Schematische weergave
'valconus test'.



Bescherming van geomembranen (Protection efficiency)

Twee fysisch-mechanische testmethoden zijn ontwikkeld om een indruk te krijgen van de mate waarin een geotextiel in staat is een onderliggend geomembraan te beschermen tegen beschadiging door stenen.

De eerste is "The piramide puncture test", EN 14574. Hierin wordt een piramidevormige conus in een geotextiel gedrukt. Het geotextiel ligt op een aluminium plaat. Gemeten wordt bij welke kracht op de conus de conus elektrisch contact maakt met de aluminium plaat. Een alternatief is om het geotextiel op een stuk polyurethaan schuim te plaatsen en de verplaatsing te meten en te bepalen wanneer de conus contact maakt met een plaatje onder het geotextiel. Afmetingen zijn vergelijkbaar met die bij de valconus.

In de tweede proef om de beschermfunctie te testen "Long time protection efficiency of geotextiles in contact with geosynthetic barriers", EN 13719, wordt een geotextiel op een loden plaat gelegd en worden stalen ballen met een diameter van 20 mm op het geotextiel gedrukt. Achteraf wordt gekeken wat de deformatie van het lood is.

Slijtsterkte

Voor het meten van de slijtage gevoeligheid is de test "Abrasion damage simulation (sliding block test)", EN ISO 12236, te gebruiken. Bij deze test wordt een blok met daaraan bevestigd een stuk schuurpapier over het te beproeven geotextiel bewogen en wordt de schade aan het geotextiel gemeten.

Wrijving

De wrijving tussen het geotextiel en de grond is een belangrijke parameter. Hiervoor zijn 3 tests gestandaardiseerd die verschillende eigenschappen testen.

- "Determination of friction characteristics – Part 1: direct shearbox" EN ISO 12957-1. Dit is een proef op basis van een schuifproef in de geotechniek. Deze proef wordt gebruikt als een geotextiel aan één kant over de grond kan glijden;
- "Determination of friction characteristics – Part 2: inclined plane test" EN ISO 12957-2. Deze proef bepaalt ook de wrijving wanneer het geotextiel aan één kant over de grond kan glijden door de gehele constructie op een helling te plaatsen, maar deze proef wordt uitgevoerd wanneer de bovenbelasting vrij laag is;

- “Determination of pull out resistance in soil” EN13738. Hierin wordt een geotextiel aan twee kanten met grond bedekt en wordt de grond met een zekere voorspanning belast, daarna wordt onderzocht welke kracht nodig is om het textiel uit de grond te trekken. Deze proef is ontwikkeld voor de situatie waar het geotextiel aan twee kanten in de grond zit en op trek wordt belast. Over het algemeen blijkt het moeilijk om deze proef zo uit te voeren dat geen randeffecten optreden.

4.3.3 Waterdoorlatendheid

De meest gebruikte waterdoorlatendheidtest is “Determination of waterpermeability characteristics in the plane, without load” EN ISO 11058. Deze bepaalt het debiet door het geotextiel bij een gegeven drukval. Het debiet bij een drukval van 50 mm is daarbij als maat gekozen voor de waterdoorlatendheid. In de proef zit geen grond.

Deze standaard laat twee mogelijke tests toe. De “constant head” test waarbij een constant drukverschil wordt opgelegd en het debiet gemeten bij de “falling head test” waarbij de druk steeds afneemt. Bij de testen wordt voor een vijftal vervallen de indexwaarde bepaald. Door de gevonden waarden wordt vervolgens een kromme getekend. Meestal wordt de constant head test gebruikt en is het testresultaat het debiet bij een aantal waarden van de drukval over het geotextiel. Het resultaat kan worden omgerekend tot een permittiviteit (Ψ) of, wanneer de dikte van het geotextiel bekend is, de doorlatendheid, zie ook paragraaf 3.3.

4.3.4 Openingskarakteristiek

Er zijn verschillende technieken ontwikkeld om de karakteristieke openingsgrootte en porositeit van geotextielen te bepalen [27]:

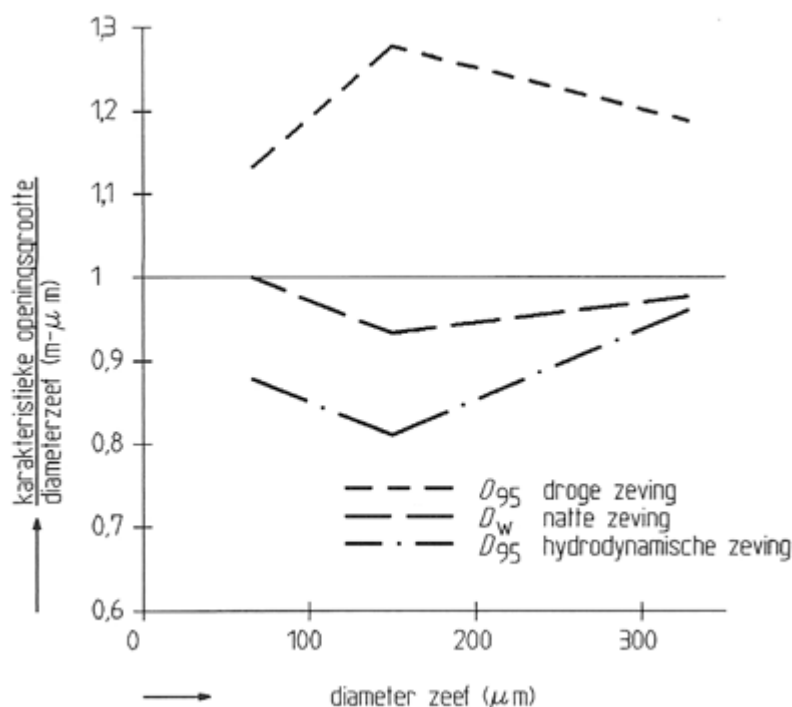
- zeefmethoden: droog, nat en hydrodynamisch;
- zuigmethode (suction technique);
- drukmethode (bubble point method, mercury intrusion test);
- optische methode;
- theoretische modellen.

Op het moment is alleen de natte zeefmethode als internationale standaard geaccepteerd “Determination of the characteristic opening size” EN ISO 12956.

Deze testmethode bepaalt de openingskarakteristiek van het geotextiel door het geotextiel als zeef te beschouwen; het zeven geschiedt onder natte omstandigheden, met behulp van gestandaardiseerde korrelmengsels, bestaande uit zand of glas.

Uit een beschouwing van de zeefmethoden blijkt dat de aan het geotextiel toegekende openingskarakteristiek een benadering is van de maximale poriëngrootte in het geotextiel. Een verdeling van de openingsgrootte van de poriën in het geotextiel kan met deze methoden niet worden vastgesteld. Tevens blijkt dat de verschillen tussen de testmethoden onderling zo groot te zijn, dat de verkregen openingskarakteristieken slechts beperkt uitwisselbaar zijn, zoals in figuur 49 wordt geïllustreerd. Voor de diverse verschillende openingskarakteristieken bestaat zodoende een even groot aantal specifieke ontwerprelaties.

Fig. 49
Evaluatie van de karakteristieke
openingsgroottebepaling
(weefsel-monofilament) [25].



Andere testmethoden, zoals optische meettechnieken, zijn op dit ogenblik ten dele of geheel niet geschikt voor het bepalen van de karakteristieke openingsgrootte van geotextielen.

4.3.5 Filterwerking en grondichtheid

Deze proeven zijn bedoeld om het lange duur gedrag van geotextielen te kunnen bepalen.

Clogging

Bij deze testmethoden wordt de gevoeligheid van geotextielen voor dichtslibben (clogging) onderzocht bij een stroming loodrecht op het grensvlak. Feitelijk is hier sprake van simulatietests, waarbij de eventuele afname van de doorlatendheid, op de lange termijn, wordt bepaald.

Filterwerking

Bij deze testmethoden wordt het gedrag van geotextielen wat betreft de filterwerking onderzocht. Dit gebeurt door de praktijksituatie in een modelopstelling, binnen de bijbehorende randvoorwaarden voor de hydraulische belastingen, te beproeven. Feitelijk is er sprake van een simulatietest. Dit is overigens een eerste stap in de richting van de ontwikkeling van gestandaardiseerde performancetestmethoden. De filterwerking van geotextielen kan, afhankelijk van de aanwezige faciliteiten, door een groot aantal laboratoria worden getest.

Turbulent flow test

Bij deze testmethode wordt de grondichtheid van het geotextiel onderzocht bij een specifieke ondergrond (aanwezige grond op projectlocatie) onder turbulente stroming. Voor het opwekken van de turbulente stroming wordt een propeller gebruikt, bestaande uit vier bladen. De opgewekte stroming is te vergelijken met de golven/turbulentie die normaal

gesproken ontstaat bij golfbewegingen, passerende schepen, schroefstraalbelasting etc. Tijdens de test wordt gemeten hoe snel en hoeveel grond er door het geotextiel heen dringt. Het resultaat is een index waarde, zodat bijvoorbeeld verschillende geotextielen bij dezelfde ondergrond met elkaar vergeleken kunnen worden.

De test is op gebaseerd op de Duitse standaard en nog steeds in ontwikkeling. De test is dan ook nog niet definitief.

4.3.6 Testmethoden ter bepaling van de duurzaamheid (durability)

Met behulp van deze tests wordt de sterkte van geotextielen tegen veroudering getest. Dit kan zijn chemische veroudering, maar ook veroudering onder invloed van UV straling en biologische veroudering (wortels die door het geotextiel groeien).

In de "Guide to Durability", CR ISO 1343 wordt omschreven hoe met de resultaten van deze tests de levensduur van een geotextiel kan worden bepaald. De duurzaamheid wordt in de "Guide to Durability" omschreven in verschillende klassen. Het minst duurzame heeft maar een levensduur van 0-5 jaar, het meest duurzame gaat meer dan 100 jaar mee.

Plaatsen van samples in de grond

De test methode: Geotextiles and geotextile-related products - Method for installing and extracting samples in soil, and testing specimens in laboratory (EN ISO 13437) beschrijft hoe veroudering getoetst kan worden door samples van het geotextiel in de grond te stoppen en deze na een zekere tijd weer op te graven en in het laboratorium te testen.

Algemeen testen van samples na beproeven op duurzaamheid

Wanneer een sample belast geweest is met UV-licht of chemicaliën moet bepaald worden of het daardoor is aangetast. Voor alle duurzaamheidstests is daarvoor een uniforme methode ontwikkeld, die is beschreven in: Geotextiles and geotextile-related products - General tests for evaluation following durability testing (EN 12226)

Kort gezegd komt het erop neer dat voor en na de belasting de treksterkte wordt bepaald.

Duurzaamheids tests

In de standaards die hier boven worden beschreven, wordt de algemene procedure beschreven hoe duurzaamheidsproeven uit te voeren, de hieronder genoemde standaards beschrijven hoe de belasting moet worden aangebracht. De meeste hiervan behoeven geen nadere toelichting, zo zal een norm om de 'resistance to acid and alkaline liquids' te bepalen, beschrijven hoe zuur en hoe basisch de vloeistoffen moeten zijn waar het geotextiel in gelegd wordt en hoe lang het daarin moet.

De tweede van de hieronder genoemde normen vergt mogelijk wel enige toelichting. Geotextielen zijn gevoelig voor oxidatie, dit kan worden beperkt door aan het materiaal waar ze van gemaakt worden anti-oxidanten toe te voegen. Nu gaat die oxidatie in de praktijk heel langzaam. Om toch binnen afzienbare tijd een proef te kunnen uitvoeren is daarom in het verleden bedacht om de temperatuur te verhogen en met behulp van de theorie van Arrhenius terug te rekenen hoelang het dan duurt bij normale temperaturen. Naarmate de duurzaamheid van de geotextielen toenam, moest de temperatuur steeds verder worden verhoogd, met als gevolg dat er ook andere reacties gaan optreden. Daarom schrijft EN

ISO 13438 niet alleen een wat verhoogde temperatuur voor, maar ook een hogere druk. Bij een hoge zuurstofdruk zal ook de oxidatie toenemen.

De onderstaande duurzaamheidnormen zijn ontwikkeld voor geotextielen. Voor geomembranen zijn er nog andere, maar omdat geomembranen in de waterbouw weinig of niet worden toegepast, worden deze hier niet genoemd.

EN 14414

Geotextiles and geotextile-related products – Chemical resistance of geotextiles and geotextile-related products used in direct contact with landfill waste, leachates and gas.

EN ISO 13438

Geotextiles and geotextile-related products - Screening test method for determining the resistance to oxidation at elevated oxygen pressure

EN 14030 (formerly ENV ISO 12960)

Geotextiles and geotextile-related products -Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids

EN 14030 (formerly ENV ISO 12960)

Geotextiles and geotextile-related products -Screening test method for determining the resistance to acid and alkaline liquids

Testen voor naaiverbindingen, confectietechniek, naaigaren etc. Het aantal genormeerde tests is nog (te) beperkt. Op het moment van schrijven van dit rapport is alleen EN ISO 10321 als indextest beschikbaar. Deze test bepaalt de treksterkte van de naainaden.

Hoofdstuk 5

Uitvoering

5.1 Algemeen

Geotextielen zijn lichte plooibare materialen, meestal in de vorm van doeken gemaakt van kunststof, die een groot toepassingsgebied kennen in de waterbouw. De maximale handelsbreedte is circa 5 m. Het materiaal wordt meestal geleverd op rollen. De maximale doeklengte en diameter van de rol worden hoofdzakelijk bepaald door logistieke beperkingen. Gangbare dimensies variëren tussen 50 en 300 m in lengte en tussen 0,4 en 1,2 m in diameter, afhankelijk van het type en de zwaarte van het materiaal.

Geotextielen zijn in bepaalde gevallen kwetsbaar voor functieverlies, vooral als zij een filter-, grondscheidings- en krachtenverdelende functie hebben. De gehele levenscyclus moet hierbij in acht worden genomen. Niet zelden worden geotextielen tijdens de uitvoeringsfase het zwaarst belast. Met andere woorden: de werkmethode moet worden afgestemd op het geotextiel of de keuze van het geotextiel moet worden afgestemd op de werkmethode. Tijdens het ontwerp moet hiermee rekening worden gehouden. In sommige gevallen zullen de uitvoeringseisen zwaarder wegen dan de theoretische ontwerpeisen, zoals bij de toepassing van geotextielen afgedekt met granulair materiaal.

Als de ondergrond tijdens of na de aanlegfase sterk kan vervormen, zal het geotextiel deze vervorming moeten kunnen volgen zonder dat er functieverlies optreedt.

De afdeklagen op een filterdoek beperken de doorstroomcapaciteit van het doek. Hiervan dient bij het ontwerp rekenschap gegeven te worden.

Door bestaande onvlakheid van de ondergrond of vervorming hiervan tijdens het plaatsen van (individuele) stenen, kan de benodigde oppervlakte (of hoeveelheid) geotextiel groter zijn dan het theoretische oppervlak. Het geotextiel zal namelijk de onvlakheid volgen, waardoor het als het ware “krimpt”. Dit kan wel 10-15 procent bedragen, waarbij het extra materiaal ten gevolge van de overlappen nog niet meegerekend is.

Dit hoofdstuk behandelt de uitvoeringsaspecten die van belang zijn bij het verwerken van geotextielen in waterbouwkundige constructie. Elke paragraaf wordt afgesloten met een overzicht van kwetsbare punten of kritische aandachtspunten voor ontwerp en uitvoering.

Het laatste deel van het hoofdstuk behandelt de kwaliteitsaspecten en controle op de bouwplaats. In dat deel is ook een voorbeeld gegeven van op te nemen technische bepalingen voor het product geotextiel.

5.2 Transport en opslag

Tijdens het totale logistieke traject van fabricage tot eindpositie moet het geotextiel een aantal keren worden opgepakt en getransporteerd. Het is belangrijk dat men zich op de

bouwplaats van te voren realiseert wat het gewicht van de rol is en hoeveel en hoe vaak transport zal plaatsvinden. Dan kan men ook zorgen voor het juiste materieel.

Geotextielen worden meestal op rollen aangeleverd. In de rollen zit een kern, die voor de stabiliteit van de rol zorgt. De rollen zijn soms verpakt in plastic folie om gewichtstoename door water, verontreiniging tijdens opslag en transport tegen te gaan en om een eerste bescherming tegen UV straling te geven. Soms worden ook stukken geotextiel bij de fabrikant aan elkaar genaaid (voorgeconfectioneerd). Deze voorgeconfectioneerde matten kunnen op rollen of gevouwen op pallets aangeleverd worden (zie figuur 50). Ook deze elementen worden in plastic folie worden verpakt.

Fig. 50
Vervoer op pallets.



Fig. 51
Vervoer met behulp van
een doorn.



Fig. 52
Oppikken van een rol met
twee hijsbanden.



Het transport van de fabriek naar de bouwplaats gebeurt meestal met vrachtwagens. Bij transport overzee worden containers gebruikt. De rollen geotextiel, die vaak een diameter van circa 0.6 m en een lengte van 5 - 6 m hebben, worden met behulp van een in de kern van de rol gestoken doorn over korte afstand getransporteerd (zie figuur 51). Deze doorn moet van voldoende lengte zijn om vervorming van de kern te voorkomen. De doorn is op de foto aan een laadschop bevestigd. Als geen doorn gebruikt wordt moet de rol ten minste op 2 punten worden opgepikt om vervormen van de kern tegen te gaan (zie figuur 52).

Vaak is het alleen mogelijk de laadruimte (bijvoorbeeld een container) van achteren te lossen. Dit betekent dat de rollen (vooral de achterste) in de container opgelicht en naar achteren uit de container verplaatst moeten worden. Als hierbij geen doorn gebruikt wordt, maar de rollen eruit getrokken worden is de kans groot dat er beschadiging optreedt. Ook kan de kern uit de rol getrokken worden (trompetteren). Verder moet worden vermeden dat, als vrachtwagens zijdelings gelost worden, de rollen van de vrachtwagen afgerold worden en op de grond vallen. Hierbij kan de kern vervormen en/of het doek beschadigen. Bovendien kunnen er gevaarlijke situaties voor het lossende personeel ontstaan.

De kern van een rol geotextiel is meestal gemaakt van karton en heeft een diameter van 0,10 – 0,16 m. Bij transport en opslag moet rekening gehouden worden met de beperkte sterkte en stijfheid van deze kernen. Als ze nat geworden zijn zullen ze hun stijfheid verliezen en zal de rol vervormen. Wanneer er sprake is van een heel zware rol geotextiel, wordt ook een kunststof of stalen pijp als kern gebruikt. Deze is robuuster dan de kartonnen kern.

In de praktijk kunnen stukken geotextiel uit meerdere banen samengesteld worden tot een grote breedte (15 – 20 m). Er zijn zelfs projecten geweest waar stukken van 80 x 130 m toegepast zijn. Het voordeel van voorconfectioneren in de fabriek is dat kwalitatief betere naainaden gemaakt kunnen worden dan met de handnaaimachines op de bouwplaats. Als voorgeconfectioneerde stukken gebruikt worden, moet men er bij het opvouwen en oprollen op bedacht zijn dat geen scherp belaste naden en vouwen ontstaan.

Bij het hijsen van verzwaarde matten, zoals zand- en blokkenmatten, moeten de krachten gelijkmatig over het geotextiel worden verdeeld. Indien de maximaal toelaatbare trekkracht dreigt te worden overschreden, moet er versterking in het geotextiel of de ballast worden aangebracht.

Bij transport en opslag kunnen soms langdurig relatief hoge temperaturen ontstaan. Dit kan een effect hebben op de eigenschappen van het materiaal, zoals een teruggang in sterkte, rek en levensduur.

Extreem lage temperaturen kunnen ook van invloed zijn op de conditie van het materiaal. Polypropreen en polyetheen zullen bij temperaturen van meer dan 20 graden onder nul stijf en bros worden en breken.

Aandachtspunten bij aflevering van geotextielen op het werk:

- Controleer of de verpakking onbeschadigd is en voldoende bescherming biedt. Wanneer nodig moeten additionele maatregelen getroffen worden;
- Controleer of het materiaal onbeschadigd is;

- Controleer het geleverde materiaal tegen de productspecificaties en de bestekseisen. Controleer de leveringsbon, de etiketten en markering van de rol, de rolnummers en als het van toepassing is de fabrieksgegevens. Controleer in feite of geleverd is wat besteld is;
- Controleer visueel of er geen scherpe naden in het geotextiel zijn ontstaan, zonder het uit te pakken;
- Zorg dat de rollen geotextiel met zorg gelost worden, gebruik hefmaterieel met een doorn of gebruik 2 hijsbanden;
- In geen geval mogen de rollen aan de kern uit de container of vrachtwagen getrokken worden.

De opslag van geotextielen op de bouwplaats moet zodanig zijn dat omgevingsinvloeden geen nadelig effect hebben op het materiaal. De originele verpakking moet bij voorkeur zo lang mogelijk om de rollen blijven.

Contact met chemische stoffen die een nadelige invloed hebben op de eigenschappen, zoals in tabel 5 (hoofdstuk 2) aangegeven is, moet worden vermeden.

In geval van twijfel moet de kwaliteit d.m.v. testen gecontroleerd worden.

Het niet voldoen aan de hiervoor beschreven aandachtspunten kan leiden tot het afkeuren van de materialen.

Het aantal rollen dat op elkaar gestapeld mag worden is beperkt wegens het risico dat de kern ineenklaapt. Dit hangt af van het gewicht, de roldiameter en de soort kern (karton of staal). De leverancier kan aangeven hoeveel rollen maximaal op elkaar gestapeld mogen worden.

*Fig. 53
Opslag op de bouwplaats van
bentonietmatten afgedekt
met extra folie.*



*Fig. 54
Opslag op de bouwplaats van
vliezen in de fabrieksverpakking.*



Aandachtspunten bij opslag zijn:

- De ondergrond moet vlak en schoon zijn;
- De opslagplaats moet goed toegankelijk zijn voor werkmaterieel;
- De maximale stapelhoogte is productafhankelijk en kan door de leverancier worden aangegeven;
- Rollen moeten met een doorn of op 2 punten aangepikt vervoerd worden;
- Indien nodig moet het materiaal beschermd worden tegen weersinvloeden. Voorkom langdurige blootstelling aan UV straling;
- In geen geval mag de originele verpakking verwijderd worden.

Ook hier geldt dat het niet voldoen aan de hiervoor beschreven aandachtspunten, afkeuren van de materialen tot gevolg kan hebben.

5.3 Gereedmaken of prefabricage op het werk

Sommige geotextielen worden niet direct van de rol in het werk geïnstalleerd maar ondergaan eerst nog een voorbereiding. Dit kan het aaneennaaien tot grotere stukken zijn, bijvoorbeeld als onderdeel van een zinkstuk.

Deze prefabricage wordt meestal uitgevoerd op de bouwplaats. De oppervlakte van het werkterrein moet vlak zijn en er mogen geen scherpe voorwerpen meer in de grond zitten om het ontstaan van scheuren tijdens het verslepen van de mat tegen te gaan. Een zinkstuk wordt gemaakt op een zate aan de oever. Dit is een vlak hellend terrein dat overgaat in het water. Bij het slepen en afzinken van het zinkstuk dienen de krachten zoveel mogelijk gelijkmatig op het doek aan te grijpen. Dit kan worden gerealiseerd door het doek te verbinden aan een zogenaamde zinkbalk (zie 5.3.2) en daaraan te trekken. In geen geval mogen er puntbelastingen optreden die de maximaal toelaatbare belasting overschrijden.

Bij trekbelastingen dient men er rekening mee te houden dat er, met name voor weefsels, in langsricting soms een andere maximaal toelaatbare belasting geldt dan voor dwarsricting. De dwarsricting heeft vaak een lagere sterkte. Bij repeterend gebruik wordt het werkterrein vaak bedekt met geotextiel. Dit reduceert de frictie tussen het zinkstuk en de zatevloer -en dus de krachten- tijdens het te water trekken. Bovendien geeft de afdekking

met geotextiel een schone werkvloer, waardoor het te naaien doek niet vervuult met bijvoorbeeld zand. Dit komt de kwaliteit van de naainaad en de levensduur van naaimachines ten goede.

Uitgevouwen doek, groot of klein, is erg vatbaar voor wind. Door de grote krachten die hiermee gepaard gaan kunnen hachelijke situaties ontstaan. Tijdens werken onder windige omstandigheden dienen de aangewaide randen aaneengesloten belast te worden.

Fig. 55
Wind onder geprefabriceerd
doek



5.3.1 Grotere secties zonder ballast

Een methode die vaak toegepast wordt is het aan elkaar naaien van enkele banen geotextiel door middel van naainaden aan de zijkant van de banen. Zo ontstaat een paneel met een breedte van enkele baanbreedtes. Zo kan sneller gewerkt worden en het aantal overlappen verminderen.

Fig. 56
Installatie



Soms is het samenstellen van grote panelen ook een ontwerpeis. Het naaien wordt meestal uitgevoerd met handnaaimachines, ook wel bekend als zakkennaaimachines. Hiermee kan een eenvoudige naainaad gelegd worden. Bij weefsels wordt de naainaad bij voorkeur in de zelfkant van het doek gelegd om een sterktereductie van het doek te voorkomen. Als er geen zelfkant is, wordt de sterkte van de naad minder omdat de verankering van de weefseldraden dan minder is.

Gangbare naainaden zullen in bijna alle gevallen leiden tot een reductie van de treksterkte van het doek ter plaatse van de naainaad in een richting loodrecht op de naainaad. Dit komt omdat het onmogelijk is door middel van een naainaad alle garens door te koppelen,

effectief treedt er dus sterkteverlies op over de naaiaad. Afhankelijk van type naald, doek, garen en naaiaad en van de steekafstand kan dat tot 50% oplopen! Hier dient bij ontwerp en uitvoering rekening mee gehouden te worden.

Ook belastingen in de langsrichting van de naaiaad kunnen de naaiaad doen bezwijken. Vooral als de rek van (het garen in) de naaiaad minder is dan dat van het doek, 'trekt' de naad de spanningen naar zich toe en zal eerder bezwijken dan het doek.

Niet zelden moet de naaiaad ook aan een minimale zanddichtheidseis voldoen.

Er zijn vele soorten naaiaad, garen en naadconfiguraties mogelijk. In alle gevallen zal bijzondere aandacht besteed moeten worden aan de kwaliteit ervan. Een incidentele onvolkomenheid kan eenvoudig leiden tot het bezwijken van de volledige naaiaad (ritseffect).

Het naaien wordt door een groep van 2 tot 3 man gedaan waarbij 1 man naait en de ander(en) het doek invoeren en opvangen, zie figuur 57 en figuur 58.

Fig. 57

Het handmatig stikken van banen geotextiel. Belangrijk zijn: recht naaien en op een gelijkmatige afstand van de rand.



Fig. 58

Het maken van een naaiaad.



Fig. 59
Prefabriceren en afzinken
in Hong Kong.



Fig. 60
Clydebank.



Ook wordt soms de prefabricage uitgevoerd aan boord van een bak of ponton, zie figuur 59.

Als het doek tot grote panelen is samengesteld, kan het opgerold of opgevouwen naar de bouwplaats gebracht worden.

Soms wordt de prefabricage op een zig-zag manier gedaan. Dan wordt elke keer een nieuwe baan geotextiel uitgerold bovenop een al liggende baan. Vervolgens wordt één zijkant van de bovenste baan aan die van de al liggende baan vastgenaaid. Daarna wordt een nieuwe laag erover uitgerold en weer aan de andere zijkant vastgenaaid. Zo is maar een smalle werkvloer nodig en loopt men met de naaimachine steeds langs de zijkant van de lagen. Er ontstaat vanzelf een breed stuk samengesteld doek dat in dwarsrichting harmonica-gewijs gestapeld is en een gelijke breedte heeft als de rol.

Een meerlaags paneel laat zich in langsrichting niet gemakkelijk oprollen door het verschil in diameter van de onderste en bovenste laag. Voor transportdoeleinden wordt een dergelijk samengesteld paneel meestal dan ook in langsrichting opgevouwen, zie figuur 60.

5.3.2 Zinkstukken

Geotextielen als filter- en/of krachtenverdelende laag op een onderwater bodem of oever worden bodem- of kraagstuk genoemd (verzamelnaam is zinkstukken) en bestaan uit een geotextiel waaraan wiepen vastgeknoopt zijn die zo een stabiel, drijvend geheel vormen. In

het geotextiel zijn op een regelmatig stramien lussen aangebracht, waaraan met behulp van sjorringtouw de wiepen geknoopt kunnen worden. Met de huidige stand der techniek kan uitsluitend een weefsel worden voorzien van lussen. De functie van het wiepenrooster is het zinkstuk stijfheid en drijfvermogen te geven tijdens het transport en afzinken. Verder zorgt het rooster ervoor dat het granulair materiaal dat als ballast gebruikt wordt, op zijn plaats blijft en er niet vanaf kan rollen tijdens het bestorten. De wiepen die een doorsnede van 10 tot 16 cm hebben, worden kruislings op 1 tot 1,5 m hart op hart. aangebracht.

Bovenop het geotextiel wordt vaak een extra laag 'opofferings' doek aangebracht dat niet meedoet in de sterkte, maar tijdens de bestorting het onderliggende geotextiel beschermt tegen het vallende granulair materiaal. Om het wiepenrooster toch aan de lussen van het onderste doek te kunnen knopen, wordt het opofferingsdoek op hetzelfde stramien als de lussen doorsneden, en wordt het sjorringtouw erdoor gevoerd.

*Fig. 61
Oeververdediging bij rivierdijk
langs Oder in Polen.*



Een zinkstuk wordt gemaakt op een flauw naar het water aflopend terrein, de zate genaamd en wordt als het gereed is door middel van een sleepboot van de zate afgetrokken. Ten behoeve van het slepen en afzinken wordt aan de kopse kant van het zinkstuk een zinkbalk bevestigd. Aan de zijde tegenover de zinkbalk wordt meestal een zgn. staartbalk bevestigd.

Om de krachten gelijkmatig over het doek te verdelen, moet het op een veelheid van punten met een interval van hoogstens 1 m, gekoppeld worden aan beide balken. Meestal wordt een aaneengesloten mechanische koppeling, zoals een balg, gebruikt. Voor de koppeling wordt een stuk van 1 tot 2 m vrij van wiepen gehouden.

*Fig. 62
Lussen in geotextiel om wiepen
vast te kunnen maken.*



*Fig. 63
Zinkbalk en overlap details
bij een zinkstuk.*



Zink- en vooral kraagstukken worden ook vaak in eindpositie samengesteld, bijvoorbeeld tijdens een laagwaterperiode, zie figuur 64 tot en met figuur 66 .

