

Handreiking Dijkbekledingen

Deel 2: Steenzettingen





Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Handreiking Dijkbekledingen

Deel 2: Steenzettingen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen
Datum	Januari 2015
Status	Definitief

Voorwoord

Inleiding en kader

Deze Handreiking Dijkbekledingen is opgesteld om de meest recente kennis, de state-of-the-art, vast te leggen over de in Nederland meest voorkomende typen dijkbekledingen. Die kennis kan gebruikt worden voor het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud ervan. Het betreft een vastlegging van de kennis over bekledingen op dijken, oevers en boezemkaden met als hoofdfunctie de bescherming tegen hoogwater, golven en stroming. Het is in principe bedoeld voor dijkbekleding op primaire waterkeringen (in Nederland), maar kan ook nuttig gebruikt worden in geval van bekledingen op andere typen dijken of oevers. Het rapport bevat ook criteria om het toepassen van nieuwe materialen als dijkbekleding mogelijk te maken (ondersteuning innovaties).

Aanleiding voor het opstellen van deze handreiking is enerzijds de noodzaak om de actuele kennis publiek bekend en toegankelijk te maken en anderzijds om de behoefte van het bedrijfsleven (innovators) en de beheerders van de waterkeringen te helpen aan een gids voor het ontwikkelen en accepteren van nieuwe (innovatieve) dijkbekledingstypen.

Dit rapport wordt uitgegeven als 'Handreiking' vanwege het feit dat op dit moment veel veranderingen plaats vinden.

- Zo wordt er een nieuw toetsinstrumentarium ontwikkeld, gebaseerd op overstromingskansen (in het programma WTI).
- Ook wordt gewerkt aan het herstructureren van de ENW Leidraden en Technische rapporten,
- En er wordt gewerkt aan een Ontwerpinstrumentarium.

Deze handreiking bevat de stand van de kennis tot en met 2013. Deze kennis heeft een kwaliteitsborging- en acceptatietraject gehad met de betrokkenheid van ENW. In het rapport is ook recentere kennis verwerkt (namelijk deel 4 "breuksteenbekledingen" en paragraaf 7.3.3. van deel 5 "grasbekledingen"). Ook deze kennis heeft een kwaliteitsborgingstraject gehad. De behandeling in ENW zal in het najaar van 2015 plaatsvinden. Deze handreiking wordt binnenkort in de nieuwe structuur van ENW Leidraden en Technische Rapporten verwerkt.

Dit onderdeel van de Handreiking Dijkbekledingen betreft Deel 2: Steenzettingen.

Structuur en samenhang

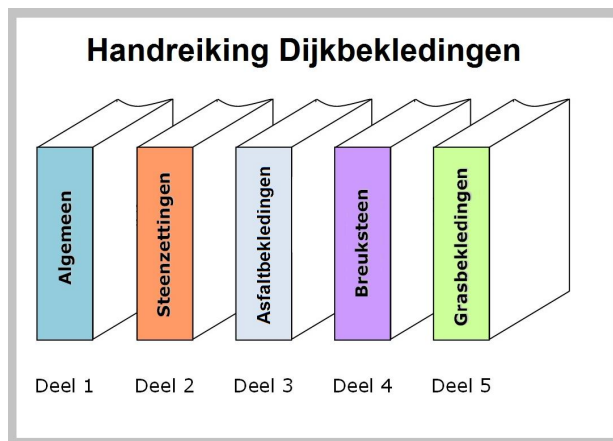
De Handreiking Dijkbekledingen bestaat uit vijf delen:

- Deel 1 : *Algemeen*
Deel 1 geeft de criteria aan voor de toepassing van (innovatieve) bekledingen op waterkeringen.
- Deel 2 : *Steenzettingen* (dit onderdeel)
Deel 2 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van steenzettingen.
- Deel 3 : *Asfaltbekledingen*
Deel 3 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van asfaltbekledingen.
- Deel 4 : *Breuksteenbekledingen*
Deel 4 bevat de (technische) eisen en rekenregels ten behoeve van het ontwerp, de toetsing en het beheer en onderhoud van breuksteen-

bekledingen.

Deel 5 : *Grasbekledingen*

Deel 5 bevat de rekenregels en achtergrond informatie ten behoeve van de toetsing van grasbekledingen.



De indeling van de Handreiking is per onderdeel verschillend:

Deel 1 heeft een eigen indeling op basis van de eisen vanuit wetgeving en vanuit de functies van de bekleding;

Deel 2 t/m 4 zijn opgesteld als 'gebruiksdocument', vanuit het perspectief van de gebruiker. Hiervoor is een duidelijke scheiding tussen toepassingen (ontwerp, toetsen en B&O) en achtergrondinformatie doorgevoerd. Achtergrondinformatie is in deze rapporten alleen op hoofdlijnen gegeven met verwijzingen naar onderliggende (onderzoek) rapportages. *Deel 2 t/m 4* zijn opgebouwd uit een leeswijzer en vier katernen: ontwerp, toetsen, beheer & onderhoud en algemene informatie.

Deel 5: is gebaseerd op het rapport 'Toetsen Grasbekledingen op Dijken', opgesteld in het kader van het onderzoekprogramma Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW). Omdat de achtergrondinformatie en achtergronden van het onderzoek zijn opgenomen in het document heeft *deel 5* hierdoor een afwijkende indeling. Ondanks deze andere opbouw is dit onderdeel opgenomen in de Handreiking dijkbekledingen ten einde alle veelvoorkomende typen bekledingen aan bod te laten komen.

Totstandkoming Handreiking Dijkbekledingen

De Handreiking Dijkbekledingen is grotendeels opgesteld op basis van beschikbare kennis en documenten tot en met 2013:

Deel 1 : *Algemeen* is integraal gebaseerd op het rapport:

- *Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen. Hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen* [27].

Deel 2 : *Steenzettingen* (dit onderdeel) is onder andere gebaseerd op onderdelen van:

- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [11];

- de *Documentatie Steentoets2008 en Steentoets2010* [28]
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst van dit onderdeel.

Deel 3 : *Asfaltbekledingen* is onder andere gebaseerd op onderdelen van:

- het *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren* [10];
- de *State of de Art Asfaltdijkbekledingen* [25];
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 3.

Deel 4 : *Breksteenbekledingen* is onder andere gebaseerd op teksten uit:

- het *Technisch Rapport Steenzettingen* [11];
- overige *literatuur* zoals opgenomen in de literatuurlijst Deel 4.

Deel 5 : *Grasbekledingen* is vrijwel gelijk aan de '*Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*' en is gebaseerd op:

- het onderzoeksrapport *Toetsen Grasbekledingen op Dijken* [29].

De Handreiking Dijkbekledingen is tot stand gekomen mede door:

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijks-waterstaat (WVL en Projectbureau Zeeweringen)	
Opgesteld door	J. Cirkel, C. van Dam (<i>projectleiders</i>) E. van den Akker, J.-W. Nell (<i>redacteurs</i>)	Royal HaskoningDHV
Bijdragen en Begeleidingsgroep	M. Klein Breteler R. 't Hart B. Wichman C.J. Dorst Y. Provoost A. Bizzarri (<i>projectleider</i>)	Deltares Deltares Deltares RWS RWS RWS
(<i>Externe</i>) kwaliteitsborging	ENW Klankbordgroep Steenzettingen E. van Hijum (<i>voorzitter</i>)	

Inhoudsopgave (Deel 2: Steenzettingen)

Voorwoord

Lijst met afkortingen

Symbolenlijst

verklarende woordenlijst

1.	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Leeswijzer	1
KATERN I: ONTWERP		
2	Ontwerpprocedure	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Ontwerpstappen	3
2.3	Toelichting op ontwerpstappen	3
3	Vorbereiding	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Opstellen programma van eisen	5
3.2.1	Eisen en wensen vanuit de techniek	5
3.2.2	Eisen en wensen vanuit de omgeving	6
3.3	Verzamelen gegevens	8
3.3.1	Verschillen in gegevens voor ontwerp en toetsing	9
3.3.2	Methodes van gegevensverzameling	9
3.3.3	Belangrijke instanties en gegevensbronnen	9
3.4	Vaststellen vak- en strookindeling	10
3.4.1	Criteria voor de indeling in ontwerpvakken (lengterichting)	10
3.4.2	Criteria voor de indeling in bekledingsvakken (verticale richting)	12

3.5	Afweging en keuze van de bekleding per vak	12
3.5.1	Plus/min-criteria	12
3.5.2	Vergelijking en keuze	15
4	Dimensioneren	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Voorselecteren bekledingstypen	17
4.3	Kiezen en ontwerpen filterconstructie (dimensionering op materiaaltransport)	19
4.3.1	Principes filterontwerp	20
4.3.2	Keuze geokunststof of granulair filter	22
4.3.3	Keuze soort geokunststof of granulair filter en dimensionering	22
4.4	Dimensionering op toplaaginstabiliteit – standaardsteenzettingen	24
4.4.1	Verschil hergebruik en nieuw aan te voeren toplaagelementen	25
4.4.2	Standaardelementen op granulaire laag – hergebruik	25
4.4.3	Standaardelementen op granulaire laag - nieuw aan te voeren	27
4.5	Dimensionering op toplaaginstabiliteit - aanverwante bekledingstypen	29
4.5.1	Steenzettingen met afstandhouders	29
4.5.2	Blokkenmatten	30
4.5.3	Doorgroeistenen	30
4.5.4	Ingegoten steenzetting	30
4.5.5	Overlaging met breuksteen	31
4.5.6	Steenzettingen met ruwheidselementen	31
4.6	Samenstellen dwarsprofielvarianten	33
4.6.1	Samenvatten toepasbare bekledingen in overzichtstabel	33
4.6.2	Beschikbaarheid van toplaagelementen	33
4.6.3	Samenstellen van dwarsprofielen	34
4.6.4	Verwerking tonrondte	35

4.6.5	Omgaan met tonrondte in de dimensionering	37
4.7	Weerstand tegen afschuiving	37
4.7.1	Controle op afschuiving	37
4.7.2	Maatregelen tegen afschuiving	38
4.8	Overige constructies	38
4.8.1	Teenbestorting	38
4.8.2	Teenconstructie	39
4.8.3	Overgangs- en aansluitingsconstructies	40
4.8.4	Berm	44
4.8.5	Buitentalud in de golfoploopzone	46
4.8.6	Kruin boven ontwerppeil en bijbehorend binnentalud	47
4.8.7	Overstroombare kruin en binnentalud	47
4.9	Ontwerpen controleren met STEENTOETS	47
4.9.1	Invoer STEENTOETS	48
4.9.2	Iteratief optimaliseren ontwerp	48
5	Ontwerp Voorbeeld: vervanging 'onvoldoende' bekleding zeedijk	51
5.1	Projectomschrijving	51
5.2	Ontwerpcondities	52
5.2.1	Golfrandvoorwaarden	52
5.2.2	Milieu	52
5.3	Keuze bekledingstypen	53
5.3.1	Beschikbaarheid	53
5.3.2	Voorselectie	54
5.3.3	Technische toepasbaarheid	54
5.3.4	Ecologische toepasbaarheid	55
5.3.5	Alternatieven	56

5.3.6	Afweging en keuze	56
5.4	Nadere dimensionering	58
5.4.1	Teenschot en teenbestorting	58
5.4.2	Steenzetting	59
5.4.3	Overgangsconstructies	61
5.4.4	Onderhoudsstrook	61
5.5	Samenvatting	61
6	Ontwerp Voorbeeld: ontwerp nieuwe bekleding	65
6.1	Vorbereiding	65
6.1.1	Programma van eisen	66
6.1.2	Verzamelen gegevens	67
6.1.3	Vaststellen vakindeling	67
6.2	Ontwerp bekleding	68
6.2.1	Voorselectie bekledingstypen	68
6.2.2	Keuze en ontwerp van de filterconstructie	69
6.2.3	Dimensionering op toplaagstabiliteit	71
6.2.4	Samenstellen varianten	73
6.2.5	Weerstand tegen afschuiven	74
6.2.6	Afweging en keuze bekleding per vak	75
6.3	Ontwerp overige onderdelen	75
6.3.1	Overgangs- en aansluitingsconstructies	75
6.3.2	Berm	76
6.3.3	Buitentalud boven ontwerppeil	78
6.4	Opmerkingen bij het voorbeeld	79

KATERN II: TOETSING

7	Toetsing	81
7.1	Inleiding	81
7.2	Twee werkwijzen: lineair en iteratief	82
7.3	Verzamelen van gegevens	83
7.4	Vaststellen vakindeling	85
7.4.1	Toetsvakindeling op basis van beschikbare gegevens	85
7.4.2	Globale toetsvakindeling	86
7.4.3	Nut of noodzaak verdere detaillering van de toetsvakindeling	86
7.4.4	Detaillering toetsvakindeling	87
7.5	Gedetailleerde toets met STEENTOETS	88
7.6	Geavanceerde toets	90
7.6.1	Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)	90
7.6.2	Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS)	90
7.6.3	Afschuiving (ZAF)	96
7.6.4	Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO)	97
7.6.5	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG)	97
7.6.6	Erosie van de onderlagen (ZEO)	97
7.6.7	Invloed van overgang op toplaaginstabiliteit (ZOI) en Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie (ZOB)	97
7.7	Overgangen en aansluitingen	98
8	Toetsing Voorbeeld: Steenzetting in getijdegebied	99
8.1	Projectomschrijving	99
8.1.1	Inleiding	99
8.1.2	Beschrijving dijktraject	99
8.2	Vorbereiding	100

8.2.1	Gegevens verzamelen	100
8.2.2	Hydraulische randvoorwaarden	102
8.2.3	Vaststellen vakindeling	102
8.3	Toetsproces	102
8.3.1	Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)	104
8.4	Omgaan met de resultaten	105
9	Toetsing Voorbeeld: Steenzetting op een meerdijk	107
9.1	Projectomschrijving	107
9.2	Vorbereiding	108
9.2.1	Gegevens verzamelen	108
9.2.2	Vaststellen vakindeling	110
9.3	Toetsing	111
9.3.1	Resultaten	112
9.4	Omgaan met de resultaten	112
KATERN III: UITVOERING, INSPECTIE, BEHEER EN ONDERHOUD		
10	Overdracht naar contract, uitvoering en beheer	113
10.1	Samenwerking ontwerpers, contractschrijvers en directie	113
10.2	Specifieke aandachtspunten in de uitvoering	113
10.3	Aandachtspunten bekledingstypen	114
10.4	Overdracht van uitvoering naar beheer	116
11	Beheer en onderhoud	117
11.1	Inleiding	117
11.2	Toegankelijkheid buitentalud	117
11.3	Inspectie en onderhoud	117

KATERN IV: ALGEMENE INFORMATIE

12	Functies van een steenzetting	121
12.1	Inleiding	121
12.2	Primaire functie: veiligheid door bescherming tegen erosie	121
12.3	Overige functies van een steenzetting	121
12.3.1	Begroeibaarheid	121
12.3.2	Visueel aspect van het landschap	127
12.3.3	Cultuurhistorisch monument	128
12.3.4	Omgeving voor recreatie	129
12.4	Primaire functie in relatie tot de overige functies	129
13	Constructieonderdelen steenzetting	131
13.1	Inleiding	131
13.2	Varianten van bekledingssystemen	131
13.3	Bekledingssysteem	132
13.3.1	Toplaag van standaardelementen	133
13.4	Principe-varianten voor een steenzetting van standaardelementen	138
13.4.1	Toplaag van aanverwante bekledingstypen	138
13.4.2	Inwasmateriaal	142
13.4.3	Granulaire laag	143
13.4.4	Geokunststof	144
13.4.5	Granulaire aanvulling	145
13.4.6	Basismateriaal	145
14	Faalmechanismen steenzetting	147
14.1	Inleiding	147
14.2	Falen bekleding versus falen waterkering	147

14.3	Bezwijken toplaag door toplaaginstabiliteit	147
14.3.1	Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking	148
14.3.2	Toplaaginstabiliteit door golfklap	150
14.3.3	Toplaaginstabiliteit door langsstroming	151
14.3.4	Toplaaginstabiliteit door golfoploop	152
14.3.5	Bezwijken van steenzetting op een berm	152
14.4	Bezwijken steenzetting door afschuiving	153
14.5	Bezwijken steenzetting door materiaaltransport	155
14.5.1	Materiaaltransport vanuit de ondergrond naar de granulaire laag	156
14.5.2	Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag	158
14.6	Bezwijkmechanismen van aanverwante bekledingstypen	159
14.6.1	Bezwijken van geschakelde steenzettingen	159
14.6.2	Bezwijken van doorgroeistenen	159
14.6.3	Bezwijken van ingegoten steenzettingen	159
14.7	Bezwijken door niet-hydraulische beschadiging	159
14.8	Falen door of van teen-, overgangs- en aansluitingsconstructies	160
14.8.1	Bezwijken door teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie	160
14.8.2	Falen van teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie	162
15	Algemene gegevens constructie	163
15.1	Inleiding	163
15.2	Grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak	163
15.3	Taludhelling	163
15.4	Voorlandhoogte	166
15.5	Bestaande, aansluitende constructies	166
15.6	Eigenschappen basismateriaal	167

16	Technische eigenschappen van de steenzetting	169
16.1	Inleiding	169
16.2	Toplaagdikte	169
16.3	Weerstand tegen golfoploop	171
16.4	Dichtheid toplaagelementen	172
16.5	Open ruimte tussen toplaagelementen	174
16.6	Eigenschappen inwasmateriaal	176
16.7	Inzanding/inslibbing van de toplaag	177
16.8	Dikte granulaire laag	177
16.9	Materiaaleigenschappen granulaire laag	179
16.10	Porositeit granulaire laag	180
16.11	Vlijlaag	181
16.12	Eigenschappen geokunststof	181
16.13	Eigenschappen granulaire aanvulling	182
16.14	Dikte cohesieve laag	184
16.15	Korrelgrootteverdeling cohesieve laag	185
16.16	Erosiebestendigheid van de klei	185
16.17	Korrelgrootteverdeling zandkern	186
	Literatuur	
COLOFON		189