*Fig. 64
Steken lussen door geotextiel.*



*Fig. 65
Bevestigen wiepen aan
geotextiel.*



*Fig. 66
Het vervaardigen van een
kraagstuk ten behoeve van de
dijkverzwaring bij Ablasserdam.*



5.3.3 Vaste ballastmatten

Vaste ballastmatten worden over het algemeen in fabrieksmatig geprefabriceerde vorm op het werk aangevoerd. Een blokkenmat bestaat uit een geotextiel met daaraan door middel van ingestorte pennen of lussen verbonden betonblokken (zie figuur 67 tot en met figuur 69).

De blokkenmatten worden meestal met behulp van een kraan (van transportmiddel, schip of vrachtwagen, getild en) direct in het werk aangebracht. Ook kunnen ze met behulp van een ponton geplaatst worden. Tijdens de Deltawerken zijn veel blokkenmatten gebruikt die op grote rollen gewikkeld werden en zo als grote eenheden geplaatst werden. Er zijn ook blokkenmatten waarbij de blokken door middel van kabels aan elkaar verbonden zijn. Deze hebben tijdens het leggen een grotere stabiliteit dan blokkenmatten die enkel aan een geotextiel verbonden zijn. Deze kabels moeten na het leggen meestal verwijderd worden.

*Fig. 67
Hijzen blokkenmat*



*Fig. 68
Detail blokkenmat*



*Fig. 69
Aangebrachte blokkenmatten.*

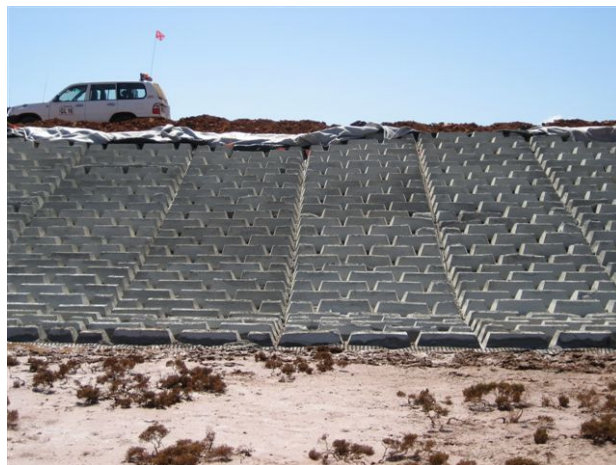


Fig. 70
Plaatsing van blokkenmatten.

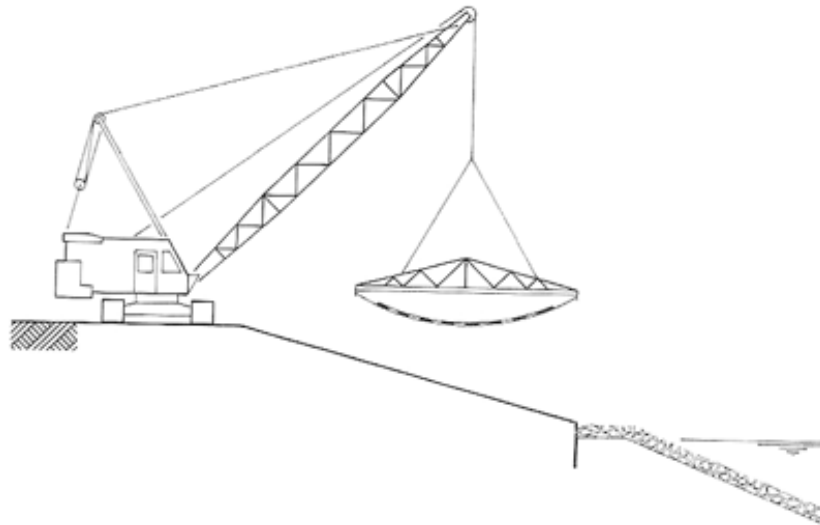


Fig. 71
Aanbrengen van een
geprefabriceerde filtermat
op de bodem.

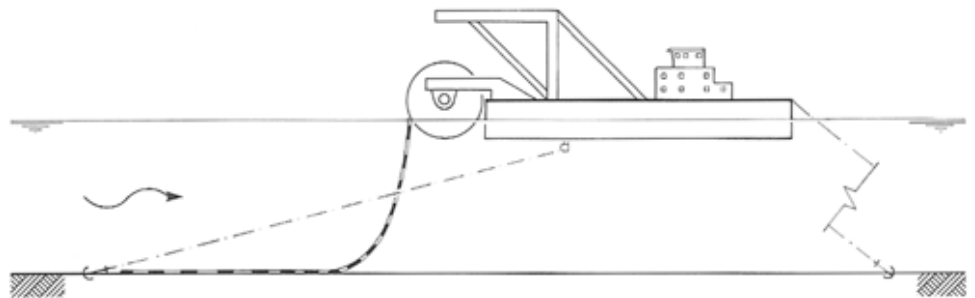


Fig. 72
Vervaardigen van een open
steenafaltmat.



Bij steenasfaltmatten wordt op de ondergrond een bekisting opgesteld. Allereerst worden kabels of banden op de ondergrond gelegd, dan wordt het doek gespreid en vervolgens het steenasfalt aangebracht. Soms wordt een wapeningsnet in de asfaltlaag aangebracht om trekspanningen tijdens transport en plaatsing op te nemen (zie figuur 72). Het asfalt wordt warm verwerkt. Om beschadigingen te voorkomen, mag de temperatuur van het asfalt, afhankelijk van doekmateriaal (meestal polypropeen) niet hoger zijn dan circa 130°C.

Korte matten, kleiner dan ongeveer 7 m, kunnen na voorspanning in het doek, aan het doek zelf worden opgepakt. Bij langere matten zorgen de draagkabels voor het transport.

Hierbij hangt het geheel in een kraan of bok aan een speciaal frame. Bij zeer grote matten worden de kabels aan een hijsframe bevestigd.

Geomatten of zandmatrassen zijn platte elementen van geotextiel, meestal gevuld met zand. In de matten is fabrieksmatig een compartimentering aangebracht in de vorm van cellen of buizen om een gelijkmatige verdeling van het vulmateriaal te garanderen en verplaatsing van het vulmateriaal tijdens de gebruiksfase tegen te gaan.

Zij worden gemaakt van weefsels, vliezen of composieten. De wijze van vullen en van installeren is van grote invloed op de keuze van het geotextiel. Meestal wordt de mat in het werk gevuld, dit kan hydraulisch of pneumatisch gebeuren. Het pneumatisch vullen van zandmatten, kan alleen boven water geschieden. Op een talud wordt dit meestal in lijn met de eindpositie boven de waterspiegel gedaan. Na het vullen wordt de mat, gekoppeld aan een trekbal, in eindpositie getrokken. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het ballastgewicht.

Matten die hydraulisch gevuld worden, kunnen eventueel in eindpositie worden gevuld.

Meerdere banen geotextiel worden aan elkaar genaaid om zo geprefabriceerde grotere stukken te krijgen.

Fig. 73
Zandmatrassen.



Fig. 74
Zandmatrassen



Geomatten worden toegepast als oeverbescherming langs rivieren en kanalen. Geomatten worden met name toegepast in landen waar geen natuurlijke materialen voor oeverbescherming (blokken of rotsmateriaal) aanwezig zijn en/of geschoold personeel ontbreekt om filterbekledingen of vergelijkbare constructies te maken.

Wanneer gekozen wordt voor het toepassen van geomatten, zal men deze in veel gevallen rechtstreeks aanbrengen op een al dan niet geprepareerde ondergrond.

De buizen of 'worsten' van de geomat kunnen zowel verticaal als horizontaal op het talud worden aangebracht.

Aandachtspunten bij prefabricage zijn:

- Gebruik een juk om de rollen af te rollen, indien stukken van een rol afgesneden moeten worden.
- Zorg voor duidelijke identificatie als aangebroken rollen weer in de opslag gelegd worden.
- Prepareer een vlak en schoon werkterrein, zonder scherpe elementen.
- Snij de rollen af gebruikmakend van een elektrisch "heet mes" ("seal bout"). Dit voorkomt verder rafelen van de afgesneden kanten.
- Zorg voor voldoende ruimte om naainaden te kunnen maken.
- Naai zoveel mogelijk in de zelfkant van het weefsel.
- Maak een duidelijk plan hoe prefabricage gedaan moet worden en hoe het geprefabriceerde element vervoerd wordt.
- Zorg voor tijdelijke belasting van het geprefabriceerde stuk om opwaaien te voorkomen.
- Houd er rekening mee dat door het vullen van de matten de effectieve breedte afneemt.

5.4 Plaatsing en uitvoering

In veel gevallen wordt geotextiel tijdens de inbouwfase het zwaarst belast. Daarom moet de werkmethode worden afgestemd op het geotextiel of de keuze van het geotextiel moet worden afgestemd op de werkmethode.

Tijdens het ontwerp moet hiermee rekening worden gehouden. In sommige gevallen zullen de uitvoeringseisen zwaarder kunnen wegen dan de theoretische ontwerpseisen, zoals bij de toepassing van geotextielen afgedekt met granulair materiaal.

Omdat de uitvoeringsfase vaak de fase is met de zwaarste belastingen, zie ook paragraaf 5.1, is deze ook belangrijk voor het ontwerp.

Het aanbrengen van bestortingsmateriaal moet met zorg worden uitgevoerd. Vallend en schuivend granulair materiaal kan het doek ernstig beschadigen.

Ook het bewerken van de bestortingslaag met mechanische middelen, zoals een graafbak, is zeer risicovol. Hetzelfde geldt voor het berijden met wiel- en rupsvoertuigen.

Soms wordt er gebruik gemaakt van een composiet geotextiel, bestaande uit constructieve laag en een tweede erop bevestigde opofferingslaag. De opofferingslaag biedt bescherming aan de constructieve laag tijdens het aanbrengen van bestortingsmateriaal. Er

moet wel op gelet worden of de combinatie van de twee nog voldoet aan de zanddichtheids- en waterdoorlatendheidseis. De grote rek van de opofferingslaag voorkomt dat er hierin scheuren ontstaan.

Op basis van de ervaringen en de analyse van schadegevallen [58] is geconcludeerd dat het dumpen van granulair materiaal in veel gevallen leidt tot schade en daarom moet hieraan tijdens ontwerp en uitvoering veel aandacht worden besteed, zie ook 3.5.4.

Bij een filterconstructie zal een overlap altijd aan de filtereisen moeten voldoen. De breedte van de overlap zal hierop moeten worden afgestemd. De breedte moet ook eventuele inbouw onnauwkeurigheden afdekken (zie 3.9.4)

Zinkstukken worden altijd in den natte aangebracht. Geotextielen in gloopingsconstructies worden boven laag water niveau in den droge aangebracht.

In deze paragraaf komen de volgende onderdelen aan bod:

- glooping- en oeverconstructies (5.4.1);
- bodem en oeververdediging (5.4.2);
- geosystemen (5.4.3);
- erosiebescherming van taluds, lichte oeverbescherming (5.4.4);
- overgangsconstructies (5.4.5).

5.4.1 **Glooping- en oeverconstructies**

Uitrollen van boven naar beneden

Bij een gloopingsconstructie wordt een geotextiel meestal direct op het boven laagwater gelegen talud van een dijk of dam gelegd.

Het geotextiel wordt in enkele banen of samengestelde panelen geplaatst. De panelen worden met grondlichte overlappen van 0,5 m op de vorige baan aangebracht. Meestal wordt de vooraf bepaalde lengte op een aparte rol gewikkeld. Aan de bovenkant wordt het geotextiel verankerd, waarna de rol op het talud van boven naar beneden beheersbaar wordt afgewikkeld.

Als het talud lang is en zich ook (gedeeltelijk) onder water bevindt, zal meestal het geotextiel van boven naar beneden over het talud aangebracht worden. Dit kan gedaan worden met enkele banen van 5 – 6 m breed met overlappen van 0,5 m tussen de banen. Meestal wordt vooraf de lengte van de baan afgesneden van de rol en op een aparte rol gewikkeld. Deze rol wordt op het talud van boven naar beneden afgewikkeld, waarbij gestuurd kan worden m.b.v. lieren. Aan de bovenkant wordt het geotextiel vastgehouden (verzwaard of tussen beschermingsmateriaal onder de tracks van de kraan). De rol wordt afgerold en er wordt ballast op het ondereind en gedeeltelijk op het talud aangebracht. De stalen kernrol komt aan het eind vrij en daar hij verbonden is met een kleine boei kan hij weer eenvoudig uit het water gevist worden.

Fig. 75
 Profileren talud met behulp
 van profileer-computer.



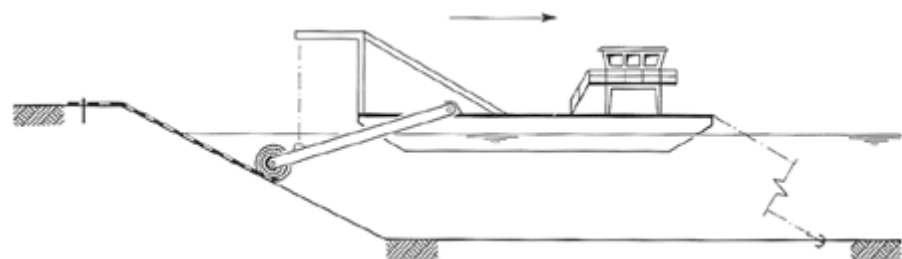
Fig. 76
 Zuiderzeedijk te Hem.



Voor het plaatsen van geotextiel op lange taluds kan gebruik gemaakt worden van een ponton. De ballast kan dan vanaf het water door een kraan of met zijlossers aangebracht worden, zie figuur 77.

Bij grote werken wordt soms gebruik gemaakt van een combinatie van beide systemen.

Fig. 77
 Uitrollen van geotextiel op
 een talud [4].



Direct na het aanbrengen moet een verzwaring aangebracht worden om het doek in wind te stabiliseren.

Horizontaal uitrollen

Bij kortere taluds worden de geotextielen vaak horizontaal uitgerold, zie figuur 78 en figuur 79. Het voordeel is dan dat er minder overlappen nodig zijn en dus minder geotextiel. Een nadeel is dat het geotextiel moeilijk te verankeren is.

*Fig. 78
Voorbeeld van een goede
overlap van banen geotextiel
in de waterbouw.
Het lager gelegen geotextiel
ligt over het hoger op het
talud liggende geotextiel.*



*Fig. 79
Aanbrengen van een geotextiel
in de oever met een evenaar
zoals het hoort.*



Bij over het talud afgerolde banen zal de overlaprichting bij voorkeur met de (belangrijkste) stroming mee zijn.

Functioneel gesproken dient, om uitspoeling van de onderlaag tussen de beide geotextielen te voorkomen, de overlap van de onderste baan over de erboven liggende baan te worden gelegd. Vanwege de uitvoeringsaspecten wordt vaak de omgekeerde vorm gekozen, omdat bij het aanbrengen van bestorting in het eerste geval de bovenliggende overlap naar beneden kan schuiven en er plaatselijk niet voldoende overlap overblijft. De ontwerper zal een keuze moeten maken tussen deze twee oplossingen.

Aanbrengen van granulair materiaal

Op het geotextiel wordt vaak een laag fijn granulair materiaal aangebracht. Behalve als filter heeft deze laag ook een beschermingsfunctie bij het aanbrengen van een volgende laag van zwaar granulair materiaal. Tevens dient het als drukverdelende laag.

Deze laag fijn granulair materiaal moet voorzichtig aangebracht worden. De laagdikte is meestal 3 keer de diameter / grootte van de steen.

Als het hoekig materiaal is, moet vermeden worden dat de laag uitgevlakt wordt door met de bak van de kraan het materiaal over het talud te schuiven. De stenen kunnen tijdens dit schuiven in het geotextiel haken en zo scheuren veroorzaken. Het is beter dat de laag fijn granulair materiaal wat ongelijkmatig verdeeld over het talud ligt, dan dat het mooi uitgevlakt is en er scheuren in het geotextiel ontstaan zijn.

Het granulair materiaal zal boven water met behulp van een kraan en onder water vanaf een bak aangebracht worden.

Het effect van dumpen van zwaarder granulair materiaal heeft grote invloed op het goed functioneren van de constructie (als er scheuren in de mat ontstaan is er niets aan de hand zolang de steen het gat blijft afdekken, maar zodra de steen gaat bewegen of rollen onder invloed van de golven kan ontzanding plaats vinden). Bij twijfel is het beter de rek-eisen aan het geotextiel aan te passen en voor een zwaarder geotextiel te kiezen.

Bij grotere werken loont het de werkmethode, de valhoogte en het type geotextiel op elkaar af te stemmen. Een klasse zwaarder geotextiel is vaak veel goedkoper dan een meer gecompliceerde en langzamere installatiemethode.

Als bijvoorbeeld de ondergrond wat minder goed verdicht is en granulair materiaal met een gewicht van 10/60 kg met een valhoogte van ca 0,5 m op het talud gestort wordt is met een weefsel van 200 gr/m² al scheurvorming te verwachten. Ervaringscijfers hebben dit bij herhaling aangetoond. Overigens geven verschillende auteurs verschillende eigenschappen die van belang zijn om de sterkte van het geotextiel te bepalen. In Scandinavië wordt vaak berekend wat de energie is die nodig is om het geotextiel te laten scheuren, gedefinieerd als de helft van het product van de maximale rek en de maximale trekspanning. Andere auteurs vergelijken met het gewicht van het geotextiel, zoals hier is gedaan. Dit laatste zal alleen geldig zijn voor vergelijkbare typen textiel met dezelfde polymeer.

Als veilige richtlijn is te gebruiken voor polypropreen weefsel:

- Granulair materiaal 10/60 kg;
- maximale valhoogte 0,75 m, minimaal doekgewicht 300 gr/m², breukrek > 25%;
- maximale valhoogte 1,50 m, minimaal doekgewicht 600 gr/m², breukrek > 25%;

Een andere oplossing is de plaatsing van een tussenlaag van granulair materiaal direct op het geotextiel en onder de stortsteen. Ook dit kan een kostbaarder oplossing zijn dan het optimaliseren van de eigenschappen van het geotextiel.

Een derde oplossing is gebruik te maken van een composiet geotextiel, bestaande uit een vlies en een eraan genaaid weefsel. Het vlies kan licht zijn en hoeft alleen de zanddichtheidseis en waterdoorlatendheidseis te vervullen. De grote rek van het vlies zorgt ervoor dat er geen scheuren in ontstaan. Het weefsel heeft een functie om de nodige kracht te leveren tegen de effecten van het dumpen van de steen.

Aandachtspunten bij glooiingen zijn:

- De kraan die de stenen aanbrengt mag nooit direct op het geotextiel of op een dunne laag materiaal dat op het geotextiel ligt staan. Dit is vooral van belang bij grote taludlengtes. De reikwijdte van de giek kan bepalend zijn voor de constructiemethode.
- De stenen mogen nooit van grotere hoogte gedumpt worden direct op het geotextiel of op de vlijlaag. Er zijn regels voor de zwaarte van de stenen, de maximale valhoogte boven en onder water en de eigenschappen van het geotextiel.

- Bij een overlap doek op doek moet gezorgd worden dat er tijdens de uitvoering nooit stenen tussen de lagen geotextiel komen.
- De laag granulair materiaal mag nooit uitgevlakt worden met de bak van de kraan door schrapend naar boven te trekken. In geval van dunne lagen en of scherpe kanten van stenen kan dit direct tot beschadiging van het doek leiden.
- Als de ondergrond gemakkelijk vervormt of als de valhoogte hoger moet zijn bij een bepaald steengewicht, kan dit opgelost worden door een granulaire tussenlaag toe te passen en zo de impact op het geotextiel op te vangen.
- Een laag dunne wilgentenen of een op een weefsel gestikt licht vlies als beschermingslaag helpt niet om de impact van de vallende stenen te verminderen en dus de schade te beperken bij samendrukbare of slecht verdichte grond.
- Een onvoldoende verdichte zand ondergrond kan verweking van het zand tot gevolg hebben onder invloed van de dynamische golfbelasting. Vervorming onder een S-profiel kan het gevolg zijn. Dit kan weer leiden tot grote vervormingen en daardoor grote spanningen in het doek. Hierdoor kan bezwijken van het doek het gevolg zijn.
- Zorg moet besteed worden aan de zanddichtheid van alle aansluitingen van het geotextiel aan vaste constructiedelen, zoals de teenconstructie, de aansluiting op bijvoorbeeld een damwandconstructie die onderdeel uitmaakt van de glooiingsconstructie. Hier moet uitspoeling van zand te allen tijde voorkomen worden. Het zou weer tot ontgrondingskuilen onder het geotextiel kunnen leiden en plaatselijk bezwijken ervan.
- Als naainaden toegepast worden moet men ervan uitgaan dat ter plaatse van de naainaad een stijvere band is ontstaan. Als er vervorming van de ondergrond ontstaat, kan dit tot spanningsconcentraties leiden en tot scheurvorming.
- Tijdens ontwerp en uitvoering moet altijd uitgegaan worden van vervormingen in de ondergrond die zich tijdens de gebruiksfase kunnen voordoen. Er moet altijd voldoende flexibiliteit in de geotextiel constructie zitten om deze vervormingen zonder spanningsconcentraties op te kunnen nemen.
- Een weefsel met een vlies composiet zou een goede oplossing kunnen zijn voor de scheurvorming in het geotextiel, als het vlies met zijn grote breukrek onderop ligt en het weefsel met zijn hoge sterkte en beperkte breukrek bovenop. Het vlies moet dan als filterlaag ontworpen zijn en het weefsel functioneert als impact opnemende laag die eventueel mag scheuren.
- Gezorgd moet worden dat het geotextiel goed aansluit op de ondergrond. Als de ondergrond niet vlak is, hoeft het geotextiel ook niet vlak en strak te liggen, als het maar aansluit aan de ondergrond.
- In geval van toepassing van gietasfalt in de overgangsconstructie moet de temperatuur van het gietasfalt bij aanbrengen zodanig zijn dat alle holten goed gevuld worden. Controle hierop is van belang. Gelet moet worden op de smelttemperatuur van het geotextiel. (zie 2.7.7) Als het gietasfalt bij een hogere temperatuur heeft dan de smelttemperatuur van het geotextiel zal dit smelten of vervormen als het met elkaar in aanraking komt. Het kan dan niet meer als effectief filter functioneren.

5.4.2 Bodem en oeververdediging

In onderstaande tekst worden de volgende onderdelen verder uitgediept:

1. Zinkstukken;
2. Nat plaatsen van geotextiel;
3. Vaste ballastmatten.

*Fig. 80
Slepen zinkstuk.*



*Fig. 81
Zinkstuk in positie brengen
ter plaatse van afzinkplaats.*



Ad 1 Zinkstukken

Na het te water trekken wordt het zinkstuk aan de zinkbalk naar de afzinkplaats gesleept (zie figuur 80 tot en met figuur 83).

*Fig. 82
Overlap en markering bij
zinkstuk.*



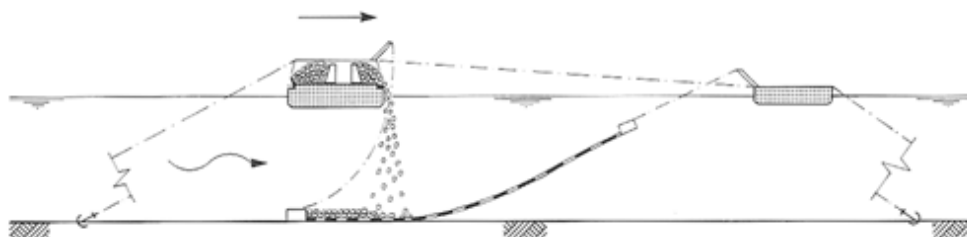
Fig. 83
Zinkstuk op de zate.



Veel gebruikte methoden voor het afzinken van een zinkstuk zijn:

- zinken met behulp van twee afzinkpontons en een steenstorter;
- zinken met behulp van een afzinkponton en een steenstorter of drijvende kraan (zie figuur 84).

Fig. 84
Plaatsing van een zinkstuk
met een afzinkponton en
steenstorter.



Het principe van beide methoden is hetzelfde. Van één zijde wordt de zinkbalk op de bodem gebracht. Vervolgens wordt het zinkstuk vanaf één zijde bestort, waarbij vanaf het andere ponton de staartbalk met lieren min of meer gestrekt wordt gehouden. Zodoende wordt het zinkstuk in positie gehouden en voorkomen dat het zinkstuk tijdens het afzinken dubbelslaat.

De tweede methode is in principe gelijk aan de eerste, maar er wordt een vaartuig uitgespaard.

In beide gevallen moet het water diep genoeg zijn om met het bestortingswerktuig over de zinkbalk (1 à 1,5 m) en zinkstuk te kunnen bewegen.

Het afzinken gebeurt bij voorkeur tijdens de kentering. Bij zwakke stroming wordt met het afzinken aan de bovenstroomse zijde begonnen. Het afzinken dwars op de stroomrichting moet worden vermeden.

Het afzinken gebeurt door op gecontroleerde wijze granulair materiaal op het zinkstuk te brengen. Hiervoor is in de meeste gevallen een hoeveelheid van 150 - 200 kg/m² granulaire materiaal al voldoende. Een grotere hoeveelheid kan leiden tot dubbelklappen, een kleinere hoeveelheid kan leiden tot instabiliteit in golven en stroom. Voor de relatie tussen granulaire materiaalafmetingen, doekgewicht en valhoogte, zie hierboven of paragraaf 3.5.4.

Na het afzinken worden zink- en staartbalk losgekoppeld en naar de oppervlakte gebracht, waarna ze opnieuw kunnen worden gebruikt.

Het granulair materiaal dat als ballast gestort wordt, kan ook beschadiging aan het doek veroorzaken. Om de impact van vallende steen op geotextiel te verminderen wordt aanbevolen om strooiend in plaats van bulk te storten.

*Fig. 85
Laag granulair materiaal op
een zinkstuk.*



*Fig. 86
Bestorten kraagstuk.*

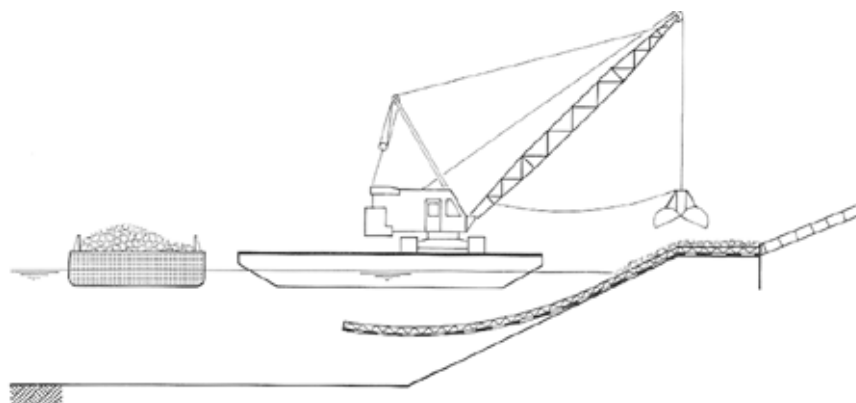


De kopse kant van een kraagstuk kan met een kraan op of tegen de oever worden getrokken. Het zinkstuk kan ook drijvend in positie worden gebracht, waarna het tijdens vallend water verebt. Langere stukken kunnen met een staartbalk tijdens het afzinken gestrekt worden gehouden. Het afstorten van het kraagstuk gebeurt vanaf de oever richting diep water.

De toe te passen overlapgrootte van zinkstukken hangt af van de plaatsings- en meetnauwkeurigheid, in de praktijk betekent dit een overlapgrootte die varieert van 1,00 tot 2,50 m. Het onderste deel van een overlap wordt soms niet voorzien van wiepen.

Soms wordt een geotextiel dat in den droge op een talud aangebracht wordt, verder afgerold tot in het water. Zo functioneert het dan ook gedeeltelijk als een kraagstuk.

Fig. 87
Plaatsing van een kraagstuk.



Bij zinkstukken is het moeilijk om de overlap stabiel en vlak op de bodem te krijgen en te houden totdat het volgende stuk eroverheen geplaatst is. De overlapsectie van het zinkstuk wordt soms niet voorzien van wiepen maar verstijfd met latten.

Belangrijke aandachtspunten bij zinkstukken:

- Zorg dat de zate vlak en vrij van scherpe delen is.
- Pas zo min mogelijk naaiverbindingen toe
- Pas geen einde-rol naainaden in de buitenste segmenten toe.
- Maak een goede verdeling van de sleeptrossen aan de voorkant van het zinkstuk als geen zinkbalk gebruikt kan worden bij het afslepen van de zate. Zorg dat het zinkstuk en het geotextiel gelijkmatig belast worden.
- Het roosterwerk van wiepen moet ca 1 – 2 m van de rand van het geotextiel eindigen, zodat de zinkbalk of evenaar hier goed aan bevestigd kan worden.
- Bij toepassing van kleine stenen moeten de wiepen die dwars op de taludhelling liggen, onderop liggen. Bij grote stenen moeten de wiepen andersom liggen. Dit is belangrijk om rollen van de stenen tegen te gaan.
- Zorg dat de overlappen van 1 m ook na plaatsing aanwezig zijn. Maak passtukken voor bochten en rondingen. Zorg dat de overlapgrootte aangepast is aan de nauwkeurigheid van plaatsen.
- Als zwaardere granulair materiaal dan 10/60 kg in de toplaag gebruikt moet worden, moet het geotextiel beschermd worden. Dit kan door middel van een uitvullaag van rijshout op het weefsel. Het afzinken (aan de grond brengen) van het zinkstuk mag met granulair materiaal maximaal 10/60 kg. Dan moet er nog gecontroleerd worden of de storthoogte niet te groot is. Als de ondergrond samendrukbaar is en het granulaire materiaal te zwaar, kan in bepaalde gevallen de bescherming door rijshout, riet of vlies onvoldoende zijn.
- Om de impact van vallende steen op geotextiel te verminderen wordt aanbevolen om strooiend in plaats van bulk te storten.

Ad 2 Nat plaatsen van geotextiel

In een veel toegepaste methode wordt een voorgeconfectioneerd paneel op een pijp gewikkeld. Deze pijp wordt in startpositie gebracht, waarna de kopse kant van het doek wordt verankerd, meestal met bestortingsmateriaal. Vervolgens wordt de rol stapsgewijs over de bodem afgerold. Bij elke stap wordt op het afgerolde deel ballastmateriaal aangebracht. Deze methode is relatief ongevoelig voor stroming. De positionering van de rol

voordat met afrollen begonnen wordt, is heel belangrijk, omdat tijdens het afrollen geen correctiemogelijkheid van afwijkingen meer mogelijk is.

Daarnaast vergt een ondergrond bestaande uit slappere lagen extra aandacht. Bij dit type ondergrond moet een eerste gewichtslaag zo gelijkmatig mogelijk aangebracht worden. Dit kan bijvoorbeeld door gelijkmatig zand te sproeien onder water.

Een andere manier van plaatsen is het assembleren van het geotextiel op een ponton. De rollen geotextiel staan naast elkaar op afroljukken op de ponton. De ponton wordt langzaam verhaald en het geotextiel rolt langzaam af. Tijdens het afrollen worden de zijkanen van het geotextiel aan elkaar genaaid. Het geotextiel heeft een laag soortelijk gewicht en zal dus niet snel zinken. Daarom worden er op regelmatige afstand blokjes beton aan gebonden om zodoende een snelle afzinking en de eerste ballast te verkrijgen. Het is nu ook belangrijk dat het geotextiel vlak en strak op de bodem komt te liggen. Dit kan verzekerd worden door gebruik te maken van staalkabels die tussen 2 ballast blokken aan het einde van een afzinklengte geplaatst zijn. De kabels zijn op iets grotere afstand van elkaar gespannen dan de breedte van het te leggen geotextiel. Aan de zijkant van het geotextiel zijn losse stukken koord gemaakt met haken eraan. Door het gewicht van de betonblokjes zakt het geotextiel vrijwel verticaal in het water. Onder water worden door duikers de stukken touw met haak om de staalkabel geklikt, hierdoor wordt het geotextiel in breedte richting strak gehouden, totdat de eerste ballastlaag het verankert.

De overlappen kunnen op deze manier goed gecontroleerd uitgevoerd worden.

Dit is een snelle installatiemethode die een aantal keren in Hong Kong en India uitgevoerd is. Natuurlijk mag de stroming tijdens de installatie maar gering zijn en ook lukt deze methode alleen in beschut water.

Aandachtspunten bij het direct afzinken van geotextiel:

- Zorg voor een goed logistiek proces omdat als er iets met één rol is het hele installatieproces stil staat.
- Goede controle van de naainad tijdens de uitvoering is belangrijk.
- De afzinkmethode moet beproefd zijn, anders moet eerst in een pilot ervaring met de methode opgedaan worden.
- De duikers moeten zorgen voor goede verankering van de matten.
- Er mag niet te veel stroming ontstaan en nooit komend van onder de ponton.
- De bevestiging van de betonblokjes moet stabiel zijn en mag geen scheuren veroorzaken.
- Het dek en de zijkant van de ponton moeten glad en zonder scherpe elementen zijn.
- Bij afzinken met een zinkrol moet zeer nauwkeurige plaatsbepaling van de zinkrol voor afrollen plaatsvinden.
- Snel na het (gedeeltelijk) afrollen van de mat moet begonnen worden met het ballasten.
- Bij slappe bodem moeten grote deformaties in de ondergrond vermeden worden en moet zand als ballastmateriaal gebruikt worden. Dit zand moet dan zeer gelijkmatig aangebracht worden.

Fig. 88
Afzinken geotextiel in
Hong Kong.



Fig. 89
Afzinken geotextiel in
Hong Kong.



Ad 3 Vaste ballastmatten

Geprefabriceerde matten kunnen zowel boven als onder water worden toegepast als talud- en bodembescherming.

Er bestaan drie methoden om geprefabriceerde matten aan te brengen:

- Aanbrengen door middel van een kraan. De mat hangt aan een speciaal daarvoor ontworpen frame (zie figuur 90). Afhankelijk van de locatie waar de mat moet worden geplaatst, staat de kraan op de oever of op een ponton. Bij lichte matten kan de mat aan het doek worden opgepakt. Bij zware matten zijn kabels of banden noodzakelijk. De mat hangt hierbij aan een frame, waarbij ervoor moet worden gezorgd dat de kromtestraal niet te groot wordt. Bij zeer zware matten zou de kromtestraal te groot kunnen worden; de mat moet dan vlak worden opgepakt door middel van kabels die aan hijsogen in de mat zijn bevestigd.
- Aanbrengen door de mat van een vlak kantelbaar platform te laten afglijden. Deze methode heeft het voordeel dat grote matten in één keer kunnen worden aangebracht. Hierbij is de beheersbaarheid van de plaatsing tijdens het afschuiven belangrijk.
- Plaatsing door afrollen vanaf een grote cilinder. Deze methode wordt toegepast bij grootschalige en speciale projecten, zoals bij de bouw van de Stormvloedkering in de Oosterschelde. Met deze methode kunnen zeer lange matten (bij voorbeeld 275 m) worden aangebracht (zie figuur 91).

Fig. 90
Plaatsing van blokkenmatten.

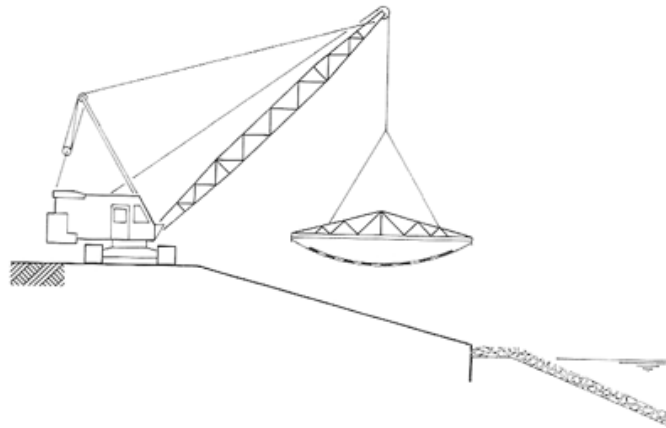
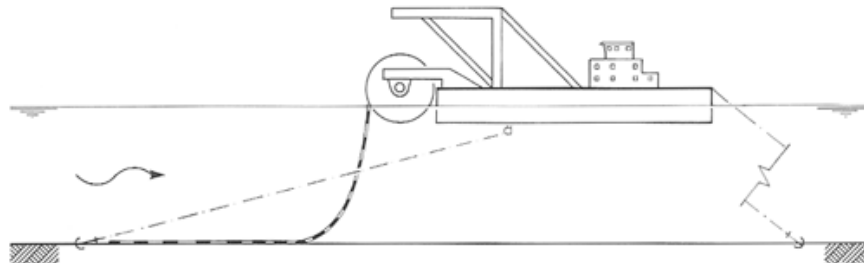


Fig. 91
Aanbrengen van een
geprefabriceerde filtermat
op de bodem.



Grote nauwkeurigheid bij het plaatsen van de matten, zeker onder water, is vereist om geen openingen tussen de matten te krijgen. Hierbij speelt de stroming een belangrijke rol. Bij een filterfunctie is een gronddichte overlap vereist. Deze kan worden verkregen door aan één zijde van de mat een flap toe te passen, waarop vervolgens de volgende mat wordt geplaatst. Bij toepassing onder water moet deze flap gestrekt worden gehouden, bij voorbeeld door middel van houten latten. Ook kunnen de matten zelf overlappend worden aangebracht. Om te voorkomen dat deze bij grote stroomsnelheden gaan klapperen, moeten de matten tegen de stroomrichting in over elkaar worden gelegd.

Bij taludbeschermingen worden de matten meestal aan de bovenzijde verankerd door deze in te graven in de bodem of te verankeren met perkoenen.

Geomatten kunnen als vaste ballastmatten beschouwd worden. In dit boek worden zij behandeld in de paragraaf Geosystemen (5.4.3)

Aandachtspunten bij vaste ballast matten:

- Zorg dat de trekkracht in het geotextiel tijdens het plaatsen niet te groot wordt.
- Zorg dat de overlappen correct uitgevoerd worden.
- Zorg dat snel voldoende ballastmateriaal op de mat aangebracht wordt.
- Bij toepassing op taluds moet vaak de ruimte tussen de betonblokken gevuld worden met grind of split. Een correcte uitvoering is hier van belang.
- In geval van met zand gevulde matten moet de methode van vullen en plaatsing van te voren goed uitgetest worden.
- De matten moeten zo goed mogelijk tegen elkaar aan gelegd worden, open ruimtes moeten worden gevuld. Er mogen geen open ruimtes ontstaan waar geen geotextiel ligt.

- Zorg dat de matten niet kunnen beschadigen door scherpe voorwerpen tijdens de installatie.
- De matten moeten goed aansluiten aan de ondergrond om ontgrondingen te voorkomen en te zorgen dat het geotextiel als filter optimaal kan functioneren.

5.4.3 Geosystemen

De verschillende geosystemen, inclusief ontwerprichtlijnen, worden uitgebreid beschreven in [33] en [34]. In dit hoofdstuk wordt er een globaal overzicht van gegeven.

Geosystemen bieden een duurzame oplossing. Duurzaam in de zin van een lagere energiewaarde van de constructie, dan traditionele oplossingen met alleen granulair materiaal.

Er zijn vier type geotextiele zandelementen:

1. geobags
2. geomatten
3. geotextiele tubes
4. geotextiele containers

Ad 1 Geobags

Geobags zijn grote zakken van geotextiel, meestal gevuld met zand, met afmetingen tussen 0,3 en 10 m³. Het zijn dus eigenlijk grote zandzakken.

Geobags worden vooral gebruikt in:

- hoogwaterkeringen (nooddijken)
- kribben
- golfbrekers
- kunstriffen
- bodembescherming
- het opvullen van erosiekuilen

Door de beperkte afmetingen van geobags, bijvoorbeeld ten opzichte van geotextiele tubes en geotextiele containers, zijn constructies met geobags meestal vrij dure oplossingen. Ook het vullen is vrij bewerkelijk. In [34] wordt vermeld dat het vullen en plaatsen van geobags 45 - 75% van de totale kosten van een geobag-constructie omvat. Geobags worden daarom gebruikt waar de specifieke voordelen tot hun recht komen.

Die voordelen zijn:

- Er is geen noodzaak tot het gebruik van breuksteen. Het eventuele voordeel hangt mede af van de beschikbaarheid van breuksteen. Hierdoor is dit een zeer milieuvriendelijke oplossing.
- De constructie is begaanbaar (bij een strand).
- De geobags kunnen tegen andere constructies, bijvoorbeeld pijlers, worden geplaatst zonder deze te beschadigen.

De geobags worden vaak voor tijdelijk werk gebruikt, de zakken zijn relatief eenvoudig te verwijderen. Geobags kunnen op verschillende manieren gevuld worden. Het vullen kan mechanisch of hydraulisch gebeuren. Kleine zakken kunnen met de hand gevuld worden.

Het plaatsen van de geobags kan gebeuren met een (hydraulische) kraan voorzien van een grijper. Het plaatsen kan vanaf het land of vanaf het water. Het plaatsen vanaf land is minder geschikt voor dijken die moeilijk bereikbaar zijn of onvoldoende stabiliteit hebben. Bij grote ontgrondingkuilen is het ook mogelijk om geobags met een zijstorter of splijtbak te storten. Bij het gebruiken van de laatste methode moet men er goed op letten dat er geen scherpe randen aanwezig zijn die de geobag kunnen beschadigen.

Fig. 92

De blootgelegde zandzakkenbarrière na een orkaan.



Om vandalisme boven water te vermijden moeten geobags boven water afgedekt worden met een laag granulair materiaal.

Ad 2 Geomatten

Geomatten kunnen als lichte oeverbescherming langs rivieren en kanalen toegepast worden. Met name als toepassing van granulair materiaal als oeververdediging niet voorradig of kostbaar is en/of onvoldoende geschoold personeel aanwezig is voor andere constructies, vormen zij een goed alternatief.

Geomatten bestaan uit twee met elkaar verbonden lagen geotextiel waarbij de tussenruimte wordt gevuld met zand en, alleen in speciale gevallen, met beton. In de matten wordt een compartimentering aangebracht in de vorm van cellen of buizen. Enerzijds bevordert dit een gelijkmatige verdeling van het vulmateriaal in de geomat en anderzijds gaat het de verplaatsing van het vulmateriaal tijdens de gebruiksfase tegen.

Geomatten worden vervaardigd van weefsels of van combinaties van weefsels en vliezen. De keuze van het geotextiel is afhankelijk van de hydraulische, mechanische en milieutechnische eisen en de uitvoeringsmethode.

Een zo vast mogelijke pakking van het zand in de matten heeft tevens als effect dat zetting door golven en stroom wordt geminimaliseerd.

De matten worden aan de bovenzijde altijd verankerd.

Geomatten worden op het maaiveld of in situ op het talud gevuld. Dit vullen kan pneumatisch, mechanisch of hydraulisch gebeuren. Deze processen worden verder beschreven in [33] en [34].

Vaak worden de matten hydraulisch gevuld en krijgen daardoor de gewenste hoge vulingsgraad. Bij het hydraulisch vullen speelt de vuldruk van het zandwatermengsel een rol. Over het algemeen blijft de druk redelijk laag, doordat het water voldoende snel door de poriën van het doek kan uittreden. Voorkomen dient te worden dat de druk in de mat te sterk oploopt als het doek tijdens het vullen dichtslibt.

Indien mogelijk worden de geomatten in situ gevuld waarbij de trekbelastingen op het geotextiel minimaal zullen zijn.

De op het maaiveld gevulde geomatten kunnen met behulp van een klembalk door een ponton op hun plaats worden getrokken (het zogenaamde aanbreien), of door een kraan in het werk worden gehesen (vlijen). In beide gevallen zullen er grote trekkrachten op het geotextiel worden uitgeoefend. Opgemerkt wordt dat een goed gevulde mat belangrijk is om bij het hijsen uitzakken van het zand in de mat te voorkomen.

De keuze van de uitvoeringsmethode wordt onder meer bepaald door de grootte van de matten, de beschikbare werkruimte, de bereikbaarheid vanaf de oever en vanaf het water, de economische haalbaarheid en de functionele eisen.

Ook in geval van toepassing van geomatten moet aandacht gegeven worden aan het uitvoeren van de overlap. In alle gevallen moet gezorgd worden dat er voldoende (minimaal 0,5m) overlap aanwezig is. Rekening moet worden gehouden met de dikte van de mat in relatie met de overlap.

Ad 3 Geotextiele tubes

Een geotextiele tube bestaat uit een waterdoorlatend en zanddicht geotextiel, dat gevuld is met zand of een ander granulair materiaal. De diameter van een geotextiele tube varieert van 0,5 m tot 4,0 m en de lengte van 25 tot 100 m, afhankelijk van het toepassingsgebied.

Geotextiele tubes worden veelvuldig toegepast in kustgebieden. Ze functioneren als strandhoofd, golfbreker, duinvoetverdediging, of onderwater rif. Ze bieden extra bescherming tegen overstroming tijdens zware stormen en reguleren het sedimenttransport. In waterbouwkundige constructies kunnen geotextiele tubes ook dienen als vervanging van breuksteen.

Een andere toepassing is de ontwatering van baggerspecie. Door het juiste geotextiel te kiezen kan het overtollige water uittreden en blijft het slib achter in de geotextiele tube, hierdoor wordt het volume van de te bergen baggerspecie verminderd. Voor de verdere uitwerking van het ontwateren van slib met geotextiele tubes wordt verwezen naar onder andere appendix 5.4 uit [33].

Voor de installatie geldt dat een geotextiele tube opgerold om een stalen pijp wordt aangeleverd op de bouwplaats. Vervolgens wordt het geotextiel uitgerold met de in- en uitlaat-

punten gecentreerd aan de bovenkant. Ter indicatie, slurven voor het vullen en het ontwateren van de tube met een diameter van ongeveer 0,5 m kunnen op een onderlinge afstand van 30 m of meer worden geplaatst. Echter, indien men gedurende de uitvoering de mogelijkheid wil hebben om met de eindvorm van de geotextiele tube en de pompdruk te variëren, dan hebben slurven op een onderlinge afstand van ongeveer 15 m de voorkeur. De keuze van de onderlinge afstand van de vulslurven hangt ook af van de korrelgrootte van het zand.

De volgende stap is het oppompen van de geotextiele tube. Als gevolg van de doorlatendheid van het geotextiel lukt het niet om de tube met water 'op te pompen'. Er zal eerst een kleine concentratie zand mee gepompt moeten worden om de poriën grotendeels te vullen, waarna een zekere druk in de tube ontstaat en deze een min of meer ronde vorm aanneemt. Het proceswater zal dan grotendeels door de vulslurven verdwijnen. Om een gelijkmatige vulling te krijgen, kunnen nabijgelegen slurven meer of minder worden geknepen. Om te voorkomen dat de geotextiele tube wegrolt tijdens het oppompen, moet de tube (tijdelijk) gestabiliseerd worden.

Daarna wordt het eigenlijke vulmateriaal als een slurry (zandwatermengsel) in de geotextiele tube gepompt. Dit zandwatermengsel heeft in het algemeen een verhouding van 1:4 à 1:5. Het overtollige water stroomt door het geotextiel zelf en via de speciale ontlastslurven uit de tube. Er kan uitgerekend worden dat als een geotextiele tube gevuld is tot ongeveer 70% à 80% van de theoretische cirkelvormige doorsnede, de hoogte ongeveer de helft is van de 'platte' breedte van de geotextiele tube (breedte van het deel dat contact maakt met de bodem). Eventueel kan gekozen worden voor een hoger vullingpercentage. Hierdoor worden de trekspanningen in het geotextiel echter groter.

De keuze van het in te zetten materieel dient te worden afgestemd op het te maken werk en de beschikbare bouwtijd van het onderdeel. Zo zal voor een kleinschalig werk met geotextiele tubes ook kleinschalig materieel worden ingezet.

Daarnaast moet rekening gehouden worden met het feit dat ten gevolge van het wisselen van de bak bij bakkenzuiger/grondpers, het verstellen van de cutter- of winzuiger, wisselende weersomstandigheden (wind, golf, stroming), het wisselen en het navullen van de geotextiele tube de efficiencyfactor kan dalen met 50%.

Als gewerkt wordt met geotextiele tubes is een meerlaagse opbouw mogelijk. De tussenruimtes moeten dan opgevuld worden met zand/fijn granulair materiaal. Verder dienen de elementen, waaruit een profiel is opgebouwd, (zoveel mogelijk) dezelfde grootte te hebben. Dit in verband met standaardisatie van het uitvoeringsproces.

Het ontwerp van een constructie met geotextiele tubes hangt dus voor een belangrijk deel af van de vulprocedure. Juist tijdens het vullen werken de grootste krachten op het geotextiel. De dan optredende krachten op het geotextiel en de naainaden zijn dan ook de ontwerpbelastingen. De pompcapaciteit en de vulsnelheid zijn daarom belangrijke parameters. Ook moet bij het ontwerp rekening gehouden worden met de aanwezige omgevingscondities zoals de mate van stroming en de golven. Voor de ontwerpaspecten wordt verwezen naar [34].

Om vandalisme boven water te vermijden, moeten geotextiele tubes boven water afgedekt worden met een laag granulair materiaal

Fig. 93
Volpompen van een
geotextiele tube.



Ad 4 Geotextiele containers

Een geotextiele container is in feite een grote zandzak met een inhoud van 100 m³ tot 600 m³ die gestort kan worden vanuit de beun van een splijtbak.

Mogelijke toepassingen van geotextiele containers:

- kernmateriaal van een golfbreker die verder wordt afgedekt met breuksteen;
- verhoging van de bodem onder kern van een golfbreker;
- opsluiting van de vooroever van een strandsuppletie;
- kadeconstructie van geotextiele containers als alternatief voor een klap- of spuitkade;
- vastleggen van ontgrondingskuilen.

Voor de plaatsing van een geotextiele container wordt op de bodem van de splijtbak een geprefabriceerd geotextiel voor een geotextiele container uitgelegd waarop het zand wordt gestort of opgespoten. Binnen het totale uitvoeringsproces is het vullen de tijdsbepalende factor en dit moet zo snel mogelijk gebeuren. Droog vullen heeft de voorkeur boven hydraulisch vullen, omdat met de eerste methode een gelijkmatige vulling mogelijk is en er meer lucht in het vulmateriaal zit. Lucht heeft een positief effect op het absorberen van de valenergie die vrijkomt bij het neerkomen van de geotextiele container op de bodem. Het vullen moet gelijkmatig verdeeld over de geotextiele container gebeuren, zodat de geotextiele container tijdens het storten zo gelijkmatig mogelijk door de splijtbakopening naar beneden schuift. De vulling en pakking kan hierop een effect hebben. Ongelijkmatig glijden kan scheuren van het geotextiel tot gevolg hebben.

Om de geotextiele containers zo goed mogelijk te plaatsen zal een gedegen stortplan gemaakt moeten worden. Aangezien de moeilijkheid van een nauwkeurige plaatsing bij grotere waterdiepte toeneemt, vraagt het werken op grote diepte de meeste aandacht.

Bij het opbouwen van een stapeling op een waterdiepte van meer dan 15 m is het onvermijdelijk dat een aantal elementen buiten het profiel terecht kunnen komen. De eerste laag containers is het moeilijkste om te plaatsen ('afzeileffect'). Rekening houdende met de stroming en golfwerking zal een positie bepaald moeten worden waarvandaan de eerste container gestort wordt. Bij grote waterdiepte neemt de bodembreedte van het profiel van de te maken constructie ook toe. Hierdoor wordt de stortruimte voor de eerste container verbreed. Na het storten van de eerste container zal direct gemeten moeten worden waar deze terecht gekomen is. Aan de hand van de positie van de splijtbak tijdens het storten en de gemeten ligging van de eerste container wordt een indicatie verkregen van de plaatsingsnauwkeurigheid. Vervolgens kan het tweede element geplaatst worden. Na elke storting moet het element aangepeild worden om de exacte ligging te bepalen, aangezien de plaatsingsnauwkeurigheid een willekeurig karakter heeft. Tijdens het storten van de eerste laag zullen de te storten containers steeds meer de invloed gaan voelen van de al gestorte containers. Dit komt de plaatsingsnauwkeurigheid ten goede. Voor de tweede en daar op volgende lagen neemt, zoals hierboven al beschreven, de plaatsingsnauwkeurigheid aanzienlijk toe en daarmee de invulling en haalbaarheid van het stortplan. Uit veldmetingen en experimenten is gebleken dat de verplaatsingen van de tweede en volgende laag, ondanks de aanwezigheid van stroming en golven, de helft tot een kwart bedragen van de verplaatsingen van de eerste laag.

Inmiddels is een geleidesysteem® op papier ontwikkeld, waarmee grote geotextiele containers nauwkeurig tot grote diepte op de bodem kunnen worden geplaatst.

Voor verdere informatie betreffende geotextiele zandelementen en het ontwerpen met geotextiele zandelementen wordt verwezen naar [33] en [34].

Fig. 94
Vullen van de geotextiele
container in de splijtbak



Fig. 95
Afzinken van de geotextiele
container.



Kritieke aandachtspunten voor geosystemen:

- Het is heel belangrijk dat de vullingsgraad, zoals in het ontwerp is vastgesteld, ook werkelijk gerealiseerd wordt. Een andere vullinggraad, geeft een andere hoogte en dus een andere stapeling. Overigens is de hoogte van de container na plaatsing niet precies te bepalen en moet er dus wat flexibiliteit in het ontwerp zitten wat dit betreft.
- De elementen moeten zorgvuldig, volgens een vast plan geplaatst worden. Het horizontaal verplaatsen tijdens de laatste fase van de plaatsing moet vermeden worden.
- Regelmatig moet gepeild worden om de plaats van de reeds geplaatste elementen vast te stellen en het stortplan aan te passen.
- Zorg dat er geen scheuren in de containers kunnen ontstaan tijdens de plaatsing.
- Als geobags met een grijper geplaatst worden moeten speciale bekken aan de grijper gemonteerd worden om scheuren te voorkomen.
- De zandgradatie moet volgens specificatie en ontwerp aangehouden worden;
- Zorg dat de geotextiele tubes niet gaan rollen bij horizontale belasting;
- Zorg voor een goede afdekking van de elementen na plaatsing.
- Indien de geomatten of bags gedeeltelijk boven water komen te liggen moeten maatregelen genomen worden om de invloeden van weer en UV te neutraliseren door afdekking.
- Om vandalisme boven water te vermijden moeten geotextiele tubes boven water afgedekt worden met een laag granulair materiaal.

5.4.4 Erosiebescherming van taluds, lichte oever beschermingen

Erosie van taluds kan op twee verschillende manieren plaatsvinden:

- erosie van het talud doordat regen op de grond spat en bij het afstromen zich verzamelt en geulen vormt;
- erosie op de waterlijn in geval het talud voor langere tijd in contact is met water.

Fig. 96
Erosie droge helling.



Fig. 97
Erosie natte helling.



Erosiebeschermingsmatten zorgen ervoor dat de natuurlijke vegetatie zich kan ontwikkelen, zonder dat de kleine plantjes weggespoeld worden of dat erosie kan optreden in slecht begroeide gebieden. Verder is een belangrijk effect van een erosiebeschermingsmat dat deze het wortelgestel van de vegetatie, bijvoorbeeld gras, versterkt waardoor de vegetatie in extreme condities, bijvoorbeeld door water overslag of tijdelijk onderwater, langer intact blijft. Dit laatste is vooral het geval bij permanente erosiebeschermingsmatten.

Erosiebeschermingsmatten kunnen de erosie verhinderen. Als lichte, niet permanente erosiebeschermingsmatten toegepast worden kan men denken aan kokos, of andere degradeerbare matten. Kenmerk van deze soort matten is dat ze toegepast worden om erosie tegen te gaan in de periode dat de vegetatie zich aan het ontwikkelen is. Bij toepassing van degradeerbare matten wordt er altijd van uitgegaan dat na één of twee seizoenen een volwaardige vegetatie ontwikkeld is, zodat de matten daarna niet meer nodig zijn. Zij zullen dan ook meestal na deze tijd vergaan zijn.

*Fig. 98
Aanbrengen kokosmat met
zandcement blokjes.*



*Fig. 99
Natuurvriendelijke oever:
damwand met een plasberm
langs het Twente kanaal.
Het talud is voor de eerste
twee groeiseizoenen
beschermd met een
kokosgeotextiel.*



Bij het ontwerp moet men dan ook zeker weten dat de vegetatie op een talud zich goed kan ontwikkelen, anders komt men na beëindiging van het werk in de problemen.

Is men er niet zeker van dat de vegetatie zich snel voldoende zal ontwikkelen, bijvoorbeeld omdat men niet zeker weet of het werk in het groeiseizoen uitgevoerd wordt, of dat men te maken heeft met gebieden waar zich door de vorm van het talud een concentratie van afstromend water kan voordoen, dan moet men voor

permanente erosiebeschermingsmatten kiezen in de vorm van structuurmatten.

Als er erosie op de waterlijn kan ontstaan of indien de mat en de vegetatie voor langere tijd onder water liggen, zal onvoldoende vegetatie aanwezig zijn of zal de vegetatie afsterven. In dat geval zal het effect van de structuurmat zijn dat gedurende langere tijd het aanwezige wortelgestel van de vegetatie gewapend en versterkt wordt, maar na een bepaalde periode zal de vegetatie afgestorven zijn en zal erosie plaatsvinden. Om dan toch een erosie bescherming te hebben kan de mat (al of niet prefab) gevuld worden met split. Hierdoor ontstaat als het ware een lichte oeverbescherming van heel lichte steen, waarbij de stenen ook nog eens door de structuurmat vast gehouden worden. De prefab gevulde mat kan dan ook lichte golfslag (maximaal circa 0,5 m) en stroming (maximaal 1 – 2 m/s, zie ontwerptabellen in paragraaf 3.8) weerstaan. Tegelijkertijd kan zich door de mat begroeiing ontwikkelen, wat de functie nog meer versterkt.

*Fig. 100
Kanaal in Friesland
structuurmat met
prefab vulling.*



*Fig. 101
Kanaal in Friesland,
structuurmat met
prefab vulling.*



Bij de installatie van de matten is het belangrijk dat de vegetatie ingezaaid wordt voordat de mat geïnstalleerd wordt. Ook moet gezorgd worden dat de matten in een patroon van 1 pen per m^2 of bij zwaardere belasting 1 pen per $0,25 m^2$ vastgezet worden. Dit gebeurt met plastic pennen of met pennen gemaakt uit betonijzer met een lengte van 30 cm en waarbij de bovenkant 2 keer omgezet is zodat een kram ontstaat.

Nadat de matten geïnstalleerd zijn worden deze mat gevuld met aarde. Ook wordt hiervoor soms split gebruikt, maar in dat geval wordt in Nederland vaak een voorgevulde mat gebruikt.

Fig. 102
Installatie structuurmat.



Fig. 103
Installatie structuurmat.



Kritische aandachtspunten:

- zorg dat de structuurmatten vastgezet worden met voldoende pennen of krammen;
- zaai graszaad of zaad van een andere vegetatie onder de mat, voor het aanbrengen;
- gebruik een evenaar bij de installatie van de matten met een kraan;
- zorg dat het talud vlak is en dat de mat goed aanligt tegen de ondergrond, anders wordt het ontwikkelen van een goede vegetatie verhinderd;
- zorg dat de matten minimaal met een overlap van 30 cm op droge hellingen en 50 cm in natte toepassingen hebben. Het is belangrijk dat in de onderwater toepassingen voldoende verankering aan de ondergrond door middel van pennen en gewicht verzekerd is;
- de matten moeten aan de bovenkant en aan de onderkant ingegraven worden zodat een verankering ontstaat. Als de mat eindigt onder water moet de mat minimaal 30 cm ingegraven worden en zo nodig extra belast worden met licht granulair materiaal. De ingraving in het droge talud moet minimaal 30 cm zijn. Voor meer details wordt verwezen naar de leginstructies van de fabrikanten.

5.4.5 Verticale oeverbeschermingen voor kleine binnenwateren

Bij kleinschalige verticale oeverbeschermingen, zoals beschoeiingen, worden geotextielen gebruikt om de grond dichtheid te waarborgen. Dit kan achter een opgeklampt schot zijn, achter een vlechtmat of achter een aaneengesloten palenrij.

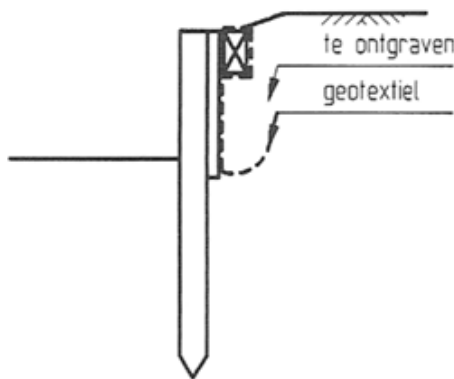
Een opgeklampt schot is een beschoeiing van horizontaal verwerkte planken door middel van klampen aan elkaar bevestigd. De schotten worden gespijkerd of geniet. De hart op

hart afstand van de klampen is circa 100 cm. Het geotextiel wordt achter de klampen gemonteerd.