Lijst met afkortingen

Afkorting	
DLG	Dienst Landelijk Gebied
DTH	Dijktafelhoogte
GHW	Gemiddeld hoogwater
ENW	Expertise Netwerk Waterveiligheid
HR	Hydraulische Randvoorwaarden
I & M	Infrastructuur en Milieu (Ministerie)
MER	Milieueffectrapport
MHW	Maatgevend hoogwater
NAP	Normaal Amsterdams Peil
RWS	Rijkswaterstaat
TAW	Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen
TR	Technisch Rapport
VTV	Voorschrift Toetsen op Veiligheid
WVL	Water, Verkeer en Leefomgeving
ZAF	Beoordelingsspoor Afschuiving voor steenzettingen
ZEO	Beoordelingsspoor Erosie van de onderlagen voor steenzettingen
ZMG	Beoordelingsspoor Materiaaltransport vanuit de granulaire laag voor steenzettingen
ZMO	Beoordelingsspoor Materiaaltransport vanuit de onderlaag voor steenzettingen
ZOB	Beoordelingsspoor Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie
ZOI	Beoordelingsschema Invloed overgang op toplaaginstabiliteit
ZTG	Beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder golfaanval voor steenzettingen
ZTS	Beoordelingsspoor Toplaaginstabiliteit onder langsstroming voor steenzettingen

Symbolenlijst

A	Lengte waarover een vlak maaiveld aanwezig moet zijn	[m]
A _d	Tekort aan oppervlak beneden Rekenpeil	[m ²]
A _e	Erosieoppervlak rond de waterlijn	[m ²]
A _L	Het volume lucht per m ¹ dam onder de asfaltbekleding	[m ²]
A _{ont}	Oppervlakte ontgrondingskuil in dwarsprofiel	[m ²]
A _{tot}	Het totale volume per m ¹ dam onder de asfaltbekleding, boven de lijn ter hoogte van h _d	[m ²]
A _v	Tekort aan oppervlak beneden Rekenpeil die hoort bij de aanwezige duinvoetverdediging	[m ²]
B	- Kruinbreedte - Diameter open plek in de begroeiing - Breedte van de gesloten teenbescherming, gerekend vanaf de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding - Breedte van een steen in een steenzetting (haaks op de dijkas)	[m] [m] [m] [m]
B _{max}	Afstand tussen binnenkruinlijn grensprofiel en het midden van de open plek	[m]
C	- Hoogte freatische lijn ter plaatse van de buitenteen van de dijk - Afstand tussen de binnenkruinlijn van het grensprofiel en het snijpunt van het Rekenpeil met de landwaartse zijde van het landwaartse gesloten duin	[m NAP] [m]
C _{slib}	Invloedsfactor voor ingeslibde granulaire laag	[-]
D	- Laagdikte van de toplaag - Hoogte freatische lijn ter plaatse van de binnenteen van de dijk - Hoogte freatische lijn ter plaatse van het binnentalud van de dijk - Laagdikte van de toplaag	[m] [m NAP] [m NAP] [m]
D ₁	Dikte samendrukbare laag	[m]
D ₂	Dikte niet-samendrukbare laag	[m]
D _{bx}	Korrel diameter van granulair basismateriaal die door x% van het basismateriaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]
D _{fx}	Korrel diameter van granulair filtermateriaal die door x% van het filtermateriaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]
D _{nx}	Nominale diameter van granulair materiaal: de diameter van de denkbeeldige kubus met massa M _x en dichtheid ρ (D _{nx} = (M _x /ρ) ^{1/3})	[m]
D _x	Korrel diameter van granulair materiaal die door x% van het materiaal op basis van gewicht wordt onderschreden	[m]
DTH	Dijktafelhoogte	[m NAP]

E	Hoogte freatische lijn ter plaatse van de binnenteen van de dijk	[m NAP]
E_{dyn}	Elasticiteitsmodulus	[N/m ²]
F _g	Zwaartekracht	[N]
F _w	Wrijvingskracht	[N]
F Φ	Zwaartekracht	[N]
G	Gatdiameter, de grootte van de openingen tussen de toplaagelementen	[m]
H	- Golfhoogte - Verschil actuele kruinhoogte en maaiveld voorland - Geuldiepte	[m] [m] [m]
H ₁	Hoogteverschil tussen Gemiddelde Waterstand (GWS) en de actuele kruinhoogte	[m]
H _{beoord}	Beoordelingsniveau	[m NAP]
H _{lok}	Lokale taludhoogte	[m]
H _{m0}	Spectrale golfhoogte	[m]
H _{onbest}	Verticale gedeelte van de geul onder de bestorting	[m]
H _r	Rekenwaarde voor de golfhoogte aan de teen van de dijk	[m]
H _s	Significante golfhoogte	[m]
H _{tot}	Totale taludhoogte	[m]
HW	Hoogwater	[m NAP]
H _{vw}	Dikte verwekingsgevoelige laag	[m]
I	Horizontale indringingsdiepte	[m]
I _p	Plasticiteitsindex	[%]
L	- Kwelweglengte - Breedte van de dijkbasis - Diepte van de gesloten damwand ten opzichte van de onderzijde van de gesloten asfaltbekleding - Lengte van een steen in een steenzetting (evenwijdig aan de dijkas)	[m] [m] [m] [m]
L ₀	Golf lengte op diep water	[m]
L _{0p}	Golf lengte op diep water die hoort bij de piekperiode T _p	[m]
L _s	Inscharingslengte	[m]
LW	Laagwater	[m NAP]
M _{bestorting}	Horizontale afmeting van de bestorting vanaf de teen	[m]
MGW	Maatgevende Grondwaterstand	[m NAP]
MHW	Maatgevend Hoogwater	[m NAP]
M _{rek}	Rekenwaarde van de marge	[m]
M _x	massa die door x% van de steenstukken van een sortering wordt onderschreden	[kg]
N	- Aantal golven - Aantal lastherhalingen	[-] [-]

O ₉₀	Karakteristieke openingsgrootte van een geotextiel (aanduiding van de grootte van de openingen door middel van de korrelgrootte van de zandfractie, waarbij tijdens een zeeftest 90 gewichtsprocenten van de oorspronkelijk aangebrachte hoeveelheid zand op of in het omhullingsmateriaal blijft zitten)	[m]
P	Permeabiliteitsfactor	[-]
P _L	Luchtdruk onder de kruin ten opzichte van de atmosferische druk	[Pa]
Q _n	Factor, afhankelijk van de taludhelling	[-]
R _W	Reductiefactor toegepast op de benodigde laagdikte	[-]
S	Schadegetal	[-]
S _{af}	Afschuivingspunt	[-]
SP	Streefpeil	[m NAP]
T	Golfperiode	[s]
T _e	Extra teruggang van duin	[m]
T _q	Dikte van het geotextiel	[m]
T _m	Gemiddelde golfperiode	[s]
T _{m-1,0}	Spectrale periodemaat	[s]
T _p	Piekperiode	[s]
V	Breedte voorland	[m]
W _I	Vloiegrens	[%]
WP	Winterstreefpeil	[m NAP]
Z _b	Niveau van de bovenste overgangsconstructie van de te beoordelen bekleding ten opzichte van NAP	[m]
Z _k	Zandgehalte	[%]
a	Verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot de maatgevende buitenwaterstand	[m]
b	Slootbodembreedte	[m NAP]
b _{berm}	Breedte berm	[m]
b _f	Dikte van de granulaire laag/filter	[m]
b _k	Dikte van de cohesieve laag	[m]
b _{kr}	Actuele kruinbreedte	[m]
b _r	Breedte van scheur of naad	[mm]
d	- Dikte van slecht doorlatend pakket nabij uittredepunt - Dikte van klei-/veenpakket ter plaatse van achterland - Afstand waarover de regressielijn landwaarts wordt verschoven voor verwerking profiel fluctuaties - Waterdiepte	[m] [m] [m] [m]
d ₋	Ondergrens waterdiepte	[m]
d ₊	Bovengrens waterdiepte	[m]
d _{5%}	Waarde voor de laagdikte met een onderschrijdingskans van 5%	[m]
d _B	Waterdiepte boven de buitenknik van de berm	[m]