Een vlechtmat is een beschoeiing gemaakt van dunne strips van 6 mm dik die in elkaar gevlochten worden. De vlechtmatten worden veelal bevestigd aan beschoeiingpalen die verticaal geplaatst worden. Ook hier wordt het geotextiel weer achter de mat geplaatst.

Bij dit type constructies wordt het geotextiel aan een gording bevestigd en verticaal afgehangen. Het doek wordt over de bodem van een achter de beschoeiing gemaakte sleuf geleid en weer naar boven doorgetrokken, zodat als het ware een zak ontstaat. Voordat het geotextiel wordt aangebracht, moet het oppervlak worden ontdaan van stenen en andere (scherpe) obstakels (zie figuur 104).

Fig. 104
Beschoeiing.



Het probleem bij beschoeiingen is dat door de zetting van de grond krachten op het geotextiel uitgeoefend worden. Als het geotextiel vast aan de gording wordt bevestigd kan het uiteindelijk losscheuren. Om dit te vermijden wordt voorgeschreven dat als een vaste verbinding met een gording wordt gemaakt een extra slag in het geotextiel moet worden gelegd (een stuk dubbel gelegd). Het is twijfelachtig of dit in de praktijk werkt. Daarom is het beter om het geotextiel tijdelijk te verbinden met de gording tijdens het aanbrengen van de grond er achter, maar daarna deze verbinding weg te halen. Dit kan door het geotextiel boven op de gording tijdelijk met een lat vast te zetten. De lat wordt later weggehaald en het geotextiel omgevouwen.

Ook wordt wel in het doek een doorgaande zoom gelegd, waardoor een lat geschoven kan worden. Deze wordt weer tijdelijk bevestigd en later vrijgemaakt.

Als het doek wordt blootgesteld aan UV-licht verliest het op den duur zijn treksterkte. Het doek moet dan ook snel worden afgedekt met grond.

Kritische aandachtspunten:

- Zorg dat er geen trekkrachten in het doek ontstaan tijdens het aanbrengen van de aanvul grond en als er later zettingen ontstaan.
- Zorg dat er na aanbrengen nog extra doek aan de bovenzijde beschikbaar is, zodat als zich zettingen voordoen er toch voldoende materiaal tegen het beschot zit om ontgronding te voorkomen.
- Zorg dat het doek niet permanent bloot staat aan zonlicht – UV straling

5.4.6 Overgangsconstructies

Uit praktijk blijkt dat de overgangsconstructie een zeer kritisch element in de constructie is. De meeste schade in een constructie ontstaat bij de overgang van een materiaal naar een ander, of bij de overgang van de ene beschermingsconstructie naar de andere. Ook de beëindigingen, zeker de teenconstructie zijn kritisch.

Het belangrijkste is dat de constructie zanddicht blijft zonder dat extra interne belastingen ontstaan door bijv. een verandering in de waterdoorlatendheid (dat zou omhoog tillen van de bekleding tot gevolg kunnen hebben).

De overgangsconstructies worden in 4 categorieën verdeeld.

1. Naainaden en overlappen;
2. Overgangsconstructies;
3. Aansluitingen met constructieve elementen;
4. Teenconstructies.

Ad 1 Naainaden en overlappen

In de secties hierboven is regelmatig gesproken over overlappen.

In het algemeen geldt het volgende voor overlappen en naainaden:

- De twee elementen moeten zodanig aan elkaar verbonden zijn dat zij duurzaam voldoen aan de functie-eisen zoals filter, grond dichtheid en sterkte.
- Een losse overlap boven water zal een breedte hebben van 0,5 – 1,0 m, afhankelijk van de nauwkeurigheid van aanbrengen. Onderwater zal de overlap altijd groter zijn dan 1,0 m, omdat de plaatsing van de mat gecompliceerder is. In kritische situaties, bijvoorbeeld bij een zinkstuk zal de overlap 2,0 m zijn.
- Naainaden mogen toegepast worden als aan de sterkte-eis in beide richtingen kan worden voldaan. Een naainaad is altijd een stuk zwakker dan het originele doek.
- Als treksterkten in twee richtingen nodig zijn zal veelal gekozen worden voor twee lagen, haaks op elkaar gelegd (zonder een tussenlaag van zand).
- Als grote stukken overlap toegepast worden moet gecontroleerd worden of de waterdoorlatendheid niet kritisch beïnvloed wordt.
- Als niet vermeden kan worden dat overlappen aangebracht worden terwijl in die richting de mat een sterktefunctie heeft, moet de overlap lengte berekend worden als een volledige verankering lengte.
- De vlindernaad is zanddicht, ook voor fijn materiaal, de platte stuiknaad is niet erg zanddicht bij fijn materiaal. De J-naden zijn goed zanddicht, ook voor fijne fracties. De overlap naden kunnen alleen in de fabriek gemaakt worden en zijn goed zanddicht. Alle andere naden kunnen in het werk gemaakt worden.
- Overlappen moeten altijd met de stroom mee gelegd worden, of zodanig dat met de stroming van brekende golven mee gelegd worden.
- Als stukken geotextiel op een talud gelegd worden, moeten zij tijdelijk verzwaaard worden met zakken zand of gepind, totdat bestorting heeft plaatsgevonden.
- Als overlappen in 2-laags geotextiel systemen nodig zijn, mogen ze niet boven elkaar gelegd worden.
- Zorg bij toepassing van overlappen op een droog talud ervoor dat de wind de overlap niet op kan blazen en er bodemmateriaal tussen de twee doeken in de overlapzone kan komen.

Ad 2 Overgangsconstructies

Overgangsconstructies worden toegepast:

- als de beschermingsconstructie verhoogd / verlengd moet worden en het originele materiaal niet meer voorhanden is;
- bij reparaties;
- bij de overgang naar een ander soort constructietype.

Als een overgangsconstructie niet goed ontworpen, aangebracht of onderhouden wordt kan er schade optreden.

Bijvoorbeeld:

- blokken die uit de bekleding gedrukt worden;
- instabiliteit (functieverlies) van de mat;
- migratie van het ene soort filter materiaal in het ander waardoor zettingen ontstaan;
- uitspoelen van zand, fijn materiaal of klei door verbindingen of langs palen die door het filter zijn geplaatst;
- rotten van houten elementen;
- bevriezen en kapot drukken van cement mortel.

De eisen aan overgangsconstructies worden verdeeld in:

- functionele eisen;
- installatie specificaties;
- onderhoudseisen en praktische zaken.

Functionele eisen:

- De functie van een teenconstructie is tweeledig, te weten steunconstructie van de bovenliggende glooiingsconstructie en bescherming (standzekerheid) van de glooiing bij erosie van de kreukelberm en/of vooroever.
- De overgangsconstructie moet net zo sterk zijn als de zwaarste constructie die verbonden wordt. Het onderliggende dijklichaam moet voldoende beschermd worden.
- De waterdoorlatendheid van de toplaag in een overgangsconstructie moet even groot zijn als die van het meest doorlatende systeem dat het verbindt. Het filter moet eenzelfde doorlatendheid hebben als één van de te verbinden filterlagen.
- Er mag geen verplaatsing van bodemmateriaal naar een er boven liggende laag of in de lagen zijdelings plaatsvinden.
- De overgangsconstructie moet net zo flexibel zijn als de constructies die het verbindt, zodat het locale zettingen kan volgen.
- De gebruiksduur van de overgangsconstructie moet ten minste gelijk zijn aan die van de te verbinden systemen.
- Teenconstructies moeten de teen beschermen tegen oevervallen bij laag water of ontgroningen.
- Als gevolg van de overgangsconstructie mag er geen filter of kernmateriaal uitgespoeld worden.

De Installatie specificaties zijn:

- De vorm van de overgangsconstructie moet zodanig zijn dat de fundatiesleuf voldoende verdicht kan worden als die naderhand aangebracht wordt.
- Onnodig diepe uitgravingen moeten vermeden worden.

- Vermijd verontreiniging in de voegen door modder of planten of fijn materiaal. Indien nodig moet zo snel mogelijk cementmortel aangebracht worden.
- Als asfalt geïnjecteerd wordt, moeten alle elementen tegen deze temperatuur bestand zijn.
- Groutverbindingen moeten minstens 2 cm breed zijn.

De onderhoudseisen en praktische zaken zijn:

- houdt het aantal overgangsconstructies zo klein mogelijk;
- plaats overgangsconstructies in principe niet in gebieden waar grote belastingen zijn.

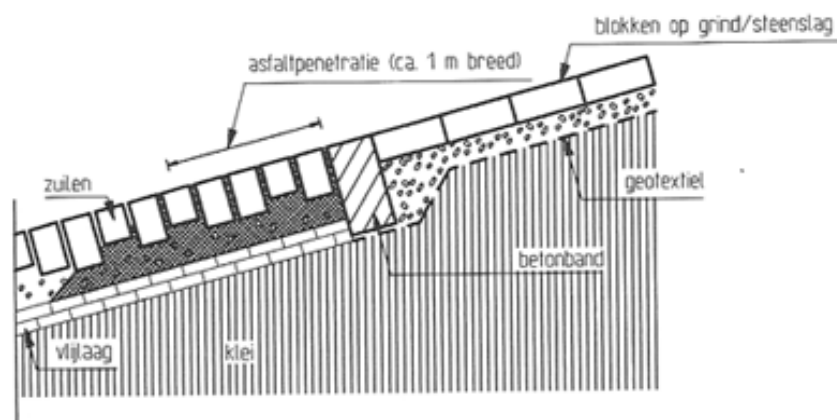
Als praktische regel geldt dat overgangsconstructies evenwijdig aan de kruin vermeden moeten worden. Alleen als bijv. verschillende systemen gebruikt moeten worden onder en boven water of als de bekleding verlengd moet worden kan hiervan afgeweken worden. Om eventuele negatieve effecten van opdrukken van het bekledingsmateriaal tegen te gaan kan de dikte van deze laag plaatselijk vergroot worden of het granulair materiaal of de blokken verdediging plaatselijk met bitumen gevuld worden. Ook is het belangrijk om hoekbanden of andere opsluitconstructies toe te passen om progressie van eventuele schade langs de bekleding tegen te gaan.

Voorbeelden van overgangsconstructies zijn:

- Natuursteen (vaak basalt) blokken – betonblokken

Hier wordt gebruik gemaakt van een betonnen band om de nieuwe blokken tegen de natuursteen blokken te plaatsen. Het geotextiel moet in dit geval ruim onder het betonblok doorlopen. Dit is beter dan dat het tegen de betonband omhoog gezet wordt (zie figuur 105).

Fig. 105
Overgang van zuilen naar
blokken op een filter.

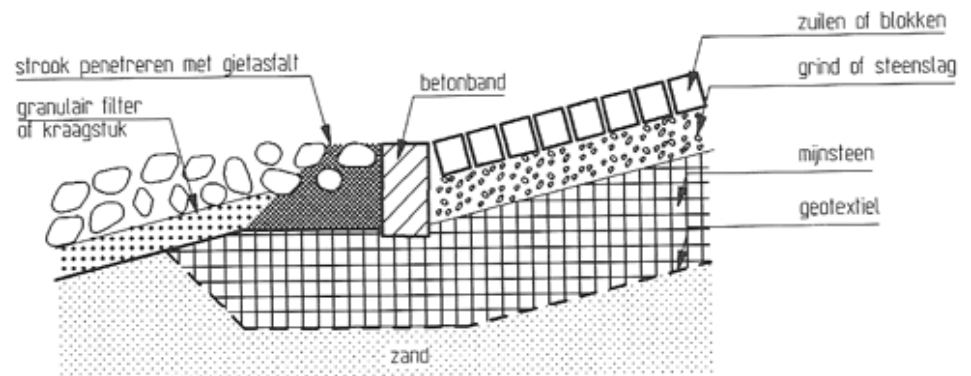


Als grote natuursteen blokken toegepast worden zullen de afmetingen van de betonband groot worden. Dat kan ertoe leiden dat betonblokken niet meer met de hand geplaatst kunnen worden en de exacte plaatsing moeilijk wordt. In dat geval is het beter om de betonband weg te laten en de voeg en omgeving vol te gieten met gietasfalt.

- Granulair materiaal – betonblokken

Hier loopt het geotextiel continu door onder de overgang. Geen speciale maatregelen hoeven genomen te worden voor vervormen of zettingen (zie figuur 105).

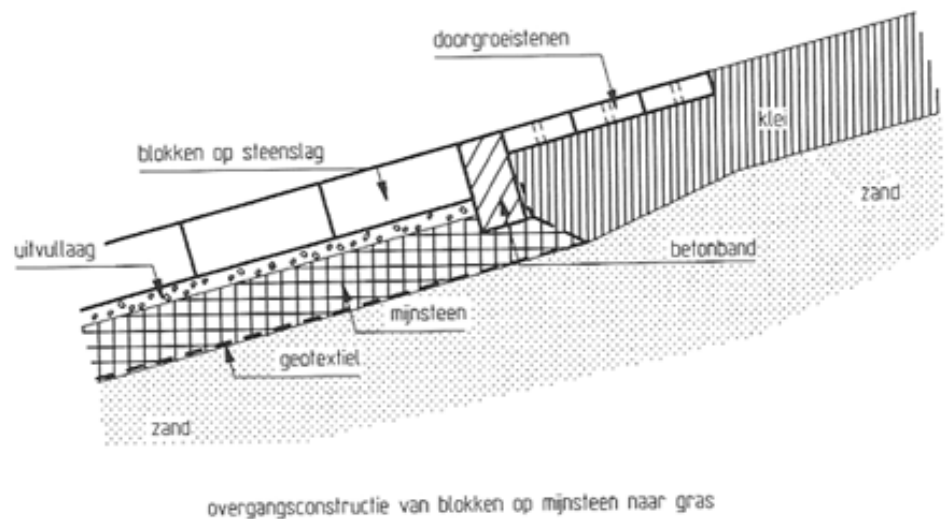
Fig. 106
Alternatieve teenconstructie
op steunberm.



- Betonblokken – gras

De overgang van blokken naar gras moet niet te abrupt zijn. Een betonband wordt gebruikt voor de opsluiting van de blokken. Het geotextiel dat onder de grashelling ligt, onder de klei, moet aansluiten aan de betonband (zie figuur 107). Het moet er een stuk tegenop gezet worden, zodat de kleideeltjes nooit in het filtermateriaal onder de betonblokken kunnen stromen.

Fig. 107
Overgang van betonblokken
naar gras.

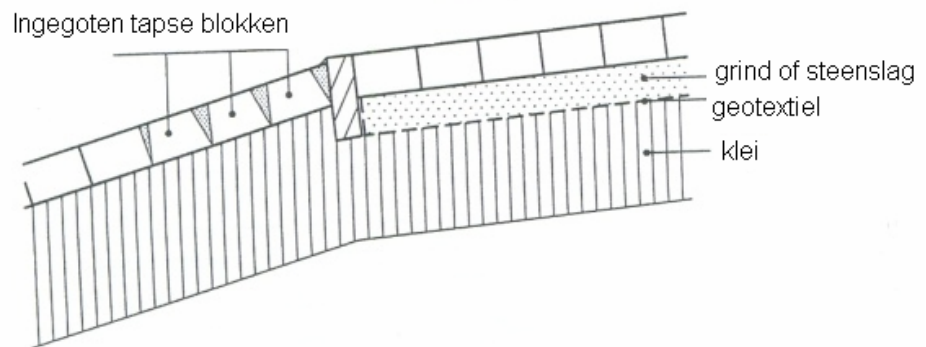


- Bermen

Bermen zijn schadegevoelige punten. Belangrijk is de situatie waarbij een vlakkere helling in het bovenste deel overgaat in een steilere helling in het onderste deel. Hier wordt dan weer een betonnen opsluitband gebruikt en de top van de laagste helling wordt gedeeltelijk vol gegroot.

Het geotextiel moet weer omhoog gelegd worden met voldoende ruimte zoals weergegeven in figuur 108.

Fig. 108
Overgang bermconstructie [59].



- Blokkenmatrassen

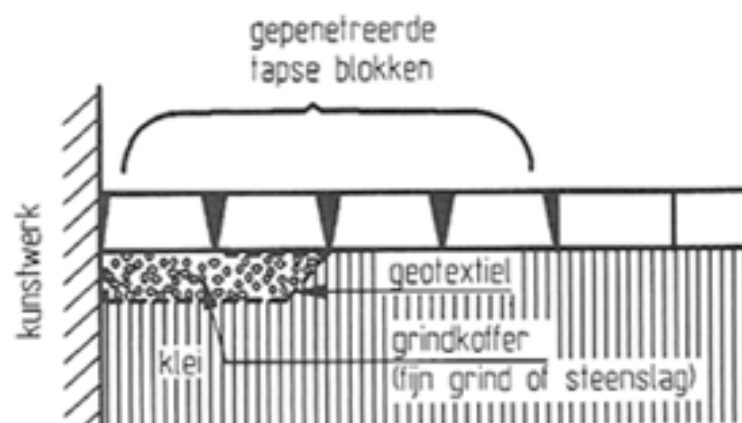
De zijkanten van blokken matten zijn zwakke punten. Als zij niet goed opgesloten zijn gaan ze bewegen en gaat de interlocking verloren. De matten moeten zorgvuldig, dicht naast elkaar geplaatst worden (< 3 cm opening) en de matten moeten bij voorkeur aan elkaar verbonden worden.

De lengte van de mat moet altijd in één stuk zijn van top tot teen.

Ad 3 Aansluitingen met constructieve elementen

Een aansluiting met een constructief element vergt bijzondere maatregelen om te vermijden dat zand door deze naden uitgespoeld kan worden. Naast de aansluiting worden de openingen tussen de blokken over 1 m breedte gevuld met grout. Eronder wordt een laag gietasfalt gelegd. Het asfalt moet ervoor zorgen dat de fijne deeltjes niet uitspoelen. Als blokken direct op zand of klei liggen is gietasfalt of grouting niet genoeg. Er moet dan een granulaire tussenlaag onder de aansluiting gemaakt worden. Het geotextiel wordt dan doorgaand onder de granulaire tussenlaag gelegd en omhoog tegen de wand van de verticale constructie. Het eindigt in de gietasfalt laag.

Fig. 109
Mogelijke aansluiting op een
constructie element.



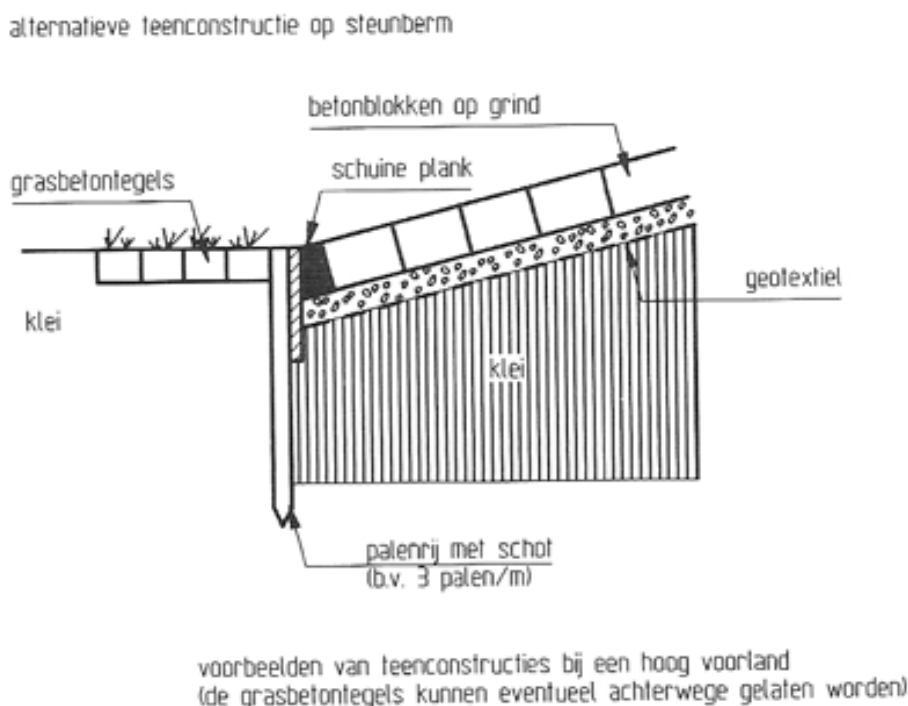
Ad 4 Teenconstructies

Teenconstructie met betonblokken

Een voorbeeld van een teenconstructie met een hoge, in getijde gebied droogvallende vooroever is in figuur 110 gegeven

De betonblokken worden opgesloten door een palenrij. Het geotextiel ligt tussen de gravel en de kleilaag en wordt omhoog gelegd tegen de palenrij, zodanig dat het de gravellaag volledig inpakt. Soms wordt het geotextiel verbonden aan de perkoenpalen rij, maar dat is niet aan te bevelen omdat het geotextiel los kan scheuren als er zetting optreedt waardoor fijne kleideeltjes in het filtermateriaal kunnen komen. Het beste is als het geotextiel enkele keren dubbelgeslagen is ter plaatse van de gravellaag (zig-zag) en dan doorgezet wordt achter de schuine plank tot aan de bovenkant. Het moet tot aan de bovenkant van de schuine plank opgezet worden om zeker te stellen dat ook geen kleideeltjes uit de vooroever in het gravel kunnen komen.

Fig. 110
Teenconstructie met
betonblokken.



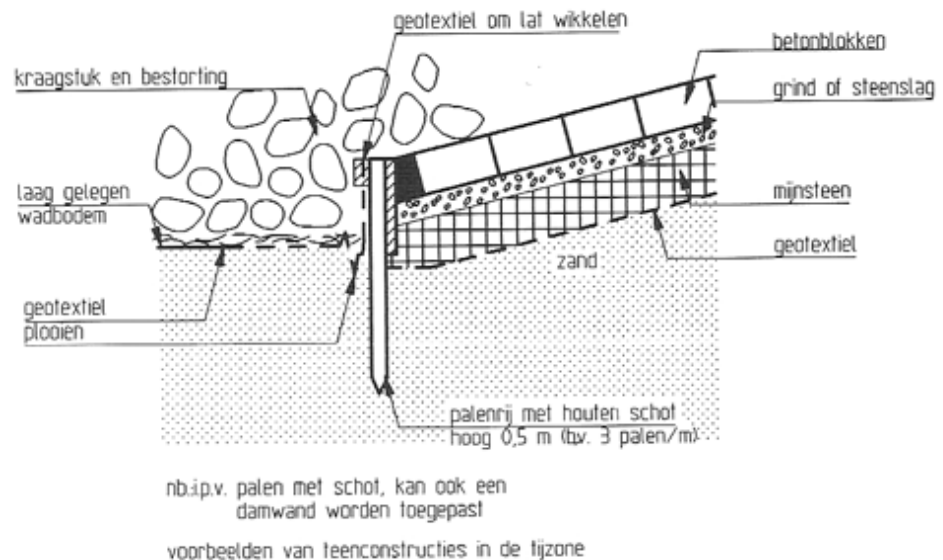
Teenconstructie met stortsteen

Deze constructie wordt toegepast als teen in een lage vooroeverconstructie. In de getijzone en ten minste 50 cm boven gemiddeld laag water. Het granulair materiaal wordt in de teen geplaatst als extra steun aan de palenrij en om de bodem van de constructie te steunen.

Een geotextiel wordt onder de stortsteen gelegd om te vermijden dat de stenen in het zand zakken. Verder moet het geotextiel tot aan de bovenkant van de palenrij gelegd worden. Hier is de kans op zettingen onder de stenen groot. Vermeden moet dus worden dat er te grote trekkrachten in het geotextiel ontstaan door de zettingen. Het geotextiel mag dus nooit vast verbonden zijn aan de palenrij. Toch moet het om te zorgen dat het tegen de palen blijft liggen terwijl de steen er tegen aan gestort wordt, tijdelijk vastgemaakt wor-

den aan de bovenkant van de palenrij. Het beste is als het geotextiel heel ruim wordt neergelegd met veel plooien, ook moet het enkele keren zig-zag neergelegd worden in de hoek bij de palen rij, om zo voldoende flexibiliteit bij vervormingen te hebben.

Fig. 111
Granulair materiaal teen.



5.5 Kwaliteitsaspecten

5.5.1 Productkwaliteit

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven, worden de functionele eisen tijdens het ontwerpproces vertaald in benodigde materiaaleigenschappen. Deze materiaaleigenschappen zijn uitgedrukt in waarden die d.m.v. genormeerde indextesten bepaald kunnen worden. Deze minimale waarden voor de materiaaleigenschappen worden vastgelegd in het bestek.

Bij de keuze van een product moeten deze minimale materiaaleigenschappen getoetst worden aan de eigenschappen van het gekozen product. Als de waarden voldoen aan de eisen kan goedkeuring voor het gebruik van dat product volgen.

Als het materiaal gemaakt wordt of geleverd wordt op de bouwplaats moet zeker gesteld worden dat het geleverde materiaal ook de vereiste materiaaleigenschappen heeft. Dit kan door testen na levering gebeuren. Maar als het kwaliteitscontrolesysteem van de producent goed georganiseerd is, kan ook hiervan gebruik gemaakt worden. Verder is er de mogelijkheid dat een bepaald product een certificeringprocedure heeft doorlopen. Dan kan men de kwaliteitscontrole op de bouwplaats hierop baseren.

In Nederland heeft de keuring plaats door of in opdracht van:

- de producent;
- de opdrachtgever, - de afnemer;
- keurende instellingen.

Deze keuringen kunnen betrekking hebben op grondstoffen (polymeren), halffabricaten (bijv. filamenten of direct geëxtrudeerde matten) en eindproducten (weefsels, vliezen of composieten).

In deze paragraaf worden de volgende onderwerpen behandeld:

1. Gecertificeerde producten
2. Productiecertificaten
3. CE-markering
4. Duurzaamheid in CE-markering.
5. Bestendigheid tegen UV straling
6. Duurzaamheid na aanbrengen geotextiel

Ad 1 Gecertificeerde producten

Er zijn producten die onder een certificaat geleverd worden. Dit betekent dat het product voldoet aan vastgestelde eisen, bijvoorbeeld vastgelegd in een Nederlandse Beoordelingsrichtlijn (BRL). Het certificaat wordt afgegeven door een daartoe aangewezen keuringsinstantie, die allerlei aspecten van het product en de productie controleert. Met name het interne kwaliteitscontrolesysteem van de producent en de regelmatige controle hierop door onafhankelijke instanties is hierbij van belang. De producent controleert regelmatig tijdens het productieproces of aan deze of daarvan afgeleide eisen wordt voldaan. Door een officieel erkend keuringsinstituut worden de bedrijfsresultaten getoetst. De kwaliteit van de geleverde grondstoffen, halffabricaten of eindproducten wordt dan gegarandeerd aan de hand van een bij het product behorend certificaat.

Ad 2 Productiecertificaten

Als de mogelijkheid niet aanwezig is om producten onder certificaat te leveren, kan de kwaliteit worden gecontroleerd door indextests uit te voeren op monsters van het geleverde product (zie hoofdstuk 4). Als de leverancier een goed productiecontrolesysteem heeft, is het ook mogelijk productiecertificaten op te vragen. In deze documenten worden de resultaten van alle kwaliteitstesten die de producent uitgevoerd heeft, weergegeven. De producent verklaart schriftelijk dat de gegeven waarden juist zijn. Deze waarden kunnen gebruikt worden als informatie in het kwaliteitsborgingsysteem dat opgezet moet worden voor het werk. Hierdoor zal het aantal te nemen monsters op de bouwplaats kunnen afnemen en kan overgegaan worden op incidentele controles, samen met de aangeleverde productiecontrole cijfers.

Ad 3 CE- markering

De geotextielen op de Europese markt zijn voorzien van een CE markering. Een dergelijke markering is noodzakelijk voor producten om toegelaten te worden op de Europese markt.

Deze CE markering is eigenlijk een hulpmiddel bij het bepalen of een product geschikt is voor een bepaalde toepassing. Bij die toepassing horen bepaalde producteigenschappen. In het CE markeringsysteem is vastgelegd welke producteigenschappen gemeten moeten zijn en aangegeven moeten zijn in het CE document. Dit systeem zorgt ervoor dat alle belangrijke eigenschappen voor een product in ieder geval bepaald zijn. Het systeem controleert geen waarden. De waarden van

de eigenschappen die gemeld worden in het CE markeringssysteem worden onder verantwoordelijkheid van de producent aangegeven. De

CE certificeringinstantie zal wel halfjaarlijks checken of de producent de juiste testen doet en in de vereiste frequentie, zij zullen ook checken of de gemelde waarden overeenstemmen met de gemeten waarden, maar de CE certificeringinstantie verklaart niet dat alle geproduceerde producten voldoen aan de eisen.

In het geval van CE markering is dus een controle van de geleverde materialen door middel van testen op de bouwplaats of via productiecertificaten noodzakelijk.

Voor geotextielen en geomembranen is er binnen de CE markering geen classificatie aangebracht. Er is dus niet vastgesteld dat een geotextiel bijvoorbeeld een treksterkte groter dan 30 kN/m moet hebben om gebruikt te kunnen worden in een waterbouwkundige toepassing. In de CE markering zijn verschillende functies onderscheiden waarvoor een geotextiel kan worden toegepast.

Dit zijn onder meer:

- versterking (reinforcement)
- scheiding (separation)
- filtratie (filtration)
- drainage (drainage)

Om te kunnen beoordelen in welke mate het geotextiel die functie kan vervullen, zijn per toepassingsgebied afspraken gemaakt over welke (kenmerkende) eigenschappen van het geotextiel beschikbaar moeten zijn om de geotextielen onderling met elkaar te kunnen vergelijken. Deze afspraken zijn beschreven in de zogenoemde toepassingsnormen EN13249 tot en met EN 13257 en EN 13265 voor geotextielen. Hiervan is voor de toepassingen van geotextielen in de waterbouw met name EN 13253 "Geotextiles and geotextile-related products - Required characteristics for use in erosion control works" van belang.

Wanneer een geotextiel geschikt geacht wordt voor filtratie dan zal bijvoorbeeld de doorlatendheid bekend moeten zijn.

Het gaat er dus alleen om dat er een getal bekend is voor de doorlatendheid, niet dat deze groter moet zijn dan een bepaalde waarde.

Er zijn drie soorten tests gedefinieerd:

- De zogenoemde "harmonized tests" (H).
De resultaten van deze tests worden niet alleen gebruikt om een parameter te bepalen, maar worden ook gebruikt om aan te geven of de kwaliteit van het product constant is. De fabrikant moet opgeven welke procedure hij doorloopt om er voor te zorgen dat voor zijn product de testresultaten binnen de door hem opgegeven spreiding blijven.
- Testen die in alle gevallen moeten worden uitgevoerd (A).
Van de testen, die zo bij een functie worden benoemd, moeten resultaten bekend zijn om het geotextiel in die functie te kunnen toepassen.
- Testen die alleen in sommige gevallen vereist zijn (S).

Dit zijn bijvoorbeeld bepaalde chemische testen, die alleen moeten worden uitgevoerd als de verwachting is dat het geotextiel met verontreinigd materiaal in aanraking komt.

Een voorbeeld van hoe één en ander in een CE-toepassingsnorm wordt weergegeven is gegeven in tabel 15. De resultaten van de genoemde testen worden bij levering van het geotextiel ter beschikking gesteld en geven de eigenschappen per toepassingsgebied weer.

De voordelen voor de gebruiker van materialen met een CE-markering zijn:

- de fabrikant heeft een systeem om de kwaliteit te controleren en een onafhankelijke organisatie controleert of dit wordt nageleefd;
- de resultaten van een aantal indextests zijn zeker aanwezig en kunnen worden gebruikt.

De tabel laat zien welke tests voor deze toepassing bij verschillende functies nodig zijn.

Tabel 15 (Uit Europese norm): Geotextiles and geotextile-related products - Characteristics required for use in erosion control works (coastal protection, bank revetments)

Characteristic	Test method	Functions		
		Filtration	Separation	Reinforcement
(1) Tensile strength ^b	EN ISO 10319	H	H	H
(2) Elongation at maximum load	EN ISO 10319	A	A	H
(3) Tensile strength of seams and joints	EN ISO 10321	S	S	S
(4) Static puncture (CBR test) ^{a,b}	EN ISO 12236	S	H	H
(5) Dynamic perforation resistance (cone drop test) ^a	EN 918	H	A	H
(6) Friction characteristics	prEN ISO 12957-1; 1997 and prEN ISO 12957-2; 1997	S	S	A
(7) Tensile creep	EN ISO 13431	–	–	A
(8) Damage during installation	ENV ISO 10722-1	A	A	A
(9) Characteristic opening size	EN ISO 12956	H	A	–
(10) Water permeability normal to the plane	EN ISO 11058	H	A	A
(11) Durability	According to annex B	H	H	H
(11.1) Resistance to weathering	ENV 12224	A	A	A
(11.2) Resistance to chemical ageing	ENV ISO 12960 or ENV ISO 13438, ENV 12447	S	S	S
(11.3) Resistance to microbiological degradation	ENV 12225	S	S	S
Relevancy: H: required for harmonisation A: relevant to all of use S: relevant to specific conditions of use “–” Indicates that the characteristics is not				
^a It should be considered that this test may not be applicable for some types of products, e.g. geogrids ^b If the mechanical properties (tensile strength and static puncture) are coded ‘H’ in this table the producer shall provide data for both. The use of only one, either tensile strength or static puncture, is sufficient in the specification.				

Ad 4 Duurzaamheid in CE- markering

De in de vorige paragraaf genoemde toepassingsnormen bevatten ook nog een zogenoemde 'normative annex' over duurzaamheid.

Hierin worden de volgende situaties onderscheiden:

- De mate waarin het geotextiel bestand is tegen ultraviolette (UV) stralen. Dit wordt getest in een zogenaamde "Weathering test" (ENV 12224). Deze is van belang voor de bepaling hoe lang een geotextiel blootgesteld kan worden aan UV straling voordat het wordt bedekt met grond of water.
- De duurzaamheid nadat een geotextiel is geïnstalleerd.

Ad 5 Bestendigheid tegen UV straling

Om dit te testen wordt de Weathering test (ENV 12224) uitgevoerd. In deze test wordt een geotextiel blootgesteld aan een vooraf vastgestelde hoeveelheid UV-straling. Voor en na de UV-bestraling wordt de sterkte bepaald. Afhankelijk van het resultaat van de test en de gewenste toepassing gelden de in tabel 16 genoemde tijden hoelang het geotextiel onbeschermd blootgesteld mag worden aan zonlicht. Geotextielen die niet zijn getest, moeten binnen 1 dag met grond worden afgedekt of zo diep in het water worden aangebracht dat ze niet meer worden belast met UV licht².

Tabel 16 Maximale tijden dat een geotextiel onbeschermd tegen zonlicht op een werk kan liggen, afhankelijk van het resultaat van de 'Weathering Test' en de toepassing.

Toepassing	Gehouden sterkte (na testen)	Maximale tijd van blootstelling na installatie.
Versterking of andere toepassing waar lange duur sterkte een belangrijke parameter is.	> 80 %	1 maand ^a
	60 % tot 80 %	2 weken
	< 60 %	1 dag
	> 60 %	1 maand ^a
Andere toepassingen	20 % tot 60 %	2 weken
	< 20 %	1 dag

Tabel 17 Basismaterialen voor geotextielen en voorgeschreven duurzaamheidtests.

Materiaal	Test
Polyester (PET)	Hydrolyse, ENV 12447
Polypropyleen (PP)	Oxidatietest, ENV ISO 13438
Polyethyleen (PE)	Oxidatietest, ENV ISO 13438
Polyamide (PA)	Oxidatietest, ENV ISO 13438 + Hydrolyse, ENV 12447

Ad 6 Duurzaamheid na aanbrengen geotextiel

In de Europese normen voor geotextielen worden twee situaties onderscheiden:

- toepassingen met een levensduur korter dan 5 jaar;
- toepassingen met een levensduur tot 25 jaar.

² De tekst hierboven is voor een belangrijk gedeelte ontleend aan de duurzaamheidsbijlage bij de CEN normen. Voor geosystemen geldt dat met name geomatten en geotextiele tubes langdurig blootgesteld kunnen worden aan zonlicht. Voor andere systemen is dat niet noodzakelijk en kan, indien nodig, de werkwijze zodanig worden aangepast dat het materiaal slechts korte tijd in de zon ligt.

De gebruikelijke materialen waarvan geotextielen worden gemaakt, polyester (polyethyleen terephthalate), polyetheen, polypropreen, polyamide 6 of 6.6 of combinaties daarvan, zijn zonder verdere testen voldoende duurzaam voor constructies met een levensduur korter dan 5 jaar. Dit geldt voor alle toepassingen, met uitzondering van langdurige versterking, op voorwaarde dat de pH-waarde (zuurgraad) van de grond tussen de 4 en 9 ligt en er geen gerecycled geotextiel is gebruikt dat in de grond is toegepast.

Voor constructies met een levensduur tot 25 jaar zijn aanvullende testen noodzakelijk, zie tabel 17. Het product is geschikt als er na afloop van de test meer dan 50% van de oorspronkelijke sterkte overblijft.

De norm staat ook toe dat de duurzaamheid wordt bepaald op grond van ervaringen met vergelijkbare producten (zowel de grondstoffen als de verwerking) onder vergelijkbare omstandigheden. Verder beschrijft de duurzaamheidsannex van de norm nog situaties met grond met een hoge of lage pH en andere specifieke omstandigheden, die voor geotextielen in de waterbouw echter meestal niet van belang zijn.

Constructies waarin geotextielen worden toegepast, worden vaak ontworpen voor een langere levensduur dan 25 jaar en de ervaring is dat die constructies ook moeiteloos een langere levensduur halen. Dat de norm niet verder gaat dan 25 jaar betekent niet dat de constructies niet langer mee gaan, maar betekent wel dat de duurzaamheid niet met de hierboven genoemde, vrij algemene bepalingen kan worden vastgesteld. Hier komt men op een terrein waar op basis van een combinatie van ervaringen en metingen wel uitspraken kunnen worden gedaan maar waar nog geen algemene richtlijnen te geven zijn. Bij de beoordeling van de levensduur kan ook de biologische activiteit in de grond van belang zijn.

In de praktijk ziet men dan soms 2 extreme opstellingen, die echter beide onjuist zijn. Enerzijds wordt soms getwijfeld aan de duurzaamheid als een constructie langer dan 25 jaar moet bestaan, met als argument dat ook in de normen geen periode langer dan 25 jaar wordt genoemd. Dit is onjuist, omdat er ervaringen zijn met levensduren van meer dan 30 jaar waarbinnen nauwelijks veroudering kon worden vastgesteld.

Anderzijds wordt soms een levensduur van 100 jaar en meer afgegeven op basis van alleen een oxidatietest, waarbij voorbijgegaan wordt aan andere vormen van veroudering.

Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven, is het mogelijk bij polyolefinen zoals PP en PE, op basis van oventesten de oxidatiesnelheid van het polymeer te bepalen. Het tijdstip waarop oxidatie begint wordt bepaald door additieven die in het polymeer zijn gemengd. Het tijdstip waarop oxidatie begint bepaalt ook in belangrijke mate de levensduur van het materiaal. Tijdens de productie en uitlevering kan m.b.v. OIT testen gecontroleerd worden of er geen verandering van oxidatietijdstip plaatsgevonden heeft.

Bij polyester (PET) wordt de levensduur bepaald door hydrolyse. Het verloop van dit proces is afhankelijk van het carboxyl eindgroepen gehalte en het moleculairgewicht van het polymeer. Ook dit kan nauwkeurig voorgeschreven en gecontroleerd worden.

5.5.2 Bestekseisen

In een bestek moet de toe te passen geokunststof op een zodanige wijze zijn beschreven dat de kwaliteit ervan gewaarborgd is. Ook de wijze van opslag en transport en de methode van aanbrengen moeten zijn beschreven.

Bij de samenstelling van een bestek voor de waterbouwkundige constructies worden functionele eisen vertaald in technische eisen, waarbij gebruik gemaakt kan worden van bijv. de technische bepalingen, zoals die opgenomen zijn in de RAW-systematiek en de UAV 1989.

Hierbij zijn de besteksteksten onderverdeeld in:

- Technische Bepalingen (in de Standaard RAW-bepalingen [30], zonodig aangevuld met bepalingen in deel 3 van het bestek);
- resultaatsbeschrijvingen.

Hieronder worden de aandachtspunten voor een bestek beschreven, gebaseerd op reeds eerder in dit rapport beschreven aspecten:

- Geokunststoffen kunnen worden gebruikt voor verschillende doelen: bescherming tegen erosie, wapening, scheiding, drainage, filter, enzovoorts. Voor iedere functie gelden andere eigenschappen, zodat in het bestek en op de tekeningen duidelijk moet worden aangegeven waar, welke geokunststof moet worden aangebracht. Geotextielen zoals weefsels en vliezen worden veelal voor de functies scheiding, drainage, filter en vaak ook als wapening toegepast.
- In de UAV 1989 is opgenomen dat de geokunststof inclusief de verpakking niet mag beschadigen tijdens laden, transport, lossen en opslag. Hiervoor zijn dus geen afzonderlijke bepalingen in het bestek nodig.
- Opslag en verpakking van geokunststof producten:
 - de rollenstapel moet stabiel zijn;
 - het gewicht van bovenliggende rol mag geen schade veroorzaken aan het onderliggende materiaal. Het maximum aantal rollen dat op elkaar gestapeld mag worden wordt gebaseerd op het advies van de producent.
- Detailinformatie over het prefabriceren, richting van de overlap.
- Spanningsloos en zonder vouwen aanbrengen.
- Voordat met het leggen van de geokunststof wordt begonnen, moeten obstakels, puin en andere scherpe voorwerpen die de geokunststof kunnen beschadigen, worden verwijderd. Het terrein moet worden afgewerkt op het gewenste niveau waarbij gaten en kuilen, die bij voorbeeld zijn ontstaan bij het verwijderen van ongewenste voorwerpen, worden opgevuld met geschikt materiaal dat wordt verdicht tot een graad vergelijkbaar met die van het omringende materiaal. Scherpe knikken in het terrein moeten worden vermeden als een stijve geokunststof wordt gebruikt.
- Detailinformatie over aansluitingen, zie paragraaf 3.9.
- Detailinformatie over overlappen, zie paragraaf 3.9.4.
- Detailinformatie over afdekken, hoe snel, op welke wijze, zie paragraaf 5.4.
- Direct na plaatsen moet de geokunststof tegen opwaaien en dergelijke worden beschermd door (tijdelijk) ballast aan te brengen.
- Legplan met:
 - de wijze van leggen (handmatig of mechanisch) en het in te zetten materieel;
 - de volgorde van het leggen;
 - de methode van koppeling;
 - de tijdsplanning;
 - beperkingen en uitvoeringsinstructies voor het aanbrengen van stortstenen of de laag op het geotextiel;

- verzamelen en registreren van informatie over het geleverde materiaal;
- productidentificatie;
- keuring van de geokunststofprodukten, detaileisen over de frequentie van monster nemen, en welke testen uitgevoerd moeten worden;
- meet- en verrekenmethoden. De hoeveelheid aangebrachte geokunststof wordt gemeten en verrekend in m², zoals is aangegeven op de tekeningen. Voor overlappen en naainaden wordt geen (extra) oppervlak meegerekend.

5.5.3 Voorbeeld Programma van Eisen voor geotextielen

Verbeteren van een glooiing, sectie Geotextiel

1. Eisen algemeen: Geotextiel

Definitie:

Een weefsel of vlies, samengesteld uit kunststofgarens of kunststofvezels dat functioneert als filter

2. Eisen gesteld aan het materiaal: geotextiel

1. Onder geotextiel type 1 wordt verstaan: een vlies van polypropreen non-woven, dat wordt toegepast onder de glooiingsconstructie.

Onder geotextiel type 2 wordt verstaan: weefsel van polypropreen dat wordt toegepast onder de bermconstructie.

Onder geotextiel type 2 met opgestikt nonwoven (170 g/m²) wordt verstaan: weefsel van polypropreen met een erop gestikt non-woven welke wordt toegepast onder de kreukelbermconstructie.

2. Eisen geotextiel:

2.1 De treksterkte, bepaald volgens NEN-EN-ISO 10319 (1996), moet ten minste 20 kN/m (type 1, machine- en dwarsrichting) en 50 kN/m (type 2, ketting- en inslagrichting) bedragen.

2.2 De rek bij breuk of minimaal vereiste treksterkte (NEN-EN-ISO 10319) moet kleiner zijn dan 60 % (type 1, machine- en dwarsrichting) en 20 % (type 2, ketting- en inslagrichting).

2.3 Voor geotextiel type 2: de weerstand tegen doorstroming van water wordt bepaald volgens NEN 5167 en uitgedrukt in Δh_s . De waarde van Δh_s mag ten hoogste 30 mm bedragen (bij een filtersnelheid van 10 mm / s¹). Uitgaande van EN-ISO 11058, mag de VIH 50-index minimaal 15mm/s bedragen en de bijbehorende permittiviteit minimaal 0,30 l/s.

2.4 De grond dichtheid in natte toestand, bepaald volgens NEN-EN-ISO 12956 (1999) en gekarakteriseerd door de poriegrootte O_p , moet voldoen aan: O_{90} moet kleiner zijn dan of gelijk zijn aan 100 μ m (type 1) en 350 μ m (type 2).

2.5 Met betrekking tot de duurzaamheid van geotextiel type 1 dient men het volgende in acht te nemen:

- De weerstand tegen thermische oxydatie van nonwoven geotextielen moet bepaald worden volgens de NEN-ENV-ISO 13438 (1999), bij een oventemperatuur van 110 ± 1 °C (methode A) voor polypropreen.
- Om het nonwoven te stabiliseren moeten "low-leach" stabilisatoren worden toegepast. Controle moet plaatsvinden volgens NEN 5132.
- De mate van veroudering van monsters nonwoven geotextiel wordt bepaald door middel van de trekproef NVN-ENV 12226 (1997). Na 56

- dagen beproeving volgens NVNENV- ISO 13438 (1999) moet de reststerkte (RV) nog tenminste 70 % van de aanvangssterkte bedragen.
- 2.6 De levensduurverwachting volgens de NEN 5132 dient voor geotextiel type 2, categorie B (NEN 5132) te zijn.
 - 2.7 De breedte van de afzonderlijke banen geotextiel (type 1 en 2) moet ten minste 5,00 m bedragen met een toelaatbare afwijking van $\pm 0,10$ m.
 - 2.8 Het geotextiel (type 1 en 2) mag geen fabricagefouten vertonen.
3. Eisen gesteld aan de uitvoering: geotextiel
- 3.1
 - 3.1.1 De afzonderlijke banen geotextiel (type 1 en 2) mogen evenwijdig aan en haaks op de kruin van het dijklichaam worden aangebracht.
 - 3.1.2 Banen geotextiel (type 1 en 2) leggen met een overlap van ten minste 0,50 m.
 - 3.1.3 Indien de banen geotextiel evenwijdig aan de kruin van het dijklichaam worden aangebracht, moeten de banen van onderaf worden aangebracht, zodanig dat de overlap van de opvolgende hoger liggende baan onder de overlap van de daaronder liggende baan ligt.
 - 3.2 Aanbrengen van steenmaterialen op kunststoffilter
 - 3.2.1 Steenmaterialen op geotextiel (type 1 en 2) aanbrengen op dezelfde dag als het aanbrengen van het geotextiel. Bij werken in getijdengebied, moet voor het volgende hoogwater alle aangebrachte geotextiel worden afgedekt.
 - 3.2.2 Bij het aanbrengen van de steenmaterialen op het geotextiel (type 1 en 2) mogen geen beschadigingen aan het geotextiel (type 1 en 2) optreden. De valhoogte van granulair materiaal 10/60 tijdens het aanbrengen mag niet meer zijn dan 0,5 m, tenzij door middel van praktijkproeven is aangetoond dat de valhoogte groter kan zijn zonder schade aan het geotextiel te veroorzaken. Verdelen van het granulair materiaal over het geotextiel moet met de grootste voorzichtigheid gebeuren. Voorkomen moet worden dat het materiaal in het geotextiel wordt gedrukt.
 - 3.2.3 In de ondergrond mogen geen uitstekende, scherpe of harde voorwerpen voorkomen, die kans geven op beschadiging van het geotextiel (type 1 en 2).
4. Bewijs van oorsprong en monstername
- 4.1 De aannemer verstrekt de directie (of opdrachtgever) een bewijs van oorsprong van de kunststof van de door hem geleverde geotextielen, afgegeven en ondertekend door de producent ervan. Op het bewijs van oorsprong dient vermeld te zijn:
 - 4.1.1 De naam en het adres van de producent;
 - 4.1.2 De naam en codering van het product;
 - 4.1.3 De grondstof en het type van het product met de datum van fabricage, of een code waaruit dit is af te leiden;
 - 4.1.4 Het rolnummer en de rolafmetingen;
 - 4.1.5 Ten minste de volgende productspecificaties:
 - 4.1.5.1 de aërieke massa;

- 4.1.5.2 de karakteristieke poriegrootte 090;
- 4.1.5.3 de permittiviteit;
- 4.1.5.4 de treksterkte in langs- en dwarsrichting;
- 4.1.5.5 de rek bij breuk in langs- en dwarsrichting;
- 4.1.5.6 de duurzaamheidsaanduiding van het toegepaste garen (voor zover van toepassing);
- 4.1.5.7 de statische doordrukkracht;
- 4.1.5.8 een verwijzing naar de door de producent verrichte bedrijfscontrole;
- 4.1.5.9 de datum van afgifte.
- 4.2 Elke aflevering van bouwstoffen overeenkomstig een bewijs van oorsprong dient vergezeld te zijn van een schriftelijke verwijzing hiernaar.
- 4.3 Indien een bouwstof wordt geleverd onder certificaat, afgegeven door een certificatie-instelling die erkend is door de Raad voor Accreditatie, wordt het certificaat geacht het bewijs van oorsprong voor de desbetreffende bouwstof te vervangen.
- 4.4 Met inachtneming van het bepaalde in de volgende leden mogen geotextielen door de aannemer worden verwerkt zonder dat daaraan een goedkeuring door de directie is voorafgegaan.
- 4.5 Bouwstoffen als bedoeld in lid 4, mogen slechts worden verwerkt, nadat de aannemer door eigen onderzoek of uit door derden verstrekte onderzoeksresultaten heeft vastgesteld dat de bouwstoffen aan de gestelde eisen voldoen.
- 4.6 De aannemer bewaart de in lid 5 bedoelde gegevens tot het eind van de onderhoudstermijn.
- 4.7 De directie is bevoegd om tijdens de productie of de aanvoer van het non-woven geotextiel (type 1) monsters te nemen die worden onderzocht op de duurzaamheid volgens NVN-ENV-ISO 13438 (1999) door de producent of bij TNO te Delft.
- 4.8 Monsterneming
 - 4.8.1 Indien de directie overgaat tot keuring van bouwstoffen moet een monster van ten minste 10 m² over de volle productiebreedte en met minimale lengte van 1 m genomen worden uit een schoon en onbeschadigd stuk kunststoffilter.
 - 4.8.2 Uit het monster moeten in totaal 10 proefstukken worden geknipt, waarvan 5 proefstukken voor de inslagrichting en 5 proefstukken voor de kettingrichting. Deze proefstukken worden op willekeurige plaatsen genomen, regelmatig verdeeld over de lengte en de breedte uitgezonderd een strook van 200 mm vanuit de 4 zijden (zie normen NEN 5167 en NEN 5168).
- 5. Bedrijfscontrole: geotextiel
 - 5.1.1 De aannemer is verantwoordelijk voor de bedrijfscontrole tijdens de verwerking van geotextielen van kunststof, structuurmatten van kunststof en folies. Hij stelt de directie in de gelegenheid de bedrijfscontrole te volgen.
 - 5.1.2 De aannemer deelt schriftelijk aan de directie mee van welke producent(en) het geotextiel zal worden betrokken.

- 5.1.3 De aannemer verstrekt de directie onderzoeksgegevens van door de producent of TNO te Delft (of een ander geaccrediteerd laboratorium) uitgevoerd duurzaamheidsonderzoek volgens normen vermeld in artikel lid 2.
- 5.1.4 Binnen een week na ontvangst van de in lid 5.1.2 en lid 5.1.3 verstrekte gegevens deelt de directie mee of en zo ja welke bezwaren zij tegen welke gegevens heeft.
- 5.1.5 Indien de fabrikant beschikt over het KIWA productcertificaat volgens beoordelingsrichtlijn BRL-K22001 kan volstaan worden met het overleggen van bedrijfscontrole resultaten uit de lopende productie.
- 5.1.6 Indien de fabrikant niet in bezit is van genoemd certificaat gelden de eisen voor de bedrijfscontrole zoals vermeld in lid 2.
- 5.1.7 De aannemer bewaart de resultaten van de bedrijfscontrole tot het eind van de onderhoudstermijn.
- 5.2.1 Tijdens de productie van kunststoffilters dient van elke 10.000 m² kunststoffilter een bedrijfscontrole te worden verricht aangaande de treksterkte, de weerstand tegen doorstroming en de grondichtheid, volgens de in artikel 2 lid 2 van dit bestek genoemde normen.
- 5.2.2 Indien de fabrikant beschikt over een intern kwaliteitsbewakingsstelsel (IKB) wordt, in overleg met de directie en/of het keuringsinstituut, aan de hand van het door de fabrikant over te leggen IKB-systeem, nagegaan in hoeverre gebruik kan worden gemaakt van dit IKB-systeem. In geval van gebruik dient het IKB-systeem voor de directie en/of het keuringsinstituut toegankelijk te zijn.
- 5.2.3 Indien de fabrikant gebruik maakt van onder certificaat geleverd garen, dan kan de kwaliteitscontrole van het garen daarop worden afgestemd.

Literatuur

1. Eindrapport CUR-preadviescommissie 80 "Geokunststoffen". Werkrapport, CUR, Gouda, januari 1991.
2. Projectplan werkgroep waterbouw. CUR/NGO-onderzoekcommissie C 80 werkgroep 2 "Waterbouw", CUR, Gouda, 1992.
3. Geotextielen, eigenschappen en testmethoden. C.R.O.W, rapport werkgroep "Kunstinlagen in de wegenbouw", Ede, 1991.
4. CUR-rapport 161, Filters in de waterbouw. CUR, Gouda, 1993.
5. Inventarisatiestudie geotextielen in de waterbouw. Werkdocument C 80-2, CUR, Gouda, mei 1993.
6. CUR-rapport 151, Geokunststoffen in de civiele techniek. CUR, Gouda, 1991.
7. Lafleur, J. e.a., Filtercriteria for well-graded cohesionless soils. Geo-filters '92, Int. Conf. on filters and filtration phenomena in geotechnical engineering, Karlsruhe, 1992.
8. Terzaghi, K. en R.B. Peck, Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Springer Verlag, Berlin, 1961.
9. Klein Breteler, M. en H.J. Verhey, Erosion control by hydronamically sandtight geotextiles, 4th International conference on geotextiles, Geomembrane and related products, Den Haag, mei 1990.
10. CUR-rapport 155, Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen. CUR, Gouda, maart 1992.
11. Soudijn, B.J.J. en R.A.J. DE Kock, Geo-Tubomechanica. Provinciale Waterstaat Zuid-Holland, Den Haag, 1977.
12. Mlynarek, J., Evaluation of Dutch geotextiles filtration performance, phase III: Evaluation of Dutch geotextiles filtration performance by laboratory filtration tests. Montréal, april 1994.
13. Luttich, S., Geotextile filters, designing for the application. Geotextile fabrics report, januari/februari 1993.
14. Geosyntec Consultants, Geotextile filter design manual. NICOLON Corporation, Norcross, oktober 1991.
15. Muhring, W., Über die Anwendung von porenmäßig abgestufter Vliesstoffe beim Ausbau von kunstlichen Wasserstraßen. Sonderdruck aus Heft 69, Franzius Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover, 1989.
16. Mlynarek, J., Evaluation of Dutch geotextiles filtration performance, phase II: Review of existing geotextile filter criteria. Montréal, mei 1993.
17. Smith, G.M., Performancetesten op geotextielen onder cyclische belasting. H 1834, Waterloopkundig Laboratorium, De Voorst, januari 1994.
18. Waterloopkundig Laboratorium, Helmond, Geotextiel op leem. Brief aan RWS DWW, kenmerk RS6154/Q733.00/HP/tk, De Voorst, 10-11-1987.
19. Berkhout, H., Relevantie van de dikte en het fabricageproces van geotextiele filters in de filtercriteria in relatie tot de toepassing. R.A. 5.875, AKZO, 8 januari 1993.
20. Analyse resultaten hellingproeven. CO-342210/8, Grondmechanica Delft, augustus 1994.
21. Berensen, E., De invloed van het storten van steen op geotextielen. Werkrapport CUR C 80-2, Delft, 9 maart 1994.
22. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Overgangsconstructies in dijkbekledingen. Dienst Weg- en waterbouwkunde, Delft, oktober 1992.

23. Heerten, G., Geotextiles in coastal engineering, 25 years experience, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 1, no.2, 1982.
24. Reitsma, J., Doorgroeibaarheid van geotextielen. Pilotstudie, PMO-rapport nr.18, CUR, Gouda, februari 1992.
25. Gourc, J.P. en Y.H. Faurc, The soil partiele, the water... and the fiber, a fruitful interaction now controlled. 4th International Conference en Geotextiles and Geomembranes, Den Haag, 1990.
26. Rigo, J.M. e.a., Inventory of current geotextile test methods and standards. International Geotextile Society, Brussel, 1990.
27. Mlynarek, J. e.a., Geotextile filter design based on the filtration opening size obtained by hydrodynamic seiving. Geo-filters '92, Int. Conf. on filters and filtration phenomena in geotechnical engineering, Karlsruhe, 1992.
28. Veldhuizen Van Zanten, R., Geotextiles and geomembranes in civil engineering. A.A. Balkema, Rotterdam, 1986.
29. CUR-rapport 175, Wegenbouw op slappe ondergrond met behulp van geokunststoffen. CUR, Gouda, januari 1995.
30. Standaard RAW-bepalingen. Stichting C.R.O.W, 1990.
31. Ivens, M., Doorgroeibaarheid van geotextielen. Rijkswaterstaat Dienst Wegen Waterbouwkunde, Delft, 1994.
32. Adel, H. Den, Invloed trekspanning op de waarde van σ_{90} . CO-342200/10, Grondmechanica Delft, juli 1994 (concept).
33. CUR publicatie 214 (2004), Geotextiele zandelementen ,CUR, Gouda.
34. CUR publicatie 217 (2006), Ontwerpen met geotextiele zandelementen ,CUR, Gouda.
35. Pilarczyk K.W. (2000), Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering, A.A. Balkema, Rotterdam.
36. Long-term performance of Nonwoven Geotextile Filters in five coastal and bank protection projects, Mannsbart, Christopher, Elsevier, Geotextiles and geomembranes 15 (1997).
37. d'Angremond (1996), Erosion control and bank protection, Geosynthetics: application, design and construction.
38. R. Koerner, T. Soong (1998), Analysis and design of veneer cover soils, Sixth international conference on Geosynthetics.
39. Bezuijen, Köhler (1996), Filter and revetment design of water imposed embankments induced by wave and draw-down loadings, Geosynthetics: application, design and construction.
40. Koerner , G.R., R.M. Koerner (2006) Geotextile tube assessment using a hanging bag test, Geotextiles and Geomembranes 24.
41. Herpen, J.A. Van (1980) Enkamat Design Guide, Colbond Geosynthetics.
42. Drooger , W. (1980), Kunststoffilters in Kust- en Oeverwerken, W., Nederlands Vereniging Kust- en Oeverwerken.
43. McKee Smith, J. (1997), One-dimensional wave-current interaction, Coastal Engineering Technical Note, U.S. Army Waterways Experiment Station, Coastal and Hydraulics Laboratory.
44. CUR publicatie 206 (2002), Geokunststoffen op de bouwplaats ,CUR, Gouda.
45. Schiereck, G.J. (2001), Introduction to bed, bank and shore protection, Delft University Press, Delft.
46. CUR publicatie 190 (1997), Kansen in de civiele techniek, deel 1: Probabilistisch ontwerpen in theorie, CUR, Gouda.