d_{berm}	Hoogte berm ten opzichte van maaiveld	[m]
d_{min}	Minimale laagdikte	[m]
$d_v(y)$	De vereiste laagdikte op y meter van de onderkant van de gesloten bekleding	[m]
$d_{v,\text{max}}$	Maximale vereiste laagdikte	[m]
$d_{v,\text{max},r}$	Maximale vereiste laagdikte inclusief reductie	[m]
f	- Factor voor het bepalen van de rekenwaarde van de toplaagdikte van een steenzetting op het buitentalud van een lage havendam - Invloedsfactor	[-] [-]
	- Factor voor benodigde steendiameter	[-]
f_a	Factor bij eenvoudige toetsing op Macrostabiteit binnenwaarts	[-]
f_k	Factor bij eenvoudige toetsing op Macrostabiteit binnenwaarts	[-]
g	Zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
\bar{g}	Afstand waarover de regressielijn landwaarts wordt verschoven voor invloed gradiënt langstransport	[m]
h	- Actuele kruinhoogte ten opzichte van maaiveld achterland - Verschil tussen waterstand achter kering en hoogte voorland - Waterdiepte voor de constructie	[m] [m] [m]
h_0	Hoogte afslagzone tot snijpunt met harde constructie	[m]
h_A	- Hoogte afslagzone	[m]
h_{boven}	Hoogte van het boventalud in geval van een verzadigd waterkerend grondlichaam (= $2 \times h_{\text{dijk}}$)	[m]
h_c	- Het niveau van de kruin ten opzichte van toetspeil + toelagen - Relatieve kruinhoogte - Hoogte van constructie en afsluitmiddelen	[m] [m NAP] [m]
h_d	Niveau aan de onderzijde van de bekleding waar de dichte bekleding begint ten opzichte van de buitenwaterstand	[m]
h_{dijk}	Hoogte van het waterkerend grondlichaam	[m]
h_{fictief}	Fictieve geuldiepte	[m]
h_{geul}	Geuldiepte	[m]
h_{kr}	- Absolute hoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn op de peildatum - Kerende hoogte	[m NAP] [m NAP]
h_L	Niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand	[m]
h_m	Waterdiepte ter plaatse van de overgang ondiep voorland - waterkering	[m]
h_{onder}	Hoogte van het ondertalud (= $h_{\text{geul}} + \Delta h_{\text{onder}}$)	[m]
h_{opw}	Lokale opwaaiing	[m]
h_{ov}	Overslag- of overloophoogte	[m]
h_{sbb}	Invloed van seiches, buioscillaties en buistoten	[m]

h_t	Waterdiepte op de teen	[m]
k	- Minimaal vereiste kruinbreedte - gelineariseerde doorlatendheid van het granulaire filter of uitvullaag	[m] [m/s]
k'	Gelineariseerde doorlatendheid van de toplaag van gezette steen	[m/s]
l	Lengte van de scheur of naad	[m]
n	- Cotangens van de taludhelling van het binnentalud - Porositeit van het granulaire filter of uitvullaag	[-] [-]
q	- Overslagdebiet - Toeslagwaarde voor aanwezigheid van een damwand op de hoogte van de dichte bekleding - Oploop- of overslagdebiet	[l/m/s] [m] [l/m/s]
r	- Lengte voor bepaling achteruitgang kust - Toeslagwaarde voor aanwezigheid van een gesloten teenbescherming op de hoogte van de dichte bekleding	[m] [m]
S_{op}	Golfsteilheid op diepwater op basis van piekperiode	[-]
$S_{m-1,0}$	Golfsteilheid op diepwater op basis van $T_{m-1,0}$	[-]
s	Spleetbreedte tussen de stenen van de steenzetting	[m]
t	Tijd	[s, d, jr]
t_{op}	Tijdstip waarop het afslagpunt het grensprofiel bereikt	[-]
t_k	De tijdsduur dat het te toetsen punt in de klapzone ligt	[uur]
t_{kmax}	Maximaal toelaatbare belastingduur voor de klapzone	[uur]
t_{rq}	Reststerkte van de toplaag + de granulaire laag	[uur]
t_{rk}	Reststerkte van de kleilaag	[uur]
t_s	De tijdsduur dat het te toetsen punt in de oploop-/orbitaalzone ligt	[-]
t_{sm}	Maatgevende belastingduur	[uur]
t_{smax}	Maximaal toelaatbare belastingduur voor golfoploop	[uur]
t_{sr}	Rekenwaarde van de belastingduur voor golfoploop	[uur]
u	- Maximale stroomsnelheid op de kruin - Diepte-gemiddelde stroomsnelheid - Waterspanning	[m/s] [m/s] [kN/m ²]
v	Verticaal gemeten afstand van de maatgevende buitenwaterstand tot de maatgevende grondwaterstand	[m]
v_r	Rekenwaarde van de stroomsnelheid tijdens een golfperiode	[m/s]
y	De verticaal gemeten afstand van de onderkant van de gesloten bekleding tot het beschouwde punt	[m]
z	- Verticale afstand - Verschil tussen MGW en onderzijde gesloten bekleding - Hoogte van het te toetsen punt op het buitentalud ten opzichte van toetspeil + toeslagen	[m] [m] [m]
$Z_{2\%}$	Golfoploophoogte, verticaal gemeten ten opzichte van de waterstand, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven	[m]

Z_q	Golfoploophoogte ten opzichte van toetspeil + toeslagen, behorende bij een oploopdebiet q van 0,1 l/m/s	[m]
Δ	Relatieve dichtheid van de toplaag: $(\rho_t - \rho_w)/\rho_w$	[-]
ΔH	Hoogteverschil tussen toetspeil + toeslagen en de waterstand achter de kering of het maaiveld achter de kering indien geen sloot aanwezig is	[m]
Δh_{onder}	Hoogte van het gedeelte van de geul dat bij extreem laagwater boven water ligt	[m]
Λ	Leklengte van de steenzetting	[m]
Ω	- Open-oppervlak percentage - Percentage open oppervlak in een steenzettingen	[%] [%]
α	- Gemiddelde taludhelling in de zone tussen toetspeil - 1,5H _s en toetspeil of toetspeil + 1,5H _s - Taludhelling - Coëfficiënt bij de wettelijke waterstandsnorm - Gemiddelde taludhelling - Locale taludhelling - Taludhelling van de asfaltbekleding	[°] [°] [-] [°] [°] [°]
α_{boven}	Hoek tussen het maaiveld van het voorland en het talud van de waterkering	[°]
α_k	Taludhelling voor het mechanisme golfklap	[-]
α_o	Taludhelling voor het mechanisme golfploop	[-]
α_{onder}	Hoek tussen de geulbodem en het onderwatertalud	[°]
β	Hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering	[°]
γ_{berm}	Gewogen gemiddeld volumegewicht van het materiaal waaruit de berm is opgebouwd	[kN/m ³]
γ_{nat}	Gewogen gemiddeld volumegewicht van slecht doorlatend pakket	[kN/m ³]
γ_o	Veiligheidsfactor	[-]
γ_w	Volume gewicht water	[kN/m ³]
∂	Rekenparameter	[-]
ξ_m	Golfbrekerparameter gebaseerd op T _m	[-]
ξ_{Op}	Golfbrekerparameter gebaseerd op piekperiode	[-]
ρ_s	Dichtheid van breuksteen	[kg/m ³]
ρ_t	Dichtheid van de toplaag	[kg/m ³]
ρ_w	Dichtheid van water	[kg/m ³]
σ	- Bezwijksterkte - Grondspanning	[N/m ²] [kN/m ²]
σ'	Korrelspanning of effectieve spanning	[kN/m ²]
τ	Schuifsterkte	[kN/m ²]
φ	Hellingshoek voor bepaling schadeprofiel	[°]

Verklarende woordenlijst

(Water)doorlatendheid	Verhouding tussen specifiek debiet en verhang.
Aanleghoogte	Kruinhoogte van de waterkering onmiddellijk na het gereedkomen ervan.
Aansluitingsconstructie	Gehele dwars- en lengteprofiel van een grondconstructie in zijn afwijkende vorm, bij de overgang naar een duin, hoge gronden of een kunstwerk.
Aanverwant bekledingstype	Niet-standaardsteenzetting of bekledingstype dat verwant is aan steenzettingen.
Achterland	Het gebied aansluitend aan de landzijde van de waterkering.
Afschuiving	Verzamelnaam voor faalmechanismen waarbij beweging van top laag en eventueel andere lagen langs het talud plaatsvindt.
Afstandhouder	Kunststof of metalen element dat tussen top laag elementen wordt aangebracht om het openruimtepercentage te vergroten.
Analytische methode	Gedetailleerde dimensioneringsmethode voor de faalmechanismen top laag instabiliteit onder golfaanval en materiaaltransport vanuit de ondergrond.
Aquifer	Watervoerende zandlaag.
Bandijk	Rivierdijk die het winterbed omsluit.
Basalton	Type betonzuil.
Basaltzuil	Zuilvervormig top laag element van basalt.
Basismateriaal	Bovenste laag van het grondlichaam onder de bekledingsconstructie.
Beheer	Het geheel van activiteiten dat noodzakelijk is om te waarborgen dat de functies van de waterkering blijven voldoen aan de daarvoor vastgestelde eisen en normen.
Beheerder	Overheid waarbij de (primaire) waterkering in beheer is.
Beheerdersoordeel	Beoordeling van de veiligheid op basis van eigen inschatting van de beheerder.
Beheersgebied	In de legger gespecificeerd areaal, dat als waterkering wordt aangemerkt en door de waterkeringbeheerder wordt beheerd.
Beheersmaatregel	Maatregel die de beheerder naar aanleiding van de toetsing treft om het waterkerend vermogen weer op peil te brengen (voorziening).
Beheersregister	Document met de beschrijving van de feitelijke toestand van de waterkering, met de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie.
Bekleding	Zie 'taludbekleding'.