47. CUR/NGO publicatie 211 (2003), Handboek kademuren, CUR, Gouda.
48. British Standard BS 8006: 1995 (1999), Code of practice for strengthened / reinforced soils and other fills. British Standards Institution, UK.
49. CUR publicatie 162 (1992), Construeren met grond. Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond, CUR, Gouda.
50. Heibaum, M., A. Fourie, H. Girard, G.P. Karunaratne, J. Lafleur, Palmeira, E.M. (2006), Hydraulic applications of geosynthetics, Geosynthetics, Millpress, Rotterdam. (proc. 8th Int. Conf. on Geosynthetics, Yokoham, Japan.
51. Heibaum, M. (2004), Geotechnical filters – The important link in scour protection, 2nd international conference on scour and erosion, Singapore.
52. Adel, H. den (1995), Invloed trekspanning op de waarde van σ_{90} , GeoDelft rapport 342200, GeoDelft, Delft.
53. CUR publicatie 166 (2005), Damwandconstructies, CUR, Gouda.
54. TAW (2002), Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.
55. TAW (2003), Technisch rapport steenzettingen, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.
56. Ciria (2007), Manual on the use of rock in hydraulic engineering, Ciria, Londen.
57. Morgan, R.P.C., Finney, H.J. en E. Meritt (1984), Effectiveness of Enkamat in controlling soil erosion by water on steeply-sloping embankments, Publication of Silsoe College, Silsoe, UK.
58. CUR (2004), Werkrapport CUR-Commissie F041, Schade aan geotextielen onder dijkbekleding van steenbestorting, CUR, Gouda.
59. Pilarczyk K.W. (2000), Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering, A.A. Balkema, Rotterdam.
60. Bezuijen en Köhler (1996, Filter and revetment design of water imposed embankments induced by wave and draw-down loadings. Proc. EuroGeo 1, Maastricht.
61. Bezuijen, Klein Breteler en Bakker (1987), Design criteria for placed Block revetments and granular filters, proceedings of the second international conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Beijing, China
62. Klein Breteler, M., G.M. Smith, K.W. Pilarczyk (1994), Performance of geotextiles on clay and fine sand in bed and bank protections, 5th Int. Conference on Geosynthetics, Singapore.
63. Adel, den H. (1986) Her-analyse doorlatendheidsmetingen door middel van de Forchheimerrelatie, Grondmechanica Delft, Delft.
64. Graauw, A. de, Meulen T. van der, Does de Bye M. van der (1983). Design criteria for granular filters. Delft Hydraulics Laboratory publication no. 287, Januari.
65. Klein Breteler. Documentatie STEENTOETS 4.05, Delft Hydraulics, november 2005.
66. Bezuijen, A. M. Klein Breteler, K.W. Pilarczyk, Large scale tests on a Block revetment placed on sand with geotextile as an separation layer, Third International Conference on Geotextiles, 1986, Vienna, Austria.
67. CR ISO 13434 (1998) Guidelines on durability of geotextiles and geotextile-related products.

Bijlage A. Introductie geotextielen

Deze bijlage is ontleend aan hoofdstuk 1, zoals opgenomen in [44].

1 WAT ZIJN GEOKUNSTSTOFFEN?



Een innovatieve toepassing van geokunststoffen: Geotubes bij het naviduct Enkhuizen.



Kunststofkorrels als grondstof voor de productie van geokunststoffen.

Geokunststoffen is een verzamelnaam voor kunststofproducten die al vele jaren in de civiele- en milieutechniek worden toegepast. De vele soorten geokunststoffen hebben in de loop van de tijd een breed scala aan toepassingen gevonden.

Afhankelijk van de toepassing worden verschillende eisen gesteld aan de eigenschappen van de geokunststoffen.

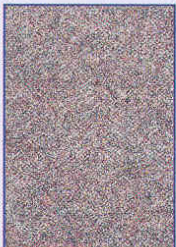
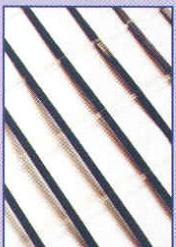
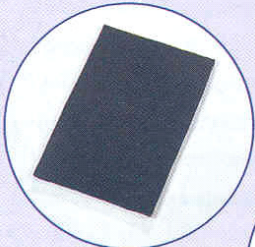
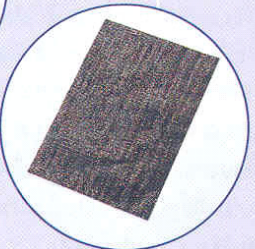
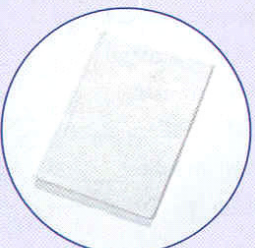
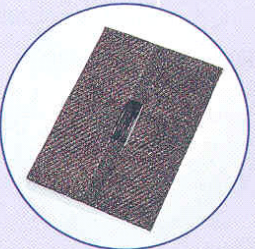
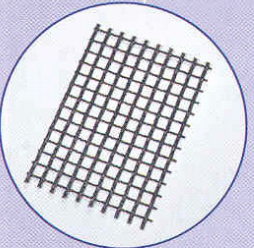
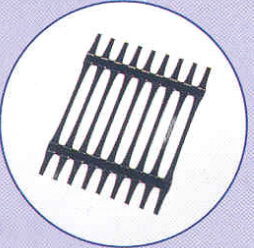
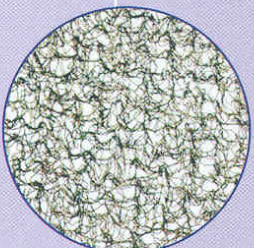
De geokunststoffen zijn in drie productgroepen verdeeld, die op hun beurt weer zijn onderverdeeld in soorten geokunststoffen.

We kennen zeven soorten geokunststofproducten. Een overzichtelijke indeling van de geokunststoffen met daarbij hun belangrijkste eigenschappen vindt u op de volgende twee bladzijden.

Voor geokunststoffen in de civiele techniek worden vooral polyester, polypropreen, polyetheen en polyamide toepast. In de milieutechniek wordt voornamelijk polyetheen toegepast vanwege de bestendigheid tegen de vaak voorkomende chemische belasting. Polyvinylchloride wordt gebruikt voor folies en drainage- of afvoerbuizen.

1.1 GRONDSTOFFEN

Geokunststoffen worden gemaakt van kunststofkorrels, die als halffabrikaat worden vervaardigd op basis van aardolie (PET, PP) of steenkool (PE). De korrels worden gesmolten en na extrusie, ontstaan tussenproducten zoals: draden, garens, vezels, bandjes (smalle stroken) en folies. Veel voorkomende grondstoffen voor het maken van geokunststoffen zijn:

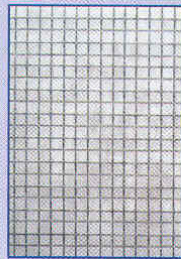
GEOTEXTIELEN		OVERIGEN	
Vliezen	Weefsels	Geogrids	Structuurmatten
			
Grond dicht en waterdoorlatend Slecht / matig doorgroeibaar	Hoge sterkte Meestal grond dicht en waterdoorlatend Slecht / matig doorgroeibaar	Hoge sterkte Niet grond dicht, waterdoorlatend Goed doorgroeibaar	Niet grond dicht, waterdoorlatend Goed doorgroeibaar
   		   	

VERVOLG OVERIGEN

Drainagematten /
drainagestrips

Grond dicht en
waterdoorlatend

Geocomposieten



Grond dicht en
soms water-
ondoorlatend



GEOMENBRANEN

Bentonietmatten



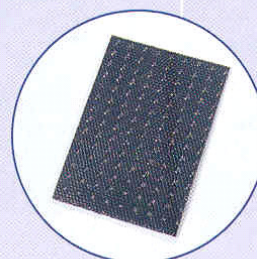
Water- en grond-
dicht



Kunststoffolie



Water- en
gronddicht

Bitumineuze
banen

Water- en
gronddicht



Polyester (polyetheentereftalaat, PET)

Eigenschappen

- ▶ goede hardheid en stijfheid
- ▶ goede sterkte en taaheid, ook bij lage temperatuur
- ▶ hoge maatvastheid en duurstabiliteit
- ▶ hoge slijtvastheid

Toepassingen

- ▶ kleding, folies, (frisdrank)flessen



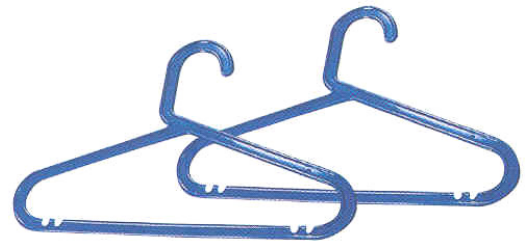
Polypropeen (PP)

Eigenschappen

- ▶ hoge stijfheid en hardheid
- ▶ vaak koudegevoelig

Toepassingen

- ▶ drinkbekers, éénmalig serviesgoed, kledinghangers, video- en muziekcassettedoosjes, speelgoed, folies en weefsel



Polyetheen (PE)

Eigenschappen

- ▶ zeer taa
- ▶ waterafstotend
- ▶ goede slagvastheid

Toepassingen

hoge dichtheid polyetheen (H D P E)

- ▶ emmers, kratten, flessen, vaten, speelgoed, huishoudelijke artikelen, buizen en putten.

lage dichtheid polyetheen (L D P E)

- ▶ verpakkingsfolie, zakken, buizen, pleister



Voorbeeld hoge dichtheid polyetheen (H D P E)



Voorbeeld lage dichtheid polyetheen (L D P E)

Polyamide (PA)

Eigenschappen

- ▶ hoge stijfheid en hardheid
- ▶ hoge taaheid en sterkte
- ▶ slijtvast
- ▶ goede weersbestendigheid

Toepassingen

- ▶ tandwielen, lagers, kleding, auto's, computer-behuizing



Polyvinylchloride (PVC)**Hard PVC***Eigenschappen*

- ▶ stijf en hard
- ▶ geringe wateropname
- ▶ licht-, weer- en verouderingbestendig in gestabiliseerde toestand

Toepassingen

- ▶ drinkwater- en afvoerbuizen, dakgoten, kabels, flessen, vloertegels, creditcards

**Zacht PVC***Eigenschappen*

- ▶ goede flexibiliteit en taaiheid
- ▶ trillingendempend
- ▶ slijtvast

Toepassingen

- ▶ (tuin)slangen, laarzen/schoeisel, opbergmappen, (vijver)folie



De eigenschappen van de grondstoffen staan in onderstaande tabel. Genoemde waarden zijn indicatief. Er zijn aanzienlijke verschillen tussen de polymeereigenschappen van onverstekte producten als folies, structuurmatten en geonetten, en verstekte producten als geogrids, weefsels en vliezen. Weefsels en vliezen worden niet zelf verstrekt, maar worden gemaakt uit verstekte garens,

Tabel: Eigenschappen van grondstoffen van geokunststoffen (indicatieve waarden).

Grondstof	Soortelijke massa (kg/m ³)	Treksterkte bij 20°C (N/mm ²)	Elasticiteitsmodulus (N/mm ²)	Rek bij breuk (%)	Smelpunt (°C)
Polyester	1380	800 - 1200	12.000 - 18.000	8 - 15	250
Polypropreen	900	400 - 600	2.000 - 5.000	10 - 40	160
Polyetheen LDPE	920	80 - 250	200 - 1.200	20 - 80	110
Polyetheen HDPE	950	350 - 600	600 - 6.000	10 - 45	135
Polyamide	1140	700 - 900	3.000 - 4.000	15 - 30	220
Polyvinylchloride (zacht)	1250	18 - 50	10 - 100	50 - 150	-

monofilamenten en/of bandjes. Bij verstrekte producten liggen de molecuulketens evenwijdig aan elkaar, waardoor de sterkte belangrijk toeneemt en de rek afneemt. Naast kunststoffen worden tegenwoordig ook biologisch afbreekbare geotextielen toegepast van natuurlijke grondstoffen. De in Nederland gebruikte grondstoffen zijn:

Kokos

Kokosvezels zijn afkomstig uit Sri Lanka, Thailand, India en Ghana. De vezels hebben een lengte die varieert van 5-10 cm. Van lange vezels wordt touw geslagen dat in weefsels wordt verwerkt. Korte vezels worden gebruikt voor de fabricage van vliezen.



Kokos

Sisal

Sisal is een bladvezel die wordt gewonnen uit diverse soorten Agave. Omdat elk soort andere eigenschappen heeft, is er veel kwaliteitsverschil in de vezels. De vezels, die een lengte van 7-10 cm hebben, worden tot draden gesponnen waarvan weefsels worden gemaakt. Sisal wordt vooral in Brazilië, Kenia en Tanzania geproduceerd.



Sisal

Jute

Jute behoort tot de plantenfamilie Tiliacea en wordt geïmporteerd uit India en Bangladesh. Van de vezels worden draden gesponnen die tot weefsels worden verwerkt. Van de kortere vezels worden vliezen gemaakt.



Jute

Stro

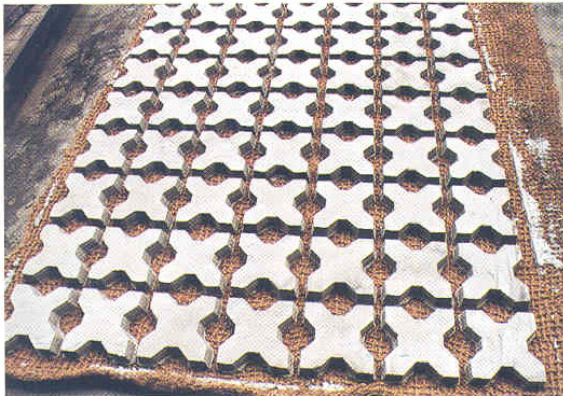
Er is verschil in de kwaliteit van stro afkomstig van zomer- of wintertarwe, rogge, gerst, haver en peulvruchten. Stro kan worden geperst tot platen of worden gebonden tussen jute- of kunststofnetten tot matten.



Stro

Riet

Riet komt voor langs de waterkant en in drassige gebieden. Riet wordt gebruikt voor de fabricage



Een kokosmat met daarop zandcement blokjes.



Aanbrengen kokosmat met zandcement blokjes.



Een kokosgeotextiel met gekweekte oeverplanten langs een waterpartij in de gemeente Wieringermeer.



Natuurvriendelijke oever: damwand met een plasberm langs het Twenthe kanaal. Het talud is voor de eerste twee groeiseizoenen beschermd met een kokosgeotextiel.

van matten, voor bescherming van het geotextiel in kraag- en zinkstukken en voor stuifschermen en is al eeuwen een prima dakbedekkingsmateriaal.

Producten gemaakt van deze natuurlijke grondstoffen hebben door hun biologische afbreekbaarheid een beperkte levensduur en kunnen alleen worden toegepast in lichte constructies met een gering veiligheidsrisico. Ze vervullen een (tijdelijke) functie die later komt te vervallen of die wordt overgenomen door bijvoorbeeld de vegetatie. Er zijn milieuvriendelijke methoden om natuurlijke vezels te verduurzamen.

Nadere informatie over deze materialen staat in de CUR/RWS-publicatie 194 *Vernieuwbare materialen in en rondom oevers*.

1.2 OVERZICHT GEOKUNSTSTOFFEN

VLIEZEN

Vliezen worden veelal toegepast als een scheidings- of beschermingslaag.

Vliezen zijn samengesteld uit korte vezels die met elkaar verbonden worden. Vliezen zijn dus niet-geweven geotextielen. Ze worden daarom ook non-wovens genoemd in tegenstelling tot wovens ofwel weefsels.

Kenmerken

- ▶ een doek van vezels die onderling zijn gebonden
- ▶ praktisch altijd grond dicht
- ▶ dun tot zeer dik: 0,4 mm - 15 mm
- ▶ grote rek: 35% - 80%
- ▶ weinig treksterkte: 3 kN/m - 30 kN/m
- ▶ slecht / matig doorgroeibaar voor riet en andere planten.

Functies

- ▶ scheiden
- ▶ filtreren
- ▶ beschermen, bij voldoende dikte
- ▶ beperkt draineren, bij voldoende dikte

Grondstoffen

- ▶ polypropreen, polyetheen, polyester
- ▶ kokos, jute

Hoe gemaakt

Vliezen worden gemaakt van kunststofvezels die in een willekeurige richting worden gelegd en aan elkaar worden verbonden. Dit gebeurt meestal mechanisch door samenrollen en naaldprikken, maar de vezels kunnen ook thermisch (warmte) of chemisch (lijmen) aan elkaar worden verbonden.



Blokkenmat op een vlies wordt met piketpalen op het talud verankerd.



Aanbrengen vlijlaag op een vlies voor een dijk-bekleding langs de Westerschelde.



Vlies als scheidingslaag in een wegfundering.



Vlies als scheidingslaag in een wegfundering op een ondergrond met gering draagvermogen.

WEEFSELS (WOVENS)

Weefsels worden toegepast waar een stabilisatie of wapening met een grondscheiding nodig is. Zoals bijvoorbeeld bij zink- en kraagstukken in de waterbouw. De filtereigenschap van het weefsel is afhankelijk van de openingsgrootte van het weefsel, de korrelgrootte van de aanliggende grond en de optredende waterstroming. De sterkte van het weefsel kan in langs- en dwarsrichting sterk verschillen.

Zwaardere weefsels zijn geschikt voor het wapenen van de grond, lichtere weefsels voor stabilisatie en scheiding.

Kenmerken

- ▶ doek van geweven draden/bandjes/garens
- ▶ de openingsgrootte kan zeer verschillend zijn: 0,130 mm - 0,500 mm
- ▶ geringe dikte 0,4 mm - 5 mm
- ▶ lichte weefsels hebben een sterkte tot ca. 100 kN/m
- ▶ zwaardere weefsels hebben een sterkte tot ca. 1.000 kN/m
- ▶ slecht / matig doorgroeibaar voor riet en andere planten

Funcities

- ▶ stabiliseren / wapenen
- ▶ filteren
- ▶ scheiden

Grondstoffen

- ▶ polypropreen, polyester, polyetheen
- ▶ kokos, jute

Hoe gemaakt

Weefsels worden gemaakt door garens of kunststofbandjes te weven. De draden in de lengterichting noemt men de 'ketting', de draden in de dwarsrichting de 'inslag'.



Een weefsel met daarop betonblokjes circa een jaar na aanleg.



Aanleg van een oeverconstructie met weefsel bij een kanaal met verlaagde waterstand.



Zinkstuk, een weefsel met een roosterwerk van wiepen, dat gereed ligt op de zate (hulpkade) voor transport naar de afzinklocatie.

GEOGRIDS (ROOSTERS)

Geogrids zijn grofmazige netwerken van evenwijdig lopende draden die op de kruispunten zijn verbonden. Geogrids kunnen bij geringe rek grote krachten opnemen. Ze worden toegepast voor het stabiliseren en wapenen van grondlichamen, funderingsmateriaal, asfalt enz. De rasteropeningen zijn enkele centimeters groot.

Kenmerken

- ▶ sommige geogrids vormen één geheel doordat ze worden gemaakt door direct te extruderen (vloeibaar in de vorm brengen) of door het ponsen van gaten en daarna verstrekken: de knooppunten zijn van oorspronkelijk materiaal en vormvast
- ▶ sommige geogrids worden gemaakt van afzonderlijke langs- en dwarselementen (draden/bandjes/garens) die op de kruisingen worden verbonden
- ▶ geogrids hebben grote openingen ($> 20 \text{ mm}$)
- ▶ bij geringe rek hebben geogrids in het algemeen een relatief grote sterkte
- ▶ sommige typen hebben een grote sterkte in één richting (uniaxiaal); de sterkte in dwarsrichting is 10% tot 30% van de langsterkte
- ▶ andere typen hebben een gelijke sterkte in twee richtingen (biaxiaal)
- ▶ Geogrids zijn door de grote openingen zeer goed doorgroeibaar

Functie

- ▶ stabiliseren/wapenen

Grondstoffen

- ▶ polypropreen, polyetheen, polyester



Verwerken van een geogrid in de fundering van een overslagplaats en in de fundering van een weg.



Steilbouwconstructie met toepassing van een geogrid.

Hoe gemaakt

Geogrids worden gemaakt door:

- ▶ het direct extruderen
- ▶ het ponsen van gaten in een folie die vervolgens in één of twee richtingen wordt verstrekt, of
- ▶ het over elkaar leggen of weven van losse garens of banden die aan elkaar worden verbonden op de kruispunten.

STRUCTUURMATTEN

Een structuurmat is een driedimensionale mat. Als anti-erosiemat neemt de structuurmat tijdelijk of permanent de functie van het wortelstelsel van de begroeiing over. De structuurmat kan worden gevuld met grond of split (2 - 6 mm), al of niet gebonden met bitumen, afhankelijk van de toepassing: wind- of watererosie. Anti-erosiematten kunnen, afhankelijk van de vereiste levensduur, van kunststoffen of van natuurlijke materialen worden gemaakt. Ook zijn vooraf begroeide matten leverbaar.

Kenmerken

- ▶ driedimensionale structuur, onder te verdelen in wirwar-, rib- en roosterstructuren
- ▶ de mat heeft een dikte van 10 mm - 25 mm
- ▶ de mat is zowel gevuld als niet gevuld goed doorgroeibaar.

Functie

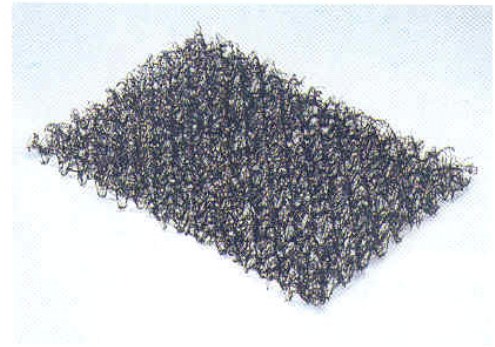
- ▶ de anti-erosiemat vormt een kunstmatig wortelstelsel en biedt zo een goede bescherming tegen erosie door stroming en beperkte golfaanval.

Grondstoffen

- ▶ polypropreen, polyetheen, polyamide
- ▶ kokos

Hoe gemaakt

Een structuurmat heeft een ruimtelijke structuur en bestaat veelal uit meerdere lagen met verschillende functies die aan elkaar worden bevestigd.



Structuurmat



Erosiemat in waterbouwtoepassing



Voorgevulde erosiemat in waterbouwtoepassing. De begroeiing is al in het eerste groeiseizoen zichtbaar.

DRAINAGEMATTEN / -STRIPS

Een drainagemat wordt toegepast om water af te voeren. De drainagemat is een geocomposiet bestaande uit een drainagekern die het water afvoert en die aan één of beide zijden voorzien is van een grondkerend filtervlies. Drainagematten kunnen horizontaal, verticaal en op een helling worden gebruikt. De drainagestrips zijn smal, ca. 10 cm, en worden verticaal in de grond aangebracht voor een snellere zetting van de grond.

Kenmerken

- ▶ een drainagekern wordt afgedekt door één of twee vliezen
- ▶ de drainagekern kan bijvoorbeeld een structuurmat zijn
- ▶ dikte: 5 mm - 25 mm

Functie

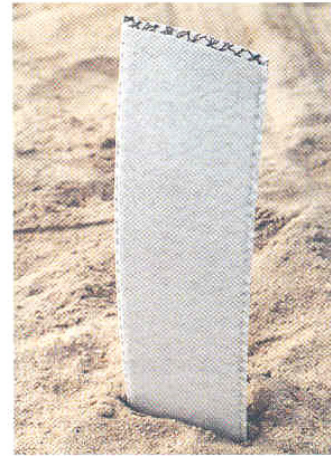
- ▶ drainagemat; afvoer van water of gas uit een vuilstort, of mestopslag.
- ▶ drainagestrips; afvoer van water, dit zorgt voor snellere zetting van de ondergrond

Grondstoffen

- ▶ polypropreen, polyester, polyamide, polyetheen

Hoe gemaakt

Een drainagemat/-strip bestaat uit een drainagekern en één of twee vliezen die aan elkaar worden bevestigd.



Drainagestrip. Verticale drainage voor het versnellen van zetting in de ondergrond voor de bouw.



Drainagemat in de bovenafdekking van een gesloten vuilstortplaats.



Het plaatsen van een verticale drainage voor het ontwateren van een landbouwweg.



Drainagematten met een drainagebuis op de zijwand van een viaduct zorgen voor de waterafvoer. ▶

GEOCOMPOSITEN

Een geocomposiet bestaat uit meerdere lagen waarbij iedere laag zijn eigen functie vervult. Hierdoor kan een geocomposiet verschillende functies tegelijk vervullen. Een drainagemat bijvoorbeeld combineert de functies: scheiden, filtreren en het afvoeren van water of gas.

Kenmerk

- ▶ geocomposieten zijn een combinatie van diverse soorten geokunststoffen; hierdoor ontstaan bijvoorbeeld de volgende producten:
 - ▶ bentonietmat, een vlies waarin bentonietpoeder is verwerkt.
 - ▶ drainage- of ontgassingsmat
 - ▶ geogrid met vlies of weefsel
 - ▶ combinatie van een weefsel waarop als bescherming een vlies is aangebracht.

Functies

- ▶ scheiden
- ▶ filtreren
- ▶ wapenen
- ▶ draineren
- ▶ afdichten

Grondstoffen

- ▶ polypropeenpolyetheen,, polyester, polyamide, pvc
- ▶ bentoniet
- ▶ kokos

Hoe gemaakt

Een geocomposiet bestaat uit verschillende producten die in lagen aan elkaar worden bevestigd.



Geocomposiet: grid met een vlies



Geocomposiet: grid met een vlies

GEOMEMBRANEN

Geomembranen worden toegepast als een vloeistofdicht scherm, bij verdiepte ligging van wegconstructies of tunneltoeritten en bodembeschermende voorzieningen, zoals bij stortplaatsen en (mest)bassins. Geomembranen zijn dunne, waterdichte lagen. Daarom zijn ook de kunststoffolies onder deze begripsnaam gebracht. Bentonietmatten en bitumineuze banen zijn composieten die bestaan uit natuurlijk materiaal en een kunststof vlies of weefsel.

Kenmerk

- dunne, waterdichte laag

Voorbeelden:

kunststoffolies

bentonietmatten

bitumineuze banen

Functie

- water- en gasdichte afdichting, scheiden

Grondstoffen

kunststoffolies:

hoge- tot lage dichtheid polyetheen, polyvinylchloride en polypropreen

bentonietmatten:

bentoniet + vliezen en/of weefsels

bitumineuze banen:

bitumen + vlies en/of weefsels

Hoe gemaakt

Kunststoffolies worden vlak of rond geëxtrudeerd, waarna de folie op een bepaalde dikte kan worden gewalst en al of niet van een oppervlaktestructuur worden voorzien. (pvc wordt gecallandreerd.)



Aanbrengen van een bentonietmat met behulp van een evenaar.



Composietconstructie als bescherming van A.V.I. bodemas langs rijksweg 12.



Leggen van LDPF folie bij de tunneltoeritten van de Øresund-tunnel tussen Zweden en Denemarken.



Waterbassin van kunststoffolie in het Westland.



Aanbrengen van de folieconstructie voor het aquaduct in IJburg. Door de vorm van de toerit is de folie op een speciaal ponton aan elkaar gelast en later afgezonken.



Leggen van LDPF folie als een waterdichte laag onder de grasmatten van de Arena.

tonietmatten bestaan uit een sandwich van weefsels en/of vliezen die wordt gevuld met toniet, waarna het onderste en bovenste weefsel met textiel door bijvoorbeeld naaldprikken of lijm aan elkaar worden bevestigd.

lumineuze banen worden samengesteld uit een weefsel en/of weefsel waarop een bitumenproduct wordt aangebracht.

Bijlage B. Hydraulische belastingen

Zoals al aangegeven in hoofdstuk 2 en 3, geldt als praktische regel dat in eerste instantie een geometrisch dichte constructie wordt toegepast. Als dit niet mogelijk is, dan wordt een geometrisch open constructie overwogen. Van groot belang bij het ontwerp van een geometrisch open geotextiel (de basiskorrels kunnen fysiek door het geotextiele filter), is de hydraulische belasting die hierop wordt uitgeoefend. Deze wordt uitgedrukt in een hydraulische gradiënt, ofwel het verhang over het filter. Om dit verhang uit te rekenen is veelal een numerieke stromingsberekening noodzakelijk. Hieronder en in Bijlage C volgen richtlijnen die een indruk geven wat van belang is bij een geometrisch open constructie. Dit is echter geen ontwerprichtlijn. In geval van een geometrisch open ontwerp moet altijd contact opgenomen worden met een expert voordat een dergelijk ontwerp in een constructie wordt toegepast.

Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen:

- Een hydraulische gradiënt evenwijdig aan het grensvlak/stationaire stroming;
- Een hydraulische gradiënt evenwijdig aan het grensvlak/niet-stationaire stroming;
- Een hydraulische gradiënt loodrecht op het grensvlak/stationaire stroming;
- Een hydraulische gradiënt loodrecht op het grensvlak/niet-stationaire stroming.

Vaak is er een schuin op het grensvlak invallende stroming. Beide stromingen moeten dan worden beschouwd. Het blijkt dat in de meest voorkomende constructies één van de componenten (loodrecht of evenwijdig) overheerst. Figuur 112 toont een schematisatie van stromingsomstandigheden.

Het verhang resulteert in een sleepkracht op de korrels. Als deze kracht voldoende groot is, kan dit leiden tot erosie van het basismateriaal. Dit geldt voor beide verhangen. De verhangen kunnen, afhankelijk van de richting van het verhang en de constructie, ook bijdragen tot stabiliteitsverlies van de totale constructie.

Alleen wanneer het maximaal optredende verhang kleiner is dan een zekere waarde kan winst gehaald worden met een geometrisch open filter. Bij een verhang van 1, evenwijdig aan het talud, zal een geometrisch open filter geen voordeel op leveren.

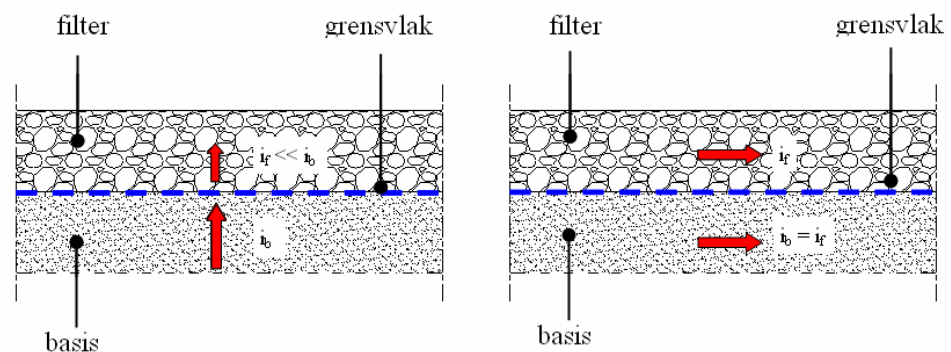
Voor een verhang loodrecht op het talud geldt dat, in geval van stationaire stroming, verhangen tot meer dan 6 met een open filter kunnen worden gerealiseerd [64]. Er ontstaat dan een soort boogvorming. Voor cyclische verhangen is de 'winst' (de openingen in het geotextiel mogen groter zijn) die met een geometrisch open filter is te halen veel kleiner, omdat de boogvorming niet kan optreden [64].