Bekledingsconstructie / bekledingssysteem	Geheel van lagen die tot doel hebben de dijkkern te beschermen tegen erosie door de waterbeweging, bestaande uit een toplaag met daaronder (eventueel) uitvul-, filter- en kleilagen.
Belasting	Op een constructie (een waterkering) uitgeoefende in- en uitwendige krachten, ofwel de mate waarin een constructie door in- en uitwendige krachten wordt aangesproken, uitgedrukt in een fysische grootheid.
Benedenbeloop	Deel van het talud tussen teen en buitenberm.
Beoordelingsschema	Opeenvolging van stappen waarmee voor een beoordelingsspoor het toetsingsresultaat kan worden bepaald.
Beoordelingsspoor	Eén van de aspecten aan de hand waarvan de toetsing op veiligheid van de waterkering wordt uitgevoerd.
Bermfactor	Factor bepaald door golfhoogte en waterdiepte boven de berm, benodigd voor ontwerp en toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op een buitenberm.
Betonblok	Blokvormig toplaagelement van beton.
Betonpuin	Restproduct dat wordt gebruikt als granulair materiaal.
Betonzuil	Zuilvervormig toplaagelement van beton.
Bezwijken	Optreden van verlies van inwendig evenwicht (bijvoorbeeld afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bijvoorbeeld verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen.
Binnendijks	Aan de kant van het land of het binnenwater.
Binnentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk.
Binnenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de binnendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld).
Blokken	Toplaagelementen die nauw op elkaar aansluiten en waarbij de spleetbreedte rondom elk element min of meer constant en meestal klein is.
Blokkenmat	Geprefabriceerde toplaagelementen die onderling door kabels of een geokunststof zijn verbonden tot een mat.
Bovenbeloop	Deel van het talud tussen buitenberm en kruin.
Boventafel	Bovenste gedeelte van de taludbekleding (boven Gemiddeld Hoogwater of boven een overgangsconstructie).
Brekerparameter	Verhouding tussen de taludhelling en de (wortel uit) de golfsteilheid, die een indicatie is voor de wijze waarop golven op het talud breken.
Breuksteenoverlaging	Constructie waarbij op een bestaande, te lichte steenzetting ter versterking een pakket breuksteen is aangebracht.
Buitenberm	Extra verbreding aan de buitendijkse zijde van de dijk om het dijklichaam extra steun te bieden, om

	zandmeevoerende wellen te voorkomen en/of om de golfoploop te reduceren.
Buitendijks	Aan de kant van het te keren (buiten-)water.
Buitenknik	Knik tussen de berm en het benedenbeloop
Buitenkruinlijn	Lijn die de overgang markeert tussen de kruin en het buitentalud, waarlangs de toetsing op hoogte plaatsvindt.
Buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
Buitenteen	Onderrand van het dijklichaam aan de buitendijkse zijde van de dijk (de overgang van dijk naar maaiveld en/of voorland).
Buitenwater	Oppervlaktewater waarvan de waterstand direct onder invloed staat van de waterstand op zee, de grote rivieren, het IJsselmeer of het Markermeer.
Dam	Waterbouwkundige constructie met aan twee zijden water. Kan zijn aangelegd om de golfhoogte er achter te reduceren, de havendam, of als primaire waterkering tussen twee dijkringen (primaire waterkering categorie b).
Dichtheid	Verhouding tussen massa en volume van het materiaal (volumieke massa, soortelijke massa).
Dijk	Waterkerend grondlichaam.
Dijkkern	Grondlichaam van zand en/of klei dat moet worden beschermd tegen de inwerking van de waterbeweging.
Dijkringgebied	Gebied dat door een stelsel van waterkeringen of hoge gronden moet zijn beveiligd tegen overstrooming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoge waterstand op een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of Markermeer of bij een combinatie daarvan.
Dijkvak of dijksectie	Deel van een waterkering met min of meer gelijke sterkte-eigenschappen en belasting.
Doorgroeisteen	Platte betontegel of betonblok met gaten er in die begroeiing mogelijk maken (grasbetonstenen).
Doornikse steen	Blokvormig toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Doornik, België.
Ecotop	Ruw laagje op de bovenkant van toplaagelementen ter bevordering van flora en fauna.
Eenvoudige toetsing	De eerste stappen in een beoordelingschema, met relatief makkelijk toepasbare regels, uitgewerkt in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid.
Erosie van de onderlagen	Faalmechanisme van bekledingen dat zich voordoet als de beschermende werking van de toplaag weggevallen is.
Faalmechanisme	Opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.
Falen	Niet meer vervullen van de primaire functie (waterkeren).
Fictieve taludhelling	Gewogen gemiddelde van de taludhelling onder en boven de buitenberm, benodigd voor ontwerp en toetsing op toplaaginstabiliteit van steenzettingen op de berm.
Filter	Tussenlaag in de taludbekleding die uitspoeling van

	fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding voorkomt.
Freatisch vlak	Vrije grondwaterspiegel.
Freatische lijn	Niveau van de waterspiegel in het filter of de dijk, ter plaatse van de toplaag.
Geavanceerde toetsing	De laatste stappen in een beoordelingsschema, waarvoor geen uitgewerkte rekenregels bestaan, uit te voeren door specialisten.
Gedetailleerde toetsing	De middelste stappen in een beoordelingsschema, met rekenregels van het niveau van de ontwerpleidraden en technische rapporten.
Geokunststof	Kunststof doek dat bijvoorbeeld op zand of klei wordt toegepast om uitspoeling ervan te voorkomen.
Geometrisch dicht	Criterium voor grond dichtheid van een filter, waarbij materiaaltransport fysiek onmogelijk is doordat de openingen in het filter kleiner zijn dan de korrelafmetingen van het basismateriaal.
Gepenetreerde steenzetting	Steenzetting waarbij tussen de toplaagelementen beton of asfalt is aangebracht om de sterkte te vergroten.
Geschakelde steenzetting	Blokkenmat of interlock-elementen.
Getijhoogwaterstijging	De relatieve stijging van de gemiddelde hoogwaterstand (inclusief NAP-daling).
Gietasfalt	Warm bereid asfalt met een mengsel van gegradeerd grind en een overmaat aan asfaltmastiek, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft.
Golfhoogte	Verschil tussen het hoogste en laagste niveau van het wateroppervlak tijdens de periode tussen twee positieve nuldoorgangen van het wateroppervlak (nul = niveau van de stilwaterlijn).
Golfinvalshoek	De hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering.
Golfklapzone	Deel van het talud dat door golfklappen wordt belast, gelegen onder de stil waterstand.
Golfoploop	Het tegen het talud oplopen van golven.
Golfoploophoogte	Dit is het golfoploophoogteniveau, verticaal gemeten ten opzichte van de lokale waterstand, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven. Het aantal overschrijdingen wordt hierbij gerelateerd aan het aantal inkomende golven en dus niet aan het aantal oplopen. Het golfoploophoogteniveau van een individuele oploop wordt bepaald door het niveau waarbij de watertong minder dan 2 centimeter dik wordt.
Golfoploophoogte / -niveau	Hoogste niveau ten opzichte van de stilwaterlijn tot waar een golf het talud nat maakt.
Golfoploopzone	Deel van het talud dat niet door golfklappen maar door golfoploop wordt belast, gelegen boven de stil waterstand.

Golfoverslag	Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat.
Golfoverslaghoogte	De hoogte ten opzichte van de waterstand, waarbij een bepaald opgegeven debiet optreedt. Iets preciezer gezegd is de golfoverslaghoogte het verschil tussen het niveau van de buitenkruinlijn en de lokale waterstand in de situatie dat de buitenkruinlijn zó hoog ligt dat de overslag daarover precies gelijk is aan het opgegeven debiet.
Golfperiode	Tijdsduur tussen twee opeenvolgende neergaande passages van de middenstand van een golf.
Golfspectrum	Verdeling van de golfenergiedichtheid als functie van de periode (bij een breed spectrum zijn de golfperioden van de windgolven onderling sterk verschillend).
Golfsteilheid	Verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
Granietblok	Blokvormig toplaagelement van graniet.
Granulaire laag	Laag van korrelig materiaal van beperkte dikte die onder de toplaag kan liggen, fungerend als filterlaag en/of uitvullaag.
Grenstoestand	Toestand waarin de sterkte van een constructie of een onderdeel daarvan nog juist evenwicht maakt met de daarop werkende belastingen.
Haringmanblok	Type betonblokken met inkeping ter beperking van golfoploop.
Havenslingering	Resonantieverschijnsel in bekkens (onder andere havens) als gevolg van laagfrequente variaties van de buitenwaterstand (seiche).
Hydra	Programmatuur voor het bepalen van hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.
Hydraulisch dicht	Criterium voor grond dichtheid van een filter, waarbij materiaaltransport onmogelijk is doordat de weerstand tegen uitspoeling voldoende groot is bij de maatgevende belasting.
Hydraulisch materiaal	Granulair materiaal dat kan samenkiten.
Hydraulische belasting	Belasting op de waterkering als gevolg van de lokale waterstand en bijbehorende golven.
Hydroblock	Type betonzuilen.
Hydrostatische waterspanning	(Grond-)waterspanning in een punt in de (onder-)grond die overeenkomt met de waterspanning als gevolg van een kolom water vanaf dat punt tot aan de vrije grondwaterspiegel.
Infiltratie	Indringen van water in de bodem of het grondlichaam van bovenaf.
Ingegoten steenzetting	Steenzetting waarbij tussen de toplaagelementen van boven af tot meer dan de helft van de toplaagdikte beton of asfalt is aangebracht ("vol en zat" gepenetreerde steenzettingen).

Inslibbing	De ophoping van slib in de toplaag en de granulaire laag, afkomstig van bijvoorbeeld het voorland (zie ook inzanding).
Interlockelementen	Geprefabriceerde toplaagelementen die door hun vorm in elkaar haken, waardoor individuele elementen niet uit de zetting kunnen worden gelicht.
Interne instabiliteit	Migratie van de fijne fractie van een filter door de poriën van het filter.
Inwasmateriaal	Granulair materiaal dat in de spleten tussen de stenen wordt aangebracht om de interactiekrachten tussen de blokken te vergroten.
Inzanding	De ophoping van zand in de toplaag en de granulaire laag, afkomstig van bijvoorbeeld het voorland (zie ook inslibbing).
Ja/nee-afweging	Afweging waarbij wordt besloten om varianten wel of niet in het verdere ontwerpproces mee te nemen.
Karakteristieke waarde	Waarde met een voorgeschreven onder- of overschrijdingskans, bepaald op grond van een statistische analyse van beschikbare gegevens.
Klemming	Bijdrage aan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit doordat naast elkaar liggende toplaagelementen onderlinge beweging onmogelijk maken.
Klinker	Toplaagtype.
Koperslakblok	Blokvormig toplaagelement, gemaakt van het restmateriaal koperslakken.
Kreukelberm	Zie 'teenbestorting'.
Kruin	- Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn; - Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam; Buitenkruinlijn (bij toetsing).
Kruinhoogte	Hoogte van de waterkering.
Kruinhoogtemarge	Het verschil tussen de kruinhoogte op de peildatum en toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, buioscillaties, seiches of slingeringen.
Kwel	Uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogte buiten het beschouwde gebied.
Langsstroming	Stroming van water over het talud evenwijdig aan de as van de dijk.
Langsvoeg	Spleet tussen blokvormige toplaagelementen aan de lange zijde van de blokken.
Leendertse blokken	Type interlockelementen.
Legger	Document, waarin de beschrijving is opgenomen van de minimale eisen waaraan de (primaire) waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie en waarin de keurbegrenzingsen worden aangegeven.
Leklengte	Parameter die onder andere de verhouding tussen de doorlatendheid van de toplaag en de granulaire laag bevat

	en die bepalend is voor de grootte van het stijghoogteverschil over de toplaag en het verhang in de granulaire laag.
Lessinese steen	Blokvormig toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Lessine, België.
Life cycle analysis	Beschouwing over één of meer aspecten van een product, proces, et cetera, waarbij de gehele levenscyclus van het onderzochte in de beschouwing voorkomt.
LNC- waarden	Landschap, Natuur en Cultuurhistorische waarden
Mastiek	Warm bereid asfalt met een continu gegradeerd mengsel van zand en vulstof en een overmaat aan bitumen, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft (asfaltmastiek).
Materiaaltransport	Faalmecanisme waarbij uitspoeling vanuit onderlagen leidt tot ondermijning van de toplaag.
Meerdijk	Primaire waterkering, gelegen langs in het algemeen grote wateren, anders dan rivieren, zonder getijdenwerking.
Microstabiliteit	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittredend water.
Mijnsteen	Restproduct van mijnbouw bestaand uit breed gegradeerd granulaair materiaal.
Modelfactor	Partiële factor waarin onzekerheden in de berekeningsmethodes zijn verdisconteerd.
NAP-daling	Daling van het NAP-vlak als gevolg van onderlinge bewegingen in de aardkorst. Wegens het ontbreken van een meetbaar referentiepunt kan deze daling niet zelfstandig, maar alleen in combinatie met de getijhoogwaterstijging worden gekwantificeerd.
Niet-primaire (water-) kering	Zie 'regionale (water-)kering'.
Niet-waterkerend object	Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals leidingen, woningen en bomen.
Noorse steen	Verzamelnaam voor stenen die in de ijstijd door ijsmassa's zijn meegenomen en die in de 19e en begin 20e eeuw in Midden- en Noord-Nederland als bekleding op de dijk zijn aangebracht (Noordse steen, Drentse steen, Poolse steen, flinten).
Normaal onderhoud	Vast en variabel onderhoud dat tijdig wordt uitgevoerd door de beheerder, waardoor het kwaliteitsniveau van de onderdelen van de kering boven het vastgestelde minimum blijft.
Normfrequentie	Gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste waterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, zoals bedoeld in het eerste lid van Artikel 3 van de Wet op de waterkering en zoals per dijkkringgebied weergegeven in Bijlage II en IIA bij de Wet op de waterkering.

Nulfractie	Fractie van granulair materiaal met kleine diameter, globaal kleiner dan 10 mm (nulfractie).
Ondergrond	Zand of klei onder de filterlaag.
Onderlagen	Alle lagen tussen de dijk kern en de toplaag.
Ondertafel	Onderste gedeelte van de taludbekleding (onder Gemiddeld Hoogwater of onder een overgangsconstructie).
Ongesorteerd	Aanduiding van granulair materiaal waaruit de nulfractie niet is uitgesorteerd.
Ontgroning	Erosie van de waterbodem als gevolg van stroming en golfbeweging.
Ontwerpkwaliteit	Het voldoen aan ontwerpcriteria bij gebruik van vastgestelde uitgangspunten en randvoorwaarden. Ontwerpkwaliteit bij toetsen: de waterkering voldoet aan ontwerpcriteria met gebruikmaking van toetsuitgangspunten en toetsrandvoorwaarden.
Ontwerplevensduur	Zie 'planperiode'.
Ontwerppeil	Een waterstand met een bepaalde kans van overschrijden vermeerderd met de verwachte waterstandstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de ontwerplevensduur (planperiode).
Ontwerpvak	Een deel van het projectgebied waarvoor geldt dat de eisen en kenmerken in lengterichting bij benadering constant zijn.
Ontwerpwaarde	In het ontwerp te hanteren waarde van een belastings- of sterkteparameter (rekenwaarde).
Onvoldoende	Resultaat van de toetsing als aangetoond is dat de waterkering op de peildatum niet voldoet aan de veiligheidsnorm.
Open ruimte	Het deel van het oppervlak dat niet door de toplaagelementen wordt bedekt.
Opperwater	Zie 'buitenwater'.
Overbelasting	Overschrijden van het vastgestelde overslagcriterium.
Overgangsconstructie	Constructie die tot doel heeft om twee verschillende bekledingsconstructies op elkaar aan te sluiten.
Overgoten steenzettingen	Steenzettingen waarbij tussen de toplaagelementen van boven af tot minder dan de helft van de toplaagdikte beton of asfalt is aangebracht (oppervlakkig gepenetreerde steenzettingen).
Overhoogte	Extra hoeveelheid grond die wordt aangebracht met het doel om na zetting van de ondergrond en klink van de aangebrachte grond het gewenste profiel te bereiken.
Overlopen	Verschijnsel waarbij water over de kruin van de dijk het achterland inloopt omdat de te keren waterstand hoger is dan de kruin.
Overschrijdings-	Gemiddeld aantal keren dat in een bepaalde tijd een

frequentie	verschijnsel een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
Overslagdebiet	Volume water dat per strekkende meter per seconde door de golfbeweging over de buitenkruinlijn slaat.
Partiële factor	Factor waarmee een representatieve waarde vermenigvuldigd (of gedeeld) wordt ter verkrijging van de rekenwaarde. De partiële factoren dienen om onzekerheden in belastingen, materiaaleigenschappen, rekenmethodes, gevolgen van falen en de overschrijdingskans van grenstoestanden in rekening te brengen.
Patroonpenetratie	Penetratie met asfalt of beton van een breuksteenbekleding over een deel van het oppervlak.
Peildatum	Datum, vastgesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat, waarop de toetsing van de primaire waterkering betrekking heeft. De (verwachte) toestand op de peildatum wordt getoetst.
Petit graniet	Blokvormig toplaagtype van graniet, destijds afkomstig van leverancier Petit.
PIT-Polygoonzuil	Type betonzuilen.
Plaatbekleding	Monoliete en waterdichte bekleding.
Planperiode	Periode waarvoor de voorziene wijzigingen in omstandigheden worden meegenomen in het ontwerp van een waterkering (voor dijken meestal 50 jaar; voor kunstwerken meestal 100 of 200 jaar).
Plasberm	Zie 'teenbestorting'.
Plus/min-afweging	Afweging waarbij de volgorde van geschiktheid van varianten wordt bepaald.
Polder	Op de boezem uitslaand of lozend gebied met geregelde waterstand.
Polderpeil	Peil van het oppervlaktewater binnen een beheersgebied.
Porositeit	Verhouding tussen de open ruimte tussen de korrels en het totale volume (open ruimte + korrels) van het granulaire materiaal.
Potentiaal	Stijghoogte in een aquifer.
Primaire waterkering	Waterkering, vastgelegd in de Wet op de waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied - al dan niet met hoge gronden - omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen.
Primaire zetting	Verticale vervorming van grondlagen tijdens de hydrodynamische periode, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting.
Project Landelijke Inventarisatie Steenzettingen	Project van Rijkswaterstaat met als doel een landelijke gedetailleerde toetsing van de steenzettingen op primaire waterkeringen.
Project Zeeweringen	Project van Rijkswaterstaat, Provincie Zeeland en de