Voor een verhang evenwijdig aan het filter, hangt de winst die is te boeken met een open filterconstructie af van de grootte van de korrels in het basismateriaal [64]. De meeste winst in de verhouding $n_f \cdot D_{15f} / D_{50b}$ is te verwachten bij een filter met in het basismateriaal relatief kleine korrels.

Zo is volgens [64] een filter geometrisch stabiel wanneer: $n_f \cdot D_{15f} / D_{50b} < 1.7$. Voor een verhang van maximaal 0.1 is deze factor 30 voor een ondergrond bestaande uit zand met een D_{50} van 150 μm , maar slechts 5.5 voor een basismateriaal met een D_{50} van 15 mm.

Welke transportvorm domineert, hangt af van de locatie van het filter in de constructie. Transport evenwijdig aan het grensvlak is het belangrijkste bij monolitische constructies (bijvoorbeeld de fundering van de Oosterschelde stormvloedkering) en bodemverdedigingen. Transport loodrecht op het grensvlak is dominant bij drainagefilters, filterkaden, perskaden en fundatiebedden of delen daarvan onder golfbrekers. Bij oever- en dijkbekledingen kunnen horizontale of verticale verhangen dominant zijn, afhankelijk van de constructie en de belasting.

Fig. 112
Stromingsomstandigheden.



- a) Stroming loodrecht op grensvlak. Voor een stroming van het basismateriaal, door het geotextiel en vervolgens door de toplaag heen, geldt dat $i_f \ll i_b$ omdat de doorlatendheid van de filterlaag veel groter is.
- b) Stroming evenwijdig aan grensvlak, voor een parallelle stroming geldt dat het verhang in de toplaag ongeveer gelijk is aan het verhang in de basislaag.

Soms is de exacte belasting op het geotextiel en de basiskorrels lastig te kwantificeren, waardoor de ontwerper aan de veilige kant blijft en kiest voor een geometrisch dicht ontwerp, waarbij onder geen enkele omstandigheid transport door het geotextiel kan optreden.

Voor het ontwerp van een geometrisch open geotextiel in een situatie met stationaire stroming evenwijdig aan het grensvlak, zijn door Klein Breteler et al [62] en Bezuijzen et al [61] ontwerpregels ontwikkeld. Bezuijzen geeft de theoretische achtergrond en beschrijft kort de uitgevoerde proeven. Er zijn proeven uitgevoerd met stroming parallel aan het talud (ook onder een helling), met verhangen loodrecht en parallel en met verhangen die ook een cyclische component hebben.

De belasting bij het grensvlak kan bepaald worden door één van onderstaande verhangen, of een combinatie daarvan:

1. Verhang als gevolg van waterstandsverschil (zie B.1);
2. Verhang als gevolg van de stroomsnelheid (zie B.2);
3. Verhang als gevolg van golven (zie B.3).

B.1 Verhang als gevolg van waterstandsverschil

Het verval (ΔH) over een kunstwerk of dam gedeeld door de geschatte weglengte (B) van het water (of stroomlijnlengte) levert een redelijke schatting van het maximale langsverhang van de externe belasting (i_{bodem} , zie formule B.1 en figuur 113).

$$i_{\text{bodem}} = \frac{\Delta H}{B_L} \quad (\text{B.1})$$

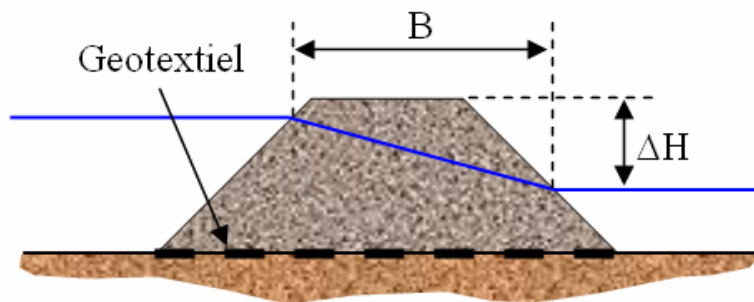
waarin:

i_{bodem} = verhang over constructie [-];

ΔH = verval over constructie [m];

B_L = stroomlijnlengte [m].

Fig. 113
Extern verhang ove
constructie.



Als de dam, weergegeven in figuur 113, ondoorlatend is dan moet B bepaald worden ter plaatse van het geotextiel. Zoals te zien is in de figuur wordt B dan groter, waardoor het verhang afneemt. Dit kan een aanzienlijk verschil opleveren met de situatie waarbij de dam open is.

B.2 Verhang bodembescherming als gevolg van stroming

In kanalen, rivieren en achter uitstroomconstructies wordt de toplaag en dus ook het onderliggende filter en/of geotextiel belast door stroming. De hydraulische belastingen in de vorm van verhangen dienen dus bekend te zijn om een goed filterontwerp te maken. Voor relatief open bodembeschermingen mag het gemiddelde langsverhang ter plaatse van de toplaag één op één naar het grensvlak filterlaag-geotextiel doorvertaald worden. De verticale verhangen worden voor granulaire bodembeschermingen relatief klein verondersteld.

Het bepalen van het gemiddelde langsverhang (drukverschil) ter plaatse van de toplaag is in veel gevallen een complexe zaak, die de nodige expertise vereist. Alleen in het geval van uniforme stroming in een kanaal of een rivier kan op eenvoudige wijze het gemiddelde langsverhang ter plaatse van het grensvlak bepaald worden en wel met:

$$i = \frac{U^2}{d \cdot C^2} \quad (\text{B.2})$$

waarin:

i = langsverhang [-]

U = stroomsnelheid [m/s]

d = waterdiepte [m]

C = Chezy-coëfficiënt [$\text{m}^{0.5}/\text{s}$]

Dit verhang zal in de Nederlandse omstandigheden, waar de waarde van de Chezy-Coëfficiënt meestal tussen de 20 and 40 m^{0.5}/s varieert, nooit groter zijn dan een paar procent.

In alle andere gevallen, en dan met name achter uitstroomconstructies en bij een belasting door bijvoorbeeld de schroefstraal van een schip, zijn lastige (reken)exercities nodig. Hiervoor zijn diverse modellen (mathematisch en fysisch) en empirische rekenregels beschikbaar. Voor deze niet uniforme condities wordt vaak gebruik gemaakt van Chezy-achtige benadering waarbij vergrotingsfactoren worden toegepast. Daarnaast zijn voor granulaire filters diverse rekenregels ontwikkeld die impliciet de hydraulische belasting op het filter bepalen. Hoewel deze niet van toepassing zijn voor geotextielen, wordt hier toch naar verwezen aangezien het geotextiel vaak onderdeel uitmaakt van een granulair filter. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar [4].

Een alternatieve methode voor de bepaling van het verhang ter plaatse van het grensvlak gaat direct uit van de stabiliteit van de toplaag (in feite is bovenstaande methodiek impliciet verwerkt in de toplaagstabiliteit). Als de toplaag instabiel wordt hoeft ook het geotextiel zijn functie niet meer te vervullen. Door hier van uit te gaan kan een indicatie van de maximale verhangen op het grensvlak worden verkregen. Meer informatie hierover kan worden gevonden in [9]. Een uitwerking van deze methode wordt hieronder gegeven.

In deze benadering wordt het filtermateriaal benaderd als een stapel bollen. Het gewicht van één korrel (één bol) onder water is dan:

$$G_{\text{korrel}} = \frac{1}{6} \cdot \Delta \cdot \rho \cdot g \cdot \pi \cdot D^3 \quad (\text{B.3})$$

waarin:

- G_{korrel} = Het gewicht van één korrel (één bol) onder water [kg/m³];
- Δ = relatieve dichtheid van toplaagmateriaal [-];
- ρ = dichtheid van water [kg/m³];
- g = gravitatieversnelling, versnelling van de zwaartekracht [m/s²].
- D = karakteristieke diameter van de korrel [m]

Op deze korrel werkt onder ontwerpomstandigheden een kracht F die zodanig is dat deze juist in beweging komt. Er geldt dan:

$$F = G \cdot \tan \varphi \quad (\text{B.4})$$

waarin:

- φ = hoek van inwendige wrijving ondergrond [°].

De gemiddelde schuifweerstand over de korrel, gemeten op de plaats daar waar het oppervlak van de doorsnede door de korrels het grootst is, is dan:

$$\tau = \frac{F}{O} = \frac{2}{3} \cdot \Delta \cdot \rho_w \cdot g \cdot D \cdot \tan \varphi \quad (\text{B.5})$$

waarin:

τ = gemiddelde schuifspanning [N/m²]

O = oppervlak van de doorsnede van de bovenste korrel [m²]

Deze schuifkracht wordt dus door het water overgebracht op de korrels en dit zal ook ongeveer de schuifkracht zijn die op het poriënwater wordt overgebracht als er geen korrels zijn. Alleen er kan alleen dan schuifkracht op het water worden overgebracht als er geen korrels zijn. Het wateroppervlak tussen de korrels zal ongeveer n keer het totale oppervlak zijn, waarbij n de porositeit is.

Een schuifspanning τ aan de bovenkant van de korrels is te vergelijken met een drukgradiënt i als de totaalcracht op het waterpakket in het filter gelijk is. Als de hoogte van de korrelstapel gelijk is aan h geldt:

$$\tau_w = n \cdot \tau = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot i \quad (B.5)$$

waarin:

τ_w = de schuifkracht die op het water in het filter wordt overgebracht [N/m²]

Wanneer de hoogte van het korreelpakket gelijk gesteld wordt aan ND , waarbij N dus het aantal korrels is dat het pakket hoog is, dan kunnen de vergelijkingen worden gecombineerd tot:

$$i = \frac{2}{3} \cdot \frac{n}{N} \cdot \Delta \cdot \tan \varphi \quad (B.5)$$

Met Δ is 1.65 en een wrijvingshoek van 45 graden blijkt i ongeveer gelijk te zijn aan n/N . Met $n=0.4$ en $N=2D$ komt er dan een verhang van 0.2 uit, bij een grotere laagdikte wordt het verhang navenant kleiner.

Dit blijft een bovengrensbepending omdat is aangenomen dat de watersnelheid over het gehele korreelpakket even hoog is. In werkelijkheid zal de watersnelheid aan de onderkant lager zijn. Ook is het percentage wateroppervlak tussen de korrels gelijk gesteld aan de porositeit. Dit zal lager zijn.

Naast stroming in rivieren, kanalen en achter uitstroomconstructies kan ook stroming als gevolg van scheepvaart optreden als gevolg van:

retourstroming;

schroefstralen.

Voor meer informatie inzake bepaling verhangen wordt verwezen naar [56].

B.3 Verhang als gevolg van golven

Twee soorten golven worden hier onderscheiden:

1. Windgolven
2. Scheepsgolven

Ad 1 Windgolven

Voor de amplitude in de stijghoogte bij een bodembescherming die zich h meter onder de waterlijn bevindt, geldt:

$$\phi_b = A \cdot \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \quad (\text{B.2})$$

waarin:

Φ_b = stijghoogte [m];

A = amplitude [m];

L = golflengte [m];

h = waterdiepte [m].

Om het verhang op de bodembescherming ten gevolge van (wind)golven te bepalen, kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van formule B.3. Deze formule geldt voor regelmatige golven.

$$i_{\text{bodem}} = \frac{\pi \cdot H}{L} \cdot \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \quad (\text{B.3})$$

waarin:

H = golfhoogte [m];

Aangezien de functie 'cosh' een minimum van 1 heeft, kan het verhang niet hoger worden dan π keer de golfsteilheid. Bij een stormomstandigheden kan de golfsteilheid 6 tot 7 % zijn (anders is deze lager). Ook is de golfhoogte nooit hoger dan 0.4 maal de waterdiepte. Dat betekent dat in extreme omstandigheden het verhang op de bodem toch lager blijft dan 0.17 (overigens is bij deze extreme omstandigheden de formule (B.7) niet meer precies, maar slechts een benadering, maar blijft staan dat het verhang niet meer wordt dan een paar tienden).

Ook hiervoor geldt dus dat met een geometrisch open filter een grotere openingsgrootte is toegestaan dan bij een geometrisch dicht filter. Wel gaat het hier om een wisselende gradiënt maar volgens Bezuijen et al. [61] is het verschil tussen een cyclisch verhang met een zekere amplitude, zeg A , en een stationair verhang ter grootte van A , gering voor wat betreft het verhang waarbij korrels gaan bewegen. Wel kunnen windgolven gradiënten loodrecht op de laagscheiding in het filter veroorzaken, zie ook onder B.4. Volgens de ontwikkelde theorie neemt het horizontale kritieke verhang min of meer lineair af bij een toenemend verticaal verhang. Bij een verticaal verhang van 1 is het horizontale kritieke verhang nul. Metingen tonen overigens aan dat bij een verticaal verhang onder de 1, het filter sta-

bieler is dan volgt uit de genoemde lineaire afname. Wanneer het verhang in de ondergrond in de buurt van 1 komt is zonder meer een geometrisch dichte aanpak noodzakelijk.

Ad 2 Invloed scheepsgolven

Scheepsgolven kunnen van invloed zijn op de stabiliteit van de constructie. De door schepen geïnduceerde golven kunnen onderverdeeld worden in:

- schroefstralen
- primaire scheepsgolven en
- secundaire scheepsgolven

In de literatuur zijn modellen beschikbaar om i_{bodem} te kunnen bepalen [56].

B.4 Bepaling interne belasting bij een bodembescherming

Voor een bodembescherming op zeer ondiep water, zal de hiervoor gepresenteerde lineaire golftheorie niet opgaan. Golven gaan dan breken en het is dan mogelijk dat er een golf-front over de (hellende) bodem loopt, waarbij de bodembescherming tijdelijk en de golfperiode voor een gedeelte vrijwel droog valt. In dat geval is het beter om de belasting op de filterlaag te berekenen met de theorie die is ontwikkeld voor steenzettingen.

Als aan de bovenkant van een bodembescherming i_{bodem} , ten gevolge van de golfbelasting bekend is, kan de interne belasting (i_p) bepaald worden door gebruikt te maken van de leklengte. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$\Lambda = \left(\frac{d_f \cdot k_f \cdot d_t}{k_t} \right)^{0,5} \quad (\text{B.4})$$

waarin:

Λ = leklengte [m];

d_f = dikte van de filterlaag [m];

d_t = dikte van de toplaag [m];

k_f = doorlatendheidscoëfficiënt van de filterlaag [m/s];

k_t = doorlatendheidscoëfficiënt van de toplaag [m/s].

In een situatie met twee filterlagen kan formule B.5 worden geschreven als:

$$\Lambda = \left(\frac{(d_{f1} \cdot k_{f1} + d_{f2} \cdot k_{f2}) \cdot d_t}{k_t} \right)^{0,5} \quad (\text{B.5})$$

waarin respectievelijk de indices 1 en 2 staan voor filterlaag 1 en 2. Uitgangspunt is wel dat de doorlatendheid van de toplaag veel kleiner is dan de doorlatendheid van de andere (filter) lagen. De stroming is dan evenwijdig aan het talud in de filterlaag en staat loodrecht op het talud in de toplaag, daarom mag de stroming in beide filterlagen bij elkaar opgeteld worden, welke (min of meer) gedeeld mag worden door de stroming door de toplaag. Als de stroming niet voldoet aan het uitgangspunt, dan geldt de formule niet.

Tabel 18 Indicatie voor de doorlatendheid van een steenzetting op een granulair filter [10].

In het geval dat de toplaag van een bodembescherming bestaat uit een steenzetting kan met tabel 18 een indicatie voor de doorlatendheid van die steenzetting verticaal op het talud (k_t) worden gegeven. Voor een gedetailleerde bepaling wordt verwezen naar [10].

Tabel 18 Indicatie voor de doorlatendheid van een steenzetting op een granulair filter [10].

	k'_t (mm/s)	type toplaag
zeer grote k'_t	60 – 100	blokken met veel gaten
grote k'_t	5 – 20	Ingewassen zuilen
kleine k'_t	3 – 10	grote blokken zonder gaten
zeer kleine k'_t	< 1	blokken of zuilen met (deels) dichtgeslibde spleten

De verhouding tussen de lek lengte (Λ) en de karakteristieke lengte (L_{kar}) waarover de stijghoogte verandert, is sterk bepalend voor de mate waarmee het verhang van het piëzometrisch niveau boven de bodem doordringt in het filter.

Drie gevallen worden onderscheiden [1]:

1. De verhouding Λ / L_{kar} is $\ll 1$: de toplaag is relatief doorlatend en de maximale waarde van i_p is ongeveer gelijk aan de waarde van het externe verhang. Deze situatie is bij de meeste waterbouwkundige constructies het geval.
2. De verhouding Λ / L_{kar} is $\gg 1$: dit kan bijvoorbeeld optreden bij een bodemverdediging met kleine openingen waar een groot extern stijghoogteverschil ϕ_b , over korte afstand (bijvoorbeeld 1 m) aanwezig is, bijvoorbeeld blokkenmatten. De toplaag kan dan als relatief ondoorlatend worden beschouwd (zie figuur 114). In dat geval bedraagt:

$$i_p = 0,5 \cdot \frac{\phi_b}{\Lambda} \quad (B.6)$$

waarin:

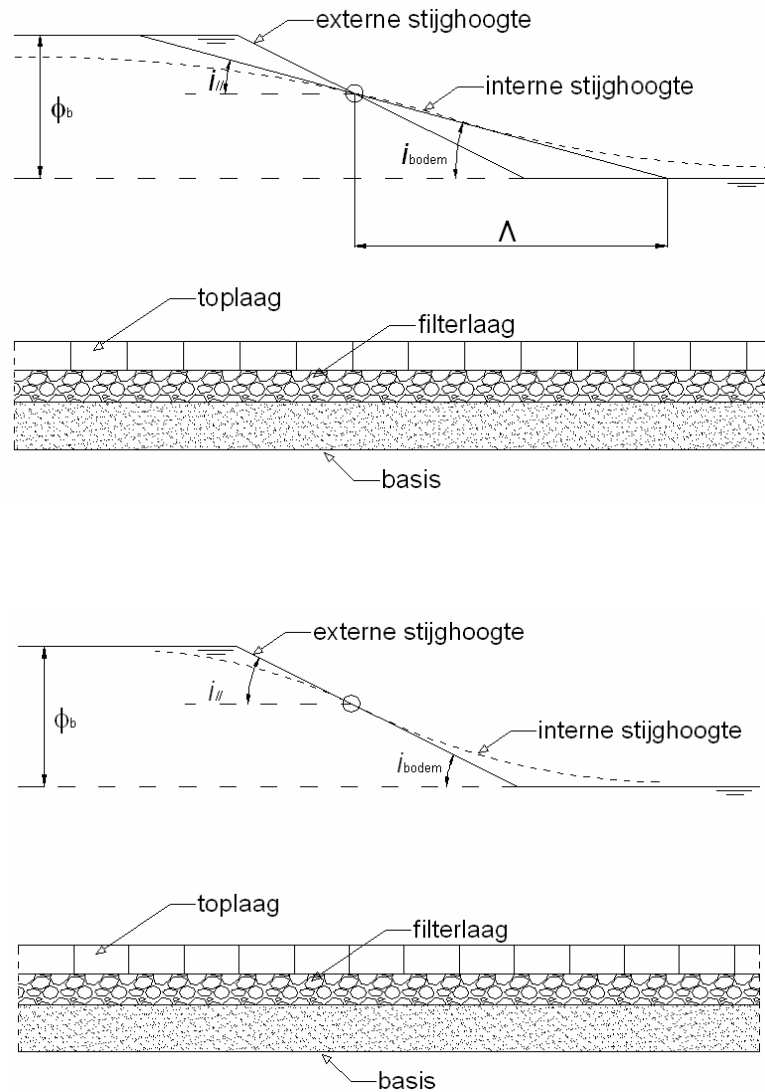
ϕ_b = Variatie in stijghoogte op de bodem. [m].

3. Voor tussenliggende situaties geldt de volgende formule (zie figuur 114):

$$i_p = i_{bodem} \cdot \left\{ 1 - \exp\left(\frac{\phi_b}{2 \cdot \Lambda \cdot i_{bodem}} \right) \right\} \quad (B.7)$$

Bij voornoemde beschouwingen is ervan uitgegaan dat de hydraulische gradiënt loodrecht op het grensvlak (i_n) verwaarloosbaar is. Deze aanname is geldig als $i_n < 0,5$.

Fig. 114
Extern en intern verhang bij
een constructie met een lange
en korte lek lengte [4].



Als de leklengte groter wordt, dan wordt de stabiliteit van de toplaag kleiner. Meest belangrijke aspect in het toepassen van een geotextiel is het feit dat een dikke filterlaag ongunstig is voor stabiliteit. Met andere woorden, indien het filter dun is met een niet al te grote doorlatendheid, verbetert de stabiliteit van de toplaag. Overigens wordt de belasting op de ondergrond dan juist groter omdat de verhangen toenemen. Het is dus nodig naar een optimum te zoeken voor zowel de belasting op de toplaag als op de ondergrond.

Naast de stroming parallel aan het grensvlak bestaat ook een stroming loodrecht op het grensvlak. Het verhang loodrecht op het grensvlak is onderzocht door Bezuijen en Köhler [60] voor een taludbekleding op een ondergrond van zand.

Het verticale verhang dat bij golfaanval te verwachten is, hangt sterk af van de hoeveelheid lucht die aanwezig is in het zand.

Uit de in [60] gegeven formule is af te leiden dat voor het maximale verhang loodrecht op het grensvlak bij benadering geldt:

$$i_{n,max} = \frac{1}{2} \cdot H \cdot \sqrt{\frac{(1-S) \cdot \rho \cdot g \cdot \pi}{k \cdot P_a \cdot T}} \quad (B.8)$$

Hierin is:

- $i_{n,max}$ = het maximale verhang loodrecht op het grensvlak [-];
- ρ = dichtheid van water in [kg/m³];
- g = de versnelling van de zwaartekracht [m/s²];
- H = de golfhoogte (dit is afgeleid voor regelmatige golven, neem $1,4 \cdot H_s$ voor onregelmatige golven) [m];
- k = de doorlatendheid van de ondergrond [m/s];
- P_a = de atmosferische druk [Pa];
- S = de verzadigingsgraad van de ondergrond [-];
- T = de golfperiode [s].

Het blijkt dat bij een relatief doorlatende toplaag en een ondergrond van zand het verhang loodrecht op het grensvlak in bijna alle gevallen boven de 1 uitkomt. Hierbij is er vanuit gegaan dat het zand in een oeverbescherming nooit voor 100% verzadigd is, maar dat deze verzadigingsgraad 95% of lager is. Köhler heeft met metingen aangetoond dat dit het geval is [60]. Dit betekent dat een geotextiel in een oeverbescherming met enige belasting (golven van 0.5 m en meer) altijd geometrisch dicht moet zijn om uitspoeling van het onderliggende materiaal te voorkomen. Tenzij er sprake is van een zeer dichte toplaag die de waterspanningsvariaties ten gevolge van golfaanval in de filterlaag sterk dempt. In dat geval zal de belasting over de toplaag weer relatief groot zijn. Daarentegen is op dit gebied modelonderzoek uitgevoerd door Deltares met geometrisch open filters. Daaruit bleek dat dit niet leidde tot enig noemenswaardig zandtransport.

Voor bodembeschermingen met een dichte toplaag zijn tweedimensionale rekenmodellen beschikbaar voor het bepalen van :

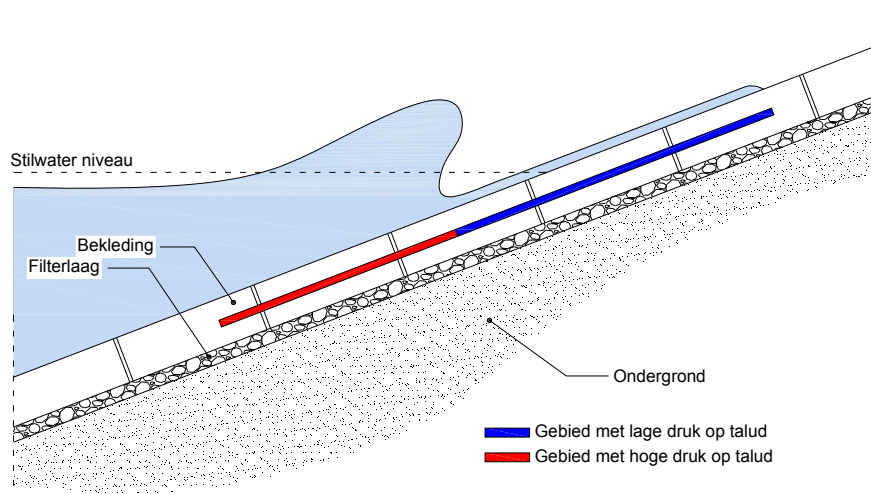
- de maximale hydraulische gradiënt
- het debiet door de filterlaag
- de drukopbouw onder de toplaag

B.5 Interne belasting steenzetting op een talud onder golven

De component van het verhang in het filter evenwijdig aan het talud i_p is de belangrijkste parameter voor het geometrisch open ontwerp van het filter, aangezien de component loodrecht op het talud voor een constructie, waarbij zich een granulair filter tussen steenzetting en geotextiel bevindt, meestal verwaarloosbaar klein is.

Tijdens golfbelasting is het moment vlak voor een golf breekt op het talud belangrijk. Er is dan een zone met hoge druk en daarboven een zone met een lage druk, zie figuur 115 (gewijzigd). Dat leidt tot een stroming in het filter het talud op.

Fig. 115
Gebied met hoge en lage druk
op een talud juist voor een
brekende golf [4].



Een ander moment dat van belang is tijdens maximale golfterugtrekking. In dat geval is er rond de waterlijn en daarboven een stroming langs het talud omlaag, die ook in het filter aanwezig is. Voor de stroming omhoog onder de brekende golf geldt formule B.10. Voor de naar beneden gerichte verhang geldt formule B.9.

$$i_{\text{neer}} = \sin \alpha \quad (\text{B.9})$$

$$i_{\text{op}} = \frac{\cos \alpha}{\tan \beta} \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{\tan \beta}{2 \cdot \Lambda \cdot \cos \alpha} \right) \right\} - 0,5 \cdot \sin \alpha \cdot \exp \left(\frac{\tan \beta}{2 \cdot \Lambda \cdot \cos \alpha} \cdot \phi_b \right) \quad (\text{B.10})$$

waarin:

α = taludhelling [°];

β = de hoek van het stijghoogtefront ten opzichte van de verticaal [°];

ϕ_b = de stijghoogte op het talud onder de aankomende golftop ten opzichte van het punt waar het stijghoogtefront aansluit op het talud [m].

Voor de parameters in formule B.10 gelden de volgende waarden als eerste benadering:

Λ voor betonzuilen (Basalton, Hydroblocks) is 0.3 m

Λ voor betonblokken (Haringman) is 0.8 m

B maximaal onder stormcondities 80°

ϕ_b is gelijk aan H, de golfhoogte

Dit zijn conservatieve waarden voor wat betreft het verhang en leiden dus tot wat hogere verhangen dan in werkelijkheid zullen optreden. Voor een nauwkeuriger berekening kan gebruikt gemaakt worden van het programma Steentoets [65].

Bijlage C. Ontwerprelaties geometrisch open geotextielen voor parallelle stroming

Bij geometrisch open constructies speelt ook de kracht die door het water op de korrels worden uitgeoefend een rol. De zogenoemde sleepkracht. Deze kracht kan worden gedempt door het geotextiel. Hierbij zijn de karakteristieke openingsgrootte en het aantal openingen per oppervlakte-eenheid van invloed.

De karakteristieke parameter die de sleepkracht beschrijft, is de filtersnelheid (zie formule C.2), de snelheid waarmee het water door de filterlaag over de ondergrond stroomt. Nu is die filtersnelheid in veel gevallen lastig te bepalen en daarom wordt vaak gebruik gemaakt van het verhang of de hydraulische gradiënt (zie Bijlage B). Deze gradiënt is afhankelijk van de grootte van de belasting en het constructietype.

Uitgangspunt is dat het optredende verhang niet groter mag zijn dan een kritiek verhang, waarbij onder de maatgevende omstandigheden geen materiaaltransport optreedt.

Ofwel:

$$i_p \leq i_{cr} \quad (C.1)$$

waarin:

i = optredende verhang [-];

i_{cr} = kritieke verhang [-].

Bij evenwijdige stroming kan het gedrag van ondergrond en geotextiel als volgt worden beschreven [9]: hoewel de stroming evenwijdig is aan het grensvlak treedt toch een verticale component op doordat het water rond de op het geotextiel liggende stenen stroomt. Het water stroomt door het geotextiel en neemt deeltjes van het basismateriaal mee naar de breuksteenlaag. In het verleden zijn proeven uitgevoerd op een ondergrond (basismateriaal) van klei (C.2) en zand (C.1). Voor klei zijn 14 proeven uitgevoerd [62] in een tank waarin een cyclisch verhang met een periode van 4 s werd aangebracht met een wisselende amplitude.

Voor zand zijn verschillende proeven uitgevoerd: met een constant verhang, met een filter op een talud, met een verhang evenwijdig aan het talud in combinatie met een loodrecht verhang en met cyclische stroming [61].