	Zeeuwse waterschappen waarin de steenzettingen in Zeeland worden versterkt.
Randvoorwaarde-locatie	Locatie waarvoor de hydraulische randvoorwaarden worden gegeven.
Refractie	Zwenking van golfkammen onder invloed van veranderende bodemdiepte of van stroomgradiënten.
Regionale (water-)kering	Niet-primaire waterkering. Door Gedeputeerde Staten wordt vastgesteld welke niet-primaire waterkeringen worden aangemerkt als regionale kering en aan welke criteria de regionale keringen dienen te voldoen.
Representatieve waarde	Waarde die de werkelijke waarde van een parameter met voldoende zekerheid representeert. In veel gevallen wordt de karakteristieke waarde gebruikt als representatieve waarde.
Restproducten Ronaton	Bijproducten van productieprocessen die als constructiemateriaal worden gebruikt. Type betonzuil.
Reststerkte	Tijdsduur tussen initiële schade en het bloot komen van de dijk kern (weerstand tegen hydraulische belasting na het begin van schade).
Risicoanalyse	Het nagaan van de kans op een ongewenste gebeurtenis en de gevolgen daarvan.
Rivierdijk	Dijk langs een rivier.
Ruwheidselement	Uitsteeksel op toplaagelementen met als functie het beperken van de golfoploop.
Schaardijk	Rivierdijk die onmiddellijk aan het zomerbed grenst.
Schadefactor	Partiële factor waarin de gevolgen van bezwijken zijn betrokken.
Schadegetal	Dimensieloze parameter die de schade aan een breuksteenverdediging beschrijft.
Seiche	Zie 'havenslingering'.
Signaleringspeil	Verwachte of geconstateerde waterstand, waarbij beheerders worden gewaarschuwd en inlichtingen wordt verschaft, opdat tijdig maatregelen kunnen worden genomen.
Significante golfhoogte	Gemiddelde golfhoogte van het hoogste 1/3 deel van de golven.
Silex	Restproduct van de cementindustrie, bruikbaar als granulaire materiaal.
Slakken	Restproduct, in bepaalde gevallen bruikbaar als granulaire materiaal.
Spectrum	Zie 'golfspectrum'.
Standaardelement	Toplaagelement van een standaardtype: niet onderling verbonden, zonder gaten, zonder grote uitsteeksels.
Standardsortering	Sortering van granulaire materiaal volgens erkende normen.
Standaardsteenzetting	Steenzetting met een toplaag van standaardelementen.

Steenslag	Procesmatig gebroken gesteente dat van natuurlijke oorsprong of kunstmatig gevormd is.
Steentoets	Excel-programma voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing van steenzettingen volgens de Leidraad Toetsen op Veiligheid.
Steenzetting	Bekleding waarvan de toplaag bestaat uit in verband geplaatste elementen.
Stijghoogte	Niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
Stijghoogte(-verschil)	Niveau tot waar het water zou stijgen in een peilbuis met filter ter plaatse van het punt; wordt uitgedrukt in meters waterkolom ten opzichte van een referentievlak.
Stootvoeg	Spleet tussen blokvormige toplaagelementen aan de korte zijde van de blokken.
Stopwerk	Voegvulling in de vorm van brokken en scherven van toplaagelementen die in de spleten zijn vastgezet.
Stormopzet	Zie 'windopzet'.
Stormseizoen	Periode waarin geen werkzaamheden aan waterkeringen mogen worden uitgevoerd, meestal 15 oktober-15 april (gesloten seizoen).
Stormvloed	Hoogwaterperiode waarbij te Hoek van Holland het grenspeil (met een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 0,5 per jaar) wordt bereikt of overschreden (voor het grenspeil: zie getijtafels opgesteld door RIKZ: www.getij.nl).
Strijklengte	Lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
Strook	Een gedeelte van de bekleding tussen twee horizontale begrenzingen.
Superstorm	Storm die de maatgevende omstandigheden langs de kust tot gevolg heeft.
Talud	Gedeelte van een dijkprofiel met een helling tussen 1:1 en 1:10.
Taludbekleding	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
Technisch rapport	Publicatie van ENW waarin een afzonderlijk deelaspect van waterkeringen wordt behandeld.
Technische toepasbaarheid	Mate waarin een bekleding sterk genoeg is om te worden toegepast in het projectgebied.
Teenbestorting	Horizontaal gedeelte van een dijk, aan de buitenzijde gelegen, als overgang tussen de harde bekleding en de rest van het talud of de vooroever. Ook wel 'kreukelberm' (Zeeland) of 'plasberm' genoemd.
Teenconstructie	Constructie aan de onderzijde van het talud als overgang

	naar het voorland of de teenbestorting.
Toetsing	Periodieke beoordeling van de veiligheid en sterkte van waterkeringen.
Toetsingsronde	Cyclus van rapportage over de veiligheid van de waterkeringen van beheerder aan Gedeputeerde Staten, van Gedeputeerde Staten aan de Minister en van de Minister aan de Staten-Generaal.
Toetspeil	Waterstand, die wordt gebruikt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen, met een overschrijdingsfrequentie conform Bijlage II en IIA bij de Wet. In het toetspeil is de verwachte waterstandstijging (inclusief NAP-daling) tot en met de peildatum verwerkt. De toetspeilen voor rivieren zijn gegeven op de as van de rivier; voor meren op enige afstand uit de teen van de waterkering (meestal 200 meter), voor duinen op de NAP - 20 meter dieptelijns en voor de overige waterkeringen langs de kust en estuaria meestal nabij de teen van de waterkering.
Toetsvak	Een deel van de bekleding waarvoor geldt dat de randvoorwaarden en kenmerken voor de toetsing bij benadering constant zijn.
Tonrondte	De ronding in het oppervlak van de toplaag (in de verticale dwarsdoorsnede).
Toplaag	Buitenste verdedigingslaag van een talud, hier bestaande uit in verband geplaatste elementen.
Toplaagdikte	Het gemiddelde van de elementhoogte over het elementoppervlak (toplaagelementhoogte).
Toplaaginstabiliteit	Faalmecanisme waarbij één of meer toplaagelementen uit de zetting worden gedrukt door waterdruk onder de toplaag.
Transmissiviteit	Het gemak waarmee water door een granulaire laag kan stromen, gelijk aan het product van de waterdoorlatendheid en de laagdikte.
Tussenlaag	Constructielaag tussen toplaag en basismateriaal.
Twijfelachtig	Tussenresultaat van de toetsing als met de tot dan doorlopen stappen niet is aangetoond dat de waterkering op de peildatum 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' is.
Uiterwaard	Zie 'winterbed'.
Uitloging	Het proces waarbij water in een materiaal dringt en bepaalde stoffen oplost waardoor deze in de omgeving terechtkomen.
Uitspoeling	Transport van materiaal vanuit tussenlaag of ondergrond door de toplaag naar buiten.
Uitvullaag	Dun laagje granulair materiaal, bedoeld om oneffenheden van het oppervlak van de laag eronder op te vullen, zodat een vlak oppervlak voor het plaatsen van de toplaagelementen wordt verkregen.

Veiligheidsmarge	De mate waarin extra veiligheid aanwezig is.
Veiligheidsnorm	Eis waaraan een primaire waterkering moet voldoen, aangegeven als de gemiddelde overschrijdingskans - per jaar - van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.
Veiligheidstoeslag	Toeslag op de in rekening te brengen hydraulische belasting bij kunstwerken om de onzekerheid in de bepaling van de hydraulische belasting te compenseren.
Veiligheidszone	Tot de waterkering behorende gronden, die daadwerkelijk bijdragen aan het waarborgen van de stabiliteit, zowel aan de binnen- als aan de buitenzijde van de waterkering.
Verborgene bekleding	Bekleding die afgedekt is met grond.
Verhang	Verhouding tussen het verschil in stijghoogte tussen twee punten en de afstand tussen die punten; wordt ook gradiënt genoemd.
Verstoringszone	Zone om een niet-waterkerend object, waarbinnen de invloed van de aanwezigheid, bezwijken of falen van het niet-waterkerende object in de grond merkbaar is.
Verval	Verskil in stijghoogte tussen twee punten, bijvoorbeeld de twee zijden van een waterkering.
Verweking	Verlies aan samenhang van het korrelskelet als gevolg van toename van de waterspanning (in de poriën).
Vilvoordse steen	Toplaagelement van natuursteen uit de groeven van Vilvoorde, België.
Vlies	Geokunststof van korte vezels die willekeurig georiënteerd aan elkaar zijn gehecht (non-woven).
Vlijlaag	Constructielaag met filterfunctie, bestaande uit één of meer lagen plat gelegde bakstenen die in verband zijn geplaatst.
Voegvulling	Granulair materiaal dat in de spleten tussen de toplaagelementen wordt aangebracht om de wrijving en/of klemming te vergroten.
Voldoende	Resultaat van de toetsing als de waterkering op de peildatum minimaal voldoet aan de veiligheidsnorm, maar als niet is aangetoond dat aan de ontwerpcriteria wordt voldaan.
Voorland	Het gebied aansluitend aan de buitenzijde van de waterkering. Dit gebied wordt ook wel vooroever genoemd. Ook een diepe steile stroomgeul bij een schaarlijk valt onder de definitie van voorland. Het voorland kan zowel onder als boven water liggen, en zelfs boven toetspeil.
Vooroever	Waterbodem in de zone vlak voor de teen van een dijk.
Waterkerend kunstwerk	Constructie die onderdeel uitmaakt van een waterkering of de waterkering vervangt, maar is aangelegd ten behoeve