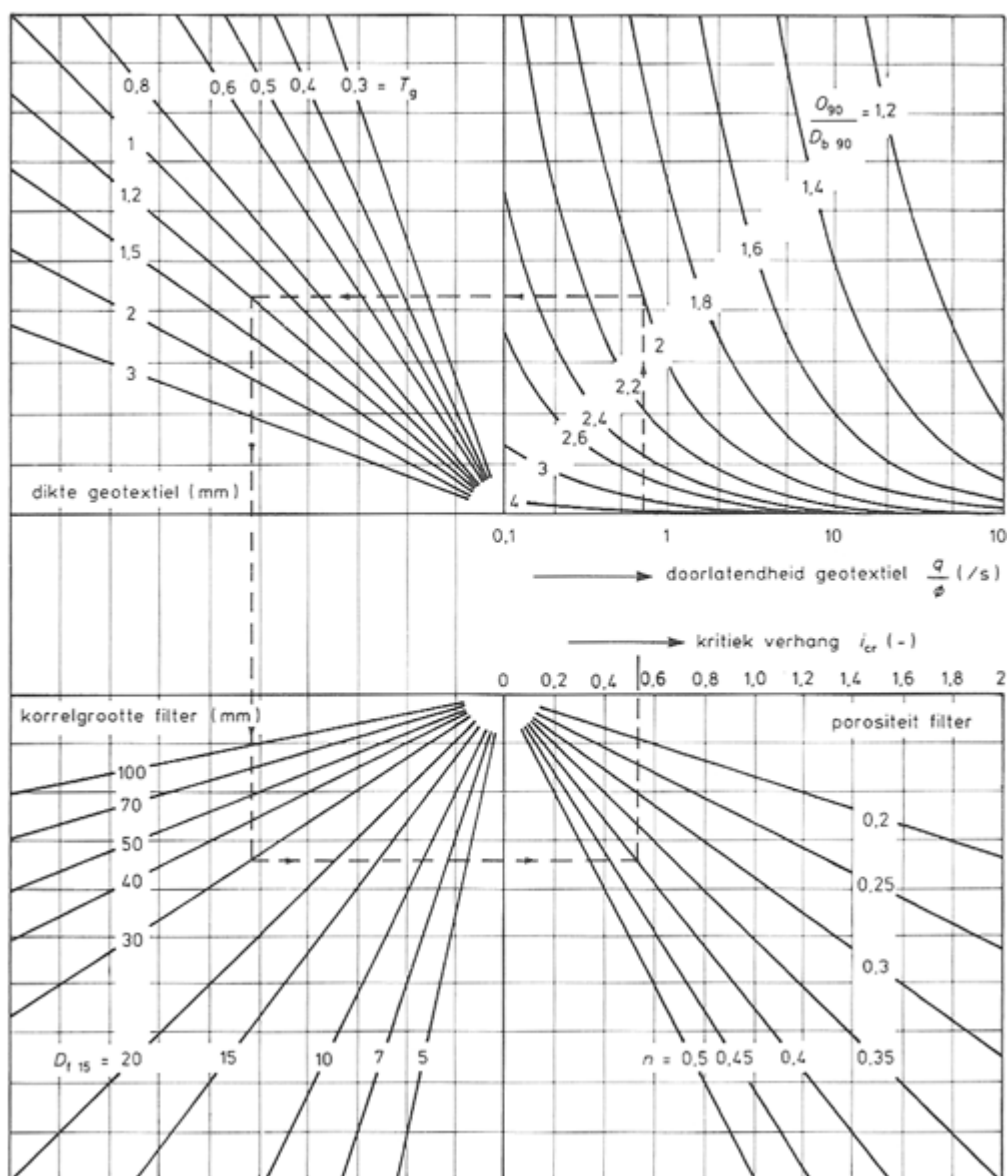
Uitgangspunt bij deze proeven en in de hieronder gegeven formules is dat dit transport-mechanisme alleen dan kan optreden als de hydraulische krachten op de deeltjes groter zijn dan die welke nodig zijn voor het veroorzaken van een begin van beweging en als de openingsgrootte van het geotextiel voldoende is. In feite kan dit proces worden vergeleken met dat van stroming over een rivierbedding. De door deze stroming veroorzaakte schuifkracht geeft een horizontale en verticale liftkracht op de bodemdeeltjes. Bij een bepaalde stroomsnelheid overschrijdt de schuifkracht de inwendige korrelkrachten van het bodem-materiaal en treedt begin van beweging op.

C.1 Geometrisch open geotextiel filter op basislaag van zand

De overeenkomst tussen het transport door een geotextiel met dat van een rivierbedding is onder meer door [4] aangetoond.

Voor de bepaling van de filtersnelheid bij het begin van beweging kan derhalve gebruik worden gemaakt van de Shields-parameter. Gebruik makend van de Shields-parameter en de analogie met een open waterloop, is door Klein Breteler onderstaande ontwerpgrafiek afgeleid voor een verhang evenwijdig aan het grensvlak van het filter en een basislaag van granulair materiaal.

Fig. 116
Ontwerpgrafiek voor
geometrisch open geotextielen.
 O_{90} , op basis van de droge
zeefmethode [4].



Voorbeeld bepaling doorlatendheid met behulp van figuur 116

$$\text{Doorlatendheid} = q \cdot \Phi^{-1} = 0,7 \text{ s}^{-1}$$

$$O_{90} / D_{b90} = 2$$

$$\text{dikte } T_g = 1,2 \text{ mm}$$

$$\text{filter op geotextiel: } D_{f15} = 30 \text{ mm}$$

$$n = 0,4$$

$$\Rightarrow i_{cr} = 0,52$$

Aanbevolen wordt, voor geometrisch open geotextielen, waarbij de stroming evenwijdig aan het grensvlak is, de methode te hanteren beschreven in [4]. De hierbij behorende constructie bestaat uit een basis van zand, een filter van grind of steenslag met daartussen een geotextiel.

De ontwerpgrafiek (zie figuur 116) is gebaseerd op de volgende formule:

$$v_{f,cr} = \left(10 \cdot \left(\frac{D_{b90}}{O_{90}} \right)^4 \cdot \frac{t_g}{D_{b90}} \cdot \left[\frac{w}{k_g} \right]^{\frac{1}{2 \cdot m}} + \frac{n}{e} \right) \cdot \sqrt{\psi_s \cdot \Delta_b \cdot g \cdot D_{b50}} \quad (\text{C.2})$$

waarin:

$v_{f,cr}$ = filtersnelheid bij het begin van de beweging [m/s];

D_b = korreldiameter van het basismateriaal (D_{b50} en D_{b90}) [m];

O_{90} = poriënafmeting van het [m];

t_g = dikte van het geotextiel [m];

ψ_s = Shields-parameter [-];

g = versnelling van de zwaartekracht [m/s²];

k_g = doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel, gedefinieerd als

$$v_g = k_g i_g \text{ [m/s];}$$

m = exponent in vergelijking voor de doorlatendheid [-];

n = porositeit van het filter [-];

$e = c_r Re^{-m}$ [-];

Re = Reynolds-getal = $v_{f,cr} D_{f15} / \nu$ [-];

Δ_b = relatieve dichtheid van het basismateriaal = $(\rho_s - \rho) / \rho$;

ρ_s = dichtheid van korrelmateriaal [kg/m³];

ρ = dichtheid van water [kg/m³];

w = valsnelheid van de korrels [m/s] = $(\Delta_b g D_{b15}^2) / 18 \nu$;

ν = kinematische viscositeit van water [m²/s].

De kinematische viscositeit kan benaderd worden met onderstaande formule:

$$\nu = \frac{(T - T_0)^{-1,637}}{\rho} \quad (\text{C.3})$$

waarin

$T_0 = 225.4 \text{ K}$ (0 °C is gelijk aan 273.2 K)

$t = \text{temperatuur [K]}$

Tabel 19 geeft een overzicht van de viscositeit bij verschillende temperaturen op basis van een volumieke dichtheid van water van 1000 kg/m³.

Tabel 19 Temperatuur en viscositeit.

Temperatuur (°C)	$\nu \text{ (m}^2/\text{s)}$
0	$1.8 \cdot 10^{-6}$
10	$1.3 \cdot 10^{-6}$
20	$1.0 \cdot 10^{-6}$
30	$0.8 \cdot 10^{-6}$
40	$0.7 \cdot 10^{-6}$

Voor de coëfficiënten c_r en m en de Shields-parameter ψ_s worden in tabel 20 bij verschillende waarden van D_{b50} een aantal waarden gegeven.

Deze methode is getoetst voor situaties waarbij $C_u < 2$, het basismateriaal zand is waarvan de korreldiameter tussen 0,1 en 0,2 mm ligt en het textiel een geweven doek is.

Tabel 20 Waarden voor de coëfficiënten C_r en m en de Shields-parameter ψ_s behorende bij verschillende waarden van D_{b50} .

$D_{50} \text{ [mm]}$	$C_r \text{ [-]}$	$m \text{ [-]}$	$\psi_s \text{ [-]}$
0,10	1,18	0,25	0,110
0,15	0,78	0,20	0,073
0,20	0,71	0,18	0,055
0,30	0,56	0,15	0,044
0,40	0,45	0,11	0,038
0,50	0,35	0,07	0,036
0,60	0,29	0,04	0,035
0,70	0,22	0,00	0,034
0,80	0,22	0,00	0,034
1,00	0,22	0,00	0,035

Onder bepaalde omstandigheden kan de relatie (C.2) volgens de methode beschreven in [4] (onder andere een lineair verband tussen filtersnelheid en langsverhang) worden vereenvoudigd tot:

$$\frac{O_{90}}{D_{b90}} = \frac{c_t \cdot t_g^{0.25}}{C_u^{0.5} \cdot i^{0.25} \cdot k_n^{0.125} \cdot k_t^{0.25}} \quad (\text{C.4})$$

waarin:

$t_g = \text{dikte van het geotextiel [m];}$

$k_n = \text{loodrechte doorlatendheidscoëfficiënt van het geotextiel [m/s];}$

$k_t = \text{doorlatendheidscoëfficiënt van de toplaag [m/s];}$

$i = \text{het verhang [-];}$

$c_t = \text{constante die onder meer afhangt van } C_u \text{ [-];}$

$c_t = 3,43 \text{ voor } C_u < 2;$

$c_t = 2,0 \text{ voor } 2 < C_u < 4;$

$C_u = \text{uniformiteitscoëfficiënt [-].}$

Toepassing van formule C.4 of de ontwerpgrafiek (zie figuur 116) is een iteratief proces. In eerste instantie worden k_n en t_g gekozen waarmee O_{90} wordt bepaald. Levert dit geen bevredigend resultaat op, dan kunnen t_g en k_n worden bijgesteld.

Voor $C_u < 2$, $t_g = 1$ mm, $k_n = 5$ mm/s en $k_f = 200$ mm/s volgt:

$$\frac{O_{90}}{D_{b90}} = 1,8 \cdot C_u^{-0,50} \cdot I^{-0,25} \quad (C.5)$$

of:

$$\frac{O_{90}}{D_{b50}} = 1,8 \cdot C_u^{+0,50} \cdot I^{-0,25} \quad (C.6)$$

Hetgeen voor praktische doeleinden eenvoudig toepasbaar is.

De constante 1,8 wordt 1,0 als $2 < C_u < 4$.

C.2 Geometrisch open geotextiel filter op basislaag van klei

Er zijn proeven uitgevoerd, waarbij op uitvoerige wijze verschillende ondergronden en geotextielen zijn onderzocht onder cyclische stroming evenwijdig aan het geotextiel [17]. Deze situatie treedt bijvoorbeeld op bij golfbelasting op taluds.

Op basis van proeven is door Klein Breteler et al [62] geconcludeerd dat de kritische stroomsnelheid over de kleilaag niet afhangt van het filtermateriaal, maar van de soort klei. De resultaten zijn weergegeven in tabel 21

Tabel 21 Kritische filtersnelheid bij geometrisch open geotextielen op een laag van klei of fijn zand [62].

Goede klei luthum gehalte = 39% $d_{50} = 9 \mu\text{m}$ $d_{90} = 80 \mu\text{m}$	$v_{f,cr} > 0,45$ m/s
Matige en slechte klei luthum gehalte = 20% $42 \mu\text{m} < d_{50} < 130 \mu\text{m}$ $100 \mu\text{m} < d_{90} < 400 \mu\text{m}$	$v_{f,cr} > 0,25$ m/s
Fijn zand $d_{50} = 90 \mu\text{m}$ $d_{90} = 130 \mu\text{m}$	$v_{f,cr} > 0,05$ m/s

In het genoemde artikel worden de waarden dan omgerekend naar verhangen, ervan uitgaande dat de stroming door de filterlaag turbulent is (dat moet die zijn bij de genoemde stroomsnelheden). Dit zijn de in deze paragraaf weergegeven verhangen

Onder goede klei wordt een klei verstaan met een lutumgehalte ($< 2 \mu\text{m}$) groter dan 35 %. Matige of slechte klei heeft een lutumgehalte van minder dan 25 %.

Het primaire toepassingsgebied van de formules (C.7) tot en met (C.9) en de methode beschreven in [4] is:

- een taludverdediging bestaande uit basismateriaal en een toplaag van steenslag of breuksteen. De korrelgrootte van de steenslag bedraagt $10 < D_{f15} < 250$ mm. Aangenomen wordt dat de formules ook geldig zijn voor een ondergrond van veen met een voldoende hoog percentage grove bestanddelen (dit is overigens niet experimenteel vastgesteld);
- de korrelgrootte van het zand moet voldoen aan $0,1 < D_{b90} < 0,25$ en het zand moet een steile zeefkromme hebben ($D_{b90}/D_{b50} < 1,5$ à $2,5$);
- geweven of niet-geweven geotextielen met een openingsgrootte van $0,1 < O_{90} < 0,3$ mm, een dikte van $0,5 < t_g < 3,3$ mm en een doorlatendheid loodrecht op het geotextiel van $0,020 < k_n < 0,25$ m/s;
- het parallel verhang op het geotextiel van $0,1 < i_p < 4$. Het loodrechte verhang mag niet groter zijn dan circa 0,5 en moet kleiner zijn dan i_p .

Aangezien het hier gaat om empirisch onderzoek geldt dat de resultaten van het onderzoek mogelijk niet geldig zijn voor andere bekledingsmaterialen of ondergronden.

Omdat soms het verhang bekend is en de filtersnelheid niet, zijn de genoemde relaties voor de filtersnelheid omgeschreven naar verhangen. Volgens Den Adel [63] geldt bij turbulente stroming door een filter:

$$i = \frac{2,2}{g \cdot n^2 \cdot D_{f15}} v^2 \quad (C.7)$$

hierin is:

- i = optredend verhang [-];
- v = filtersnelheid [m/s];
- n = porositeit van het filter [-];
- g = versnelling van de zwaartekracht [m/s²];
- D_{fx} = korreldiameter van granulair filtermateriaal die door x % van het materiaal op basis van het gewicht wordt onderschreden [m].

Invullen van de gevonden kritische snelheden, zoals genoemd in tabel 21, levert dan de volgende relaties op, die gelden voor geometrisch open geotextielen ($O_{90}/D_{b90} > 1$ of $O_{90}/D_{b50} > 10$ of $O_{90} > 0,1$ mm):

1. voor zware klei:

$$i_{cr} = \frac{0,034}{n^2 \cdot D_{f15}} \quad (C.8)$$

2. voor lichte klei:

$$i_{cr} = \frac{0,012}{n^2 \cdot D_{f15}} \quad (C.9)$$

In bovenstaande formules hebben de getallen 0,034 en 0,012 de dimensie meter.

Voor zand wordt aanbevolen de voornoemde methode beschreven in [4] te gebruiken.

In [18] wordt een onderzoek beschreven, waarbij in de filterbak van het Waterloopkundig Laboratorium een geotextiel met daarop een breuksteenlaag op een ondergrond bestaande uit leem onder stationaire stroming werd belast. Het leem had een gemiddelde diameter van 0,02 mm. De karakteristieke openingsgrootte van het weefsel bedroeg $O_{98} = 0,3$ mm (bepaald via de droge zeefmethode). Het bleek dat tot een verhang van 0,25 geen transport optrad. Bij een verhang van 0,3 werd gering transport geconstateerd.

Praktische ervaring met niet-stationaire stroming heeft geleid tot het volgende criterium voor een geotextiel op leem:

$$\frac{O_{98}}{D_{b15}} \leq 15 \quad (\text{C.10})$$

Hierbij wordt een natuurlijk filter in het leem opgebouwd, zodat enig transport optreedt.

Bijlage D. Waterdoorlatendheid evenwijdig aan het grensvlak

De waterdoorlatendheid in het vlak van het geotextiel is van belang als het geotextiel water moet kunnen afvoeren, bijvoorbeeld bij toepassing als drainage. De belangrijkste parameters zijn de doorlatendheid k_p en de transmissiviteit θ . De transmissiviteit is het waterafvoerend vermogen. De relatie tussen deze parameters is als volgt:

$$\theta = k_p \cdot t_g \quad (D.1)$$

waarin:

θ = transmissiviteit [m^2/s];

k_p = doorlatendheidscoëfficiënt in het vlak van het geotextiel [m/s];

t_g = dikte van het geotextiel [m].

De afvoer Q kan dan worden bepaald met:

$$Q = k_p \cdot B \cdot t_g \cdot \frac{\Delta h}{L_{kar}} \quad (D.2)$$

En de filtersnelheid met:

$$v_f = k_p \cdot i_p = k_p \cdot \frac{\Delta h}{L_{kar}} = \frac{\theta}{t_g} \cdot \frac{\Delta h}{L_{kar}} \quad (D.3)$$

waarin:

v_f = filtersnelheid in het vlak van het geotextiel [m/s];

B = karakteristieke breedtemaat [m];

L_{kar} = karakteristieke lengtemaat [m];

i_p = hydraulische gradiënt evenwijdig aan het grensvlak [-];

Δh = verval [m].

Bijlage E. Bepalen van de valhoogte bij storten van breuksteen onder water

Naast het storten van breuksteen in den droge wordt breuksteen ook veelvuldig in den natte aangebracht. De kritieke valhoogte, dit is de valhoogte waarbij schade aan het geotextiel optreedt, van een breuksteen in water is als gevolg van wrijvingsverliezen in het water groter dan die in lucht. De omrekening van de kritieke valhoogte van een breuksteen voor een geotextiel in droge toestand H_d naar die voor een geotextiel in water H_n is gebaseerd op een gelijke inslagsnelheid voor zowel de droge als natte toestand.

De snelheid van een individuele steen, die in droge toestand over een afstand x valt, wordt beschreven door:

$$U_x = \sqrt{2 \cdot g \cdot x} \quad (\text{E.1})$$

waarin:

x = afstand waarover de steen valt [m];

U_x = snelheid van de steen in droge toestand [m/s].

De snelheid van een individuele steen, die op een hoogte H_0 boven het water wordt losgelaten en het wateroppervlak met een snelheid U_0 treft, wordt voor $x \geq H_0$ beschreven door:

$$U_x = \sqrt{U_e^2 + (U_0^2 - U_e^2) \cdot e^{-2 \cdot c_1 \cdot (x - H_0)}} \quad (\text{E.2})$$

$$U_e = \sqrt{\frac{c_2}{c_1}} \quad (\text{E.3})$$

$$c_1 = \frac{3 \cdot \rho \cdot C_D}{4 \cdot \rho_s \cdot D} \quad (\text{E.4})$$

$$c_2 = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \right) \cdot g \quad (\text{E.5})$$

waarin:

U_0 = snelheid waarmee de steen het wateroppervlak treft [m/s];

U_e = evenwichtssnelheid van een vallende steen in water [m/s];

U_x = snelheid van de steen op een afstand x [m/s];

C_D = weerstandscoefficiënt van een steen (1,0);

D = karakteristieke diameter van de steen [m];

H_0 = hoogte van de steen boven water [m];

x = afstand waarover de steen valt [m];

g = versnelling van de zwaartekracht [m/s²];

ρ_s = dichtheid van toplaag (steen) [kg/m³];

ρ = dichtheid van water [kg/m³].

Uit het snelheidsverloop van een in water vallende steen, die het wateroppervlak met een snelheid U_0 treft, is op te maken dat de steen, als de waterdiepte groot genoeg is, uiteindelijk altijd zijn evenwichtssnelheid U_e bereikt. De inslagsnelheid van de steen U_s in natte toestand mag de kritieke snelheid U_d van de steen in droge toestand niet overschrijden. Substitutie van de kritieke snelheid van de stortsteen in droge toestand in formule (E.2) levert een uitdrukking voor de toelaatbare valhoogte van de breuksteen in natte toestand op.

De kritieke valhoogte H_n van een stortsteen, die op een hoogte H_0 boven het water wordt losgelaten en in droge toestand een kritieke snelheid heeft, wordt in natte toestand beschreven door:

$$H_n = H_0 - \frac{1}{2 \cdot c_1} \cdot \ln \left(\frac{U_d^2 - U_e^2}{U_0^2 - U_e^2} \right) \quad (\text{E.6})$$

De volgende situaties kunnen nu worden onderscheiden:

- $U_0 \leq U_e$ en $U_d < U_0$: valhoogte voldoet niet;
- $U_0 \leq U_e$ en $U_0 \leq U_d < U_e$: maximale valhoogte berekenen;
- $U_0 \leq U_e$ en $U_d \geq U_e$: iedere valhoogte voldoet;
- $U_0 \geq U_e$ en $U_d < U_e$: valhoogte voldoet niet;
- $U_0 \geq U_e$ en $U_e \leq U_d < U_0$: minimale valhoogte berekenen;
- $U_0 \geq U_e$ en $U_d \geq U_0$: iedere valhoogte voldoet.

De kritieke valhoogten van de sorteringen 10/60 kg, 30/130 kg en 60/300 kg voor het door de DWW onderzochte geotextiel zijn voor de natte situatie en een storthoogte van 1,0 m boven het water uit de kritieke valhoogten H_d in droge toestand bepaald en weergegeven in tabel 22.

Voor de bulksorteringen is uitgegaan van de maatgevende steen met een massa M_{85} en een diameter D_{85} . Voor de dichtheid ρ_s is 2600 kg/m³ aangehouden en voor de weerstandscoefficiënt C_D is 1,0 aangehouden.

Tabel 22 Kritieke valhoogte van breuksteen bij een storthoogte van 1,0 m boven het wateroppervlak.

$H_0 = 1 \text{ m}$	kritieke valhoogte droog en nat		
sortering	10/60 kg	30/130 kg	60/300 kg
H_0	0,98	0,59	0,34
U_d	4,38	3,40	2,58
U_e	2,67	3,03	3,48
U_0	4,43	4,43	4,43
H_n	$\geq 1,02$	$\geq 2,12$	v.n. ³

³ Voor $H_n = 1,0 \text{ m}$ is geen natte valhoogte te berekenen (de snelheid van de steen in water is altijd groter dan U_d).

Bijlage F. Kennislacunes op het gebied van de toepassing van geokunststoffen in de waterbouw

Tijdens de herziening van de publicatie CUR 174 is gebleken dat er lacunes in de kennis zijn op de volgende punten:

1. Ontwerpfilosofie ten aanzien van de opbouw en uitvoering van een filterconstructie

Mogelijke bezwijkmechanismen als gevolg van de opbouw en uitvoering zijn:

a. onvoldoende verdichte ondergrond (met name bij zand)

Door het dynamisch effect van golfbelasting kan verweking in de ondergrond ontstaan wat resulteert in een S-profiel van het talud. Dit heeft weer grote trekkrachten in het geotextiel tot gevolg, dat mogelijk overbelast wordt. Dit zal leiden tot het bezwijken van het geotextiel en kan ook ontgrondingen tot gevolg hebben. Dit is geconstateerd in de studie CUR F041.

b. weinig robuust geotextiel

c. te grove breuksteen direct op het geotextiel

Volgens de Rock Manual en zoals in Engeland toegepast wordt, mogen grotere stenen direct op een dik geotextiel liggen. De vraag is wat gebeurt met het geotextiel tussen de stenen onder invloed van golfbelasting. Gaat het klapperen of ligt het strakgespannen en wat gebeurt er dan met de mechanische beschadiging? Dit is van belang voor het ontwerp en kan leiden tot een additionele ontwerpeis.

d. verkeerde uitvoeringsmethode

Het blijkt in praktijk dat schade ontstaat aan geotextielen nadat stenen van grotere hoogte op het doek gestort zijn of met een kraan zijn verspreid over het geotextiel. Het gedrag is afhankelijk van de storthoogte, onder of boven water, steengewicht, vorm en afmetingen van de steen, mate van inklemming door omliggende stenen van het geotextiel, samenstelling van de ondergrond en mate van verdichting.

Op dit moment is er geen eenduidige ontwerpregel, veelal wordt er gesteld dat praktijkproeven moeten uitwijzen of de installatie methode acceptabel is. Dit is onbevredigend daar in de studie CUR F041 "Schade aan geotextielen onder dijk-bekleding van steenbestorting", gebleken is dat veel schade tijdens het inbouwen ontstaat en dat de praktijkproeven, als die al uitgevoerd waren, er niet voor gezorgd hebben dat geen bezwijken van het doek kon ontstaan.

Er zijn verschillende oplossingen voor deze ontwerpaspecten mogelijk:

- aanbrengen van een dunne laag fijn granulair materiaal op het geotextiel;
- het toepassen van een composiet geotextiel.

De verwachting is dat als er functiescheiding in het geotextiel ontwerp toegepast wordt, bijvoorbeeld een weefsel bovenop om de energie op te vangen en bescherming tegen beschadiging te geven, gecombineerd met een licht vlies onderop dat gemakkelijk de vervorming kan ondergaan, er een constructie vorm ontstaat die ervoor zorgt draagt dat de filterlaag na aanbrengen goed functioneert

- het toepassen van een bescherm laag op het geotextiel.
In dit geval wordt een vlies op het geotextiel weefsel aangebracht.
- het zorgvuldig storten van het granulair materiaal, waarbij praktijktesten aan moeten tonen wat de maximale storthoogte is.

Op dit moment ontbreekt de kennis hoe deze aspecten omgezet kunnen worden in een duidelijke ontwerpfilosofie. Dat betekent dat de ontwerper op dit moment niet goed kan beoordelen wat de toepassingsgrenzen van de constructie zijn die hij kiest.

2. Geometrisch dichte geotextielen

In Nederland is specifieke ervaring opgedaan met het gebruik van geotextiel met grotere openingen in het belastinggeval 2 (zie paragraaf 3.2.4). Dit betekent dat de filterregels die in Nederland gebruikt worden in het geval dat een geotextiel plaatsvast in de constructie is ingebouwd en er een dynamische belasting op staat, leiden tot grotere openingen. Het verdient aanbeveling deze ervaringen en de motivatie om te komen tot de filterregels zoals zij zijn weergegeven in tabel 7, internationaal te publiceren, zodat deze “Nederlandse” filterregels ook in de “state-of-the-art” publicaties opgenomen worden en daardoor grotere internationale bekendheid en acceptatie kunnen krijgen.

3. Kennis op het gebied van verbindingstechnieken

Verbindingen tussen banen geotextiel kunnen een besparing in materiaalkosten opleveren en een versnelling van de bouwtijd. Er is onvoldoende kennis op het gebied van de verbindingstechnieken, over de praktische uitvoeringsaspecten, rendementen en toepasbaarheid.

Naaien is één van de meest gebruikte technieken. Maar ook hiervan blijkt in de praktijk dat er onvoldoende kennis is van het rendement, de beperkingen en de mogelijkheden van verschillende naainaadvormen. Ook het bezwijken van naainaden tijdens de uitvoering is onbekend. Naainaden kunnen ook een effect op de spanningsverdeling in een geotextiel hebben en daardoor relatief hogere krachten aantrekken door de lagere rek ter plekke. Dit kan leiden tot bezwijken van de naad na langere tijd en dan ontgronding of andere schade opleveren.

4. Kennis op het gebied van geometrisch open ontwerpen

De basis van het ontwerp is dat optredende verhang over de constructie kleiner is dan het kritieke verhang.

- a. Het optredende verhang als gevolg van de hydraulische belasting is moeilijk te bepalen. In praktijk blijkt dat de vertaling van externe belastingen zoals stroomsnelheid en golven, naar verticale en horizontale verhangen ter plaatse van het grensvlak gecompliceerd te zijn. Ook moet rekening gehouden worden met turbulentie, bijvoorbeeld achter uitstromingsconstructies.
- b. De sterkte relaties / kritieke verhangen zijn voor specifieke situaties afgeleid.
Voor zand is dit gedaan op basis van een aantal (model)proeven voor specifieke projecten.
Voor klei is een beperkt aantal proeven in een golfbak uitgevoerd, waarbij het effect van verticale verhangen zeer beperkt meegenomen is.
Vaak gaat men bij klei uit van de veronderstelling dat de klei in grotere stukken en niet in deeltjes uiteenvalt, zodat een normaal geometrisch dicht ontwerp gemaakt worden. De vraag is of deze aanname juist is, wij hebben ervoor geen onderzoeksresultaten gevonden.

De ontwerpregels zijn daarom niet algemeen geldend. In feite is er weinig bekend over de werkelijke verhangen en de kritische verhangen. De ontwerper moet zich bewust zijn van

de beperktheid van deze ontwerpregels. Een ontwerper zal zonder specifiek onderzoek geen voorlopig ontwerp kunnen maken.

5. Terminologie CUR 206

De terminologie van CUR 206 is niet eenduidig en moet bij een heruitgave aangepast worden. Met name ontbreekt op een aantal plaatsen de relatie naar de filterfunctie van het geotextiel.

De inleiding is niet duidelijk, er wordt gezegd “dat vliezen worden toegepast als scheidings- of bescherm laag”. Hier ontbreekt de filterfunctie, vliezen worden vaak als filterlaag toegepast, zoals blijkt uit dit rapport Geotextielen in de Waterbouw. Bij de beschrijving van weefsels wordt ook de filterfunctie gemist.

6. Overlappen

Horizontale overlappen tussen de rollen geotextiel op dijktafuds kunnen met de bovenste laag bovenop de onderste laag of andersom uitgevoerd worden. Wat betreft de golf- en stromend water belasting is de onderste op de bovenste te prefereren. Wat betreft de uitvoering betreft, om te vermijden dat er granulair materiaal tussen de lagen komt een om het uitspoelen van granulair materiaal tussen de geotextielen te voorkomen, is de bovenste op de onderste te prefereren.

Er is geen eenduidige uitspraak over.

7. Duurzaamheid van geokunststoffen

Het wordt aanbevolen een hoofdstuk te maken waarin aangegeven wordt, waar de levensduur van een geotextiel door bepaald wordt en hoe dat te controleren is in praktijk. Zo'n hoofdstuk kan toegevoegd worden aan alle publicaties over geokunststoffen die CUR gepubliceerd heeft.

Het huidige kennisniveau maakt het schrijven van zo'n hoofdstuk mogelijk. Er zijn in de praktijk al methoden volgens welke toepassing tot 100 jaar gecertificeerd wordt. Het gaat hier dus om bestaande kennis, die op een voor de gebruikers van geotextielen begrijpelijke manier moet worden opgeschreven.

8. Structuurmatten

Structuurmatten worden vaak toegepast. In deze versie van Geotextielen in de Waterbouw zijn daarom ook ontwerprichtlijnen voor dit type matten opgenomen. Deze ontwerprichtlijnen zijn echter gebaseerd op empirisch onderzoek en daarom is niet bekend of deze ook geldig zijn voor andere omstandigheden. Ook is niet bekend welke specifieke eigenschappen van de matten bepalend zijn voor de beschermende werking. Als gevolg daarvan is er ook geen CE-markering voor dit type matten. Tegelijkertijd is er ook in Nederland al meer dan 30 jaar ervaring met deze matten in uitgevoerde projecten, waaruit blijkt dat zij naar behoren functioneren.

Aanvullend onderzoek is noodzakelijk om te onderzoeken wat bepalend is voor de erosie werende werking van dit soort matten.



Groningenweg 10
Postbus 420
2800 AK Gouda

T 0182 540 620
F 0182 540 621

secretariaat@curbouweninfra.nl
www.curbouweninfra.nl



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat



NEDERLANDSE GEOTEXTELORGANISATIE