	van een andere functie, die de waterkering kruist (bv. schutten, spuien).
Waterkering	Kunstmatige hoogten en die (gedeelten van) natuurlijke hoogten of hooggelegen gronden, met inbegrip van daarin of daaraan aangebrachte werken, die een waterkerende of mede een waterkerende functie hebben, en die als zodanig in de legger zijn aangegeven.
Waterkeringszone	Zie 'keurgebied'.
Waterstandsnorm	Zie 'veiligheidsnorm'.
Weefsel	Geokunststof van garens of bandjes met een geordende structuur (woven).
Windgolven	Golven, ontstaan door de wrijving van de lucht over het water.
Windopzet	Lokale waterstandverhoging als gevolg van de door de wind op een watermassa uitgeoefende kracht.
Winterbed	Deel van de rivierbedding tussen zomerbed en bandijk.
Wrijving	Bijdrage aan de weerstand tegen topaaginstabiliteit doordat bij onderlinge beweging van naast elkaar liggende topaagelementen een kracht wordt opgewekt.
Zandscheg	Een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en de kleikern.
Zeedijk	Primaire waterkering van de categorie a, die zout water keert.
Zeespiegelstijging	De stijging van de gemiddelde zeestand ten opzichte van NAP.
Zetting	Verticale vervorming van grondlagen, hoofdzakelijk als gevolg van een bovenbelasting, de eigen massa en/of het uittreden van water.
Zomerbed	Deel van de rivier waar bij normale en lagere waterstanden de rivierafvoer plaatsvindt.
Zonnebrand	Het verschijnsel van incidentele basaltzuilen die sterk ververen.
Zuilen	Veelhoekige topaagelementen waarbij de spleetbreedte rondom elk element variabel is en meestal relatief groot.

1. Inleiding

1.1 Algemeen

Voorliggend rapport maakt onderdeel uit van de Handreiking Dijkbekledingen. Dit rapport bevat de kennis tot en met 2013 met betrekking tot de ontwerp- en toetsrekenregels,¹ en het beheer en onderhoud van steenzettingen.

De rekenregels voor het ontwerp en toetsen van een aantal typen gezette bekledingen, inclusief onderlagen, zijn geïmplementeerd in het rekenprogramma STEENTOETS. Het programma STEENTOETS en de gebruikershandleiding zijn te downloaden via de website van de Helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl). De ontwerper of toetsers dient altijd te controleren of hij met de meest recente versie van STEENTOETS werkt. Voordat het programma gebruikt wordt, is het verstandig om eerst de gebruikershandleiding door te nemen.

In de volgende situaties kan STEENTOETS en deze handreiking niet gebruikt worden:

- Kop van een havendam;
- Zeer steile taluds (bijvoorbeeld 1:1);
- Innovatieve steenzettingen die nog niet in STEENTOETS staan;
- Zeer dikke steenzettingen ($D > 0,7$ meter);
- Situaties met zeer grote golven ($H_s > 4$ meter);
- Betonplaten ($B > 1$ meter).

De doelgroep voor deze handreiking is enerzijds de beheerders van waterkeringen of oevers met steenzettingen en anderzijds de medewerkers van ingenieursbureaus. De tekst is gericht op gebruikers met een opleidingsniveau hbo of wo, die minimaal enkele jaren algemene waterbouwkundige ervaring hebben en beschikken over basiskennis van principes van waterkeringen, ontwerpen en toetsen. Voor meer achtergrondkennis en dan vooral de recent ontwikkelde kennis, wordt verwezen naar *Stabiliteit van steenzettingen bij golfaanval, Samenvatting van onderzoeksresultaten 2003 – 2013* [36].

1.2 Leeswijzer

In Katern 1 is in een zestal hoofdstukken het ontwerp van steenzettingen uiteengezet. Hierin wordt de ontwerpprocedure (hoofdstuk 2) en voorbereiding (hoofdstuk 3) van het ontwerp behandeld. Vervolgens komt het dimensioneren van steenzettingen in hoofdstuk 4 aan de orde en zijn in de hoofdstukken 5 en 6 voorbeelden van een steenzettingenontwerp gegeven.

Katern 2 bestaat uit drie hoofdstukken waarin de toetsing van steenzettingen uiteengezet is. In hoofdstuk 7 wordt de toetsing van de verschillende faalmechanismen beschouwd. In de hoofdstukken 8 en 9 zijn voorbeelden gegeven voor het toetsen van steenzettingen.

Katern 3 beschrijft uitvoerings-, beheer- en onderhoudsgerelateerde zaken (hoofdstuk 10 en 11).

Katern 4 geeft algemene informatie over diverse type steenzettingen. In hoofdstuk 12 zijn de verschillende functies van een steenzetting beschreven. Hoofdstuk 13 en 14 behandelen

¹ Het toetsen van een bekleding in het kader van de door de Waterwet voorgeschreven 'periodieke toetsing' van de veiligheid van de waterkeringen dient uitgevoerd te worden op basis van het vigerende Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) en onderliggende specialistische documenten (onder andere dit document).

respectievelijk de verschillende constructieonderdelen en de diverse faalmechanismen van steenzettingen. In hoofdstuk 15 zijn de algemene gegevens van steenzettingen opgenomen en in hoofdstuk 16 de technische eigenschappen.

KATERN I: ONTWERP

2 Ontwerpprocedure

2.1 Inleiding

Voorliggende ontwerpprocedure beschrijft de aanbevolen methode ten behoeve van een adequaat ontwerp van een (gezette) steenbekleding. Bij het ontwerp kan het programma STEENTOETS gebruikt worden.

De ontwerper dient zich ervan bewust te zijn dat STEENTOETS een ontwerp controleert. Het programma geeft bijvoorbeeld niet als uitvoer een minimaal benodigde toplaagdikte. De ontwerper dient eerst een grove indicatie van de opbouw van de constructie te hebben en deze ter controle in te voeren in STEENTOETS. Voor het bepalen van de opbouw van de constructie en de grove dimensies ervan kan gebruik gemaakt worden van de informatie in hoofdstuk 4 van dit katern.

2.2 Ontwerpstappen

Voor het ontwerpen van steenbekledingen dienen achtereenvolgens de volgende stappen genomen te worden:

1. Opstellen Programma van Eisen (PvE), (paragraaf 3.2);
2. Verzamelen gegevens, onder andere hydraulische randvoorwaarden, ligging, oriëntatie, geometrie, bodemopbouw et cetera, (paragraaf 3.3);
3. Indelen in vakken en stroken, (paragraaf 3.4);
4. Selectie bekledingstypen, (paragraaf 3.5);
5. Bepalen grove dimensies van de afzonderlijke elementen van de bekleding: onderlaag, filterlaag, uitvullaag, toplaag, (hoofdstuk 4);
6. Ontwerpen teen- en overgangsconstructies, (paragraaf 4.8);
7. Invoeren constructie in STEENTOETS, (paragraaf 4.9);
8. Iteratief optimaliseren van ontwerp totdat STEENTOETS aangeeft dat de constructie 'goed' is, (paragraaf 4.9).

2.3 Toelichting op ontwerpstappen

Belangrijke elementen in het ontwerp zijn onder andere de ondergrond en de gewenste toplaag van de bekleding. Zoals opgenomen in paragraaf 3.3 kan de ondergrond worden vastgesteld met geotechnisch onderzoek. De totstandkoming van de gewenste toplaag van de bekleding is onder andere afhankelijk van voorkeuren voor wat betreft hergebruik, landschappelijke inpassing, milieu, et cetera. Beide elementen, lokale ondergrond en gewenste toplaag, vormen als zodanig het kader of begrenzing van de totale bekledingsconstructie. Vaak kan de gewenste toplaagbekleding niet direct op de lokale ondergrond aangebracht worden. Er is dan een zogenaamde tussenlaag nodig. Deze tussenlaag kan uit verschillende lagen bestaan, zoals bijvoorbeeld geotextiel, granulaire laag of een uitvullaag. De ontwerper dient eerst de gehele bekledingsconstructie te ontwerpen en een eerste indicatie te hebben van de dimensies. Vervolgens wordt de bekledingsconstructie ingevoerd in STEENTOETS om gecontroleerd te worden op alle relevante faalmechanismen. Het ontwerp wordt iteratief geoptimaliseerd totdat STEENTOETS aangeeft dat de constructie 'goed' is.

3 Voorbereiding

3.1 Inleiding

De eerste stap in het ontwerpproces van een steenzetting is het vaststellen van het programma van eisen. In paragraaf 3.2 wordt een kader geboden waarmee een programma van eisen kan worden opgesteld en worden aandachtspunten gegeven waarmee bij het opstellen rekening kan worden gehouden.

Als vaststaat welke uitgangspunten en randvoorwaarden gelden voor de te ontwerpen steenzetting, worden de benodigde gegevens verzameld. In de praktijk is het verzamelen van informatie een doorlopend proces, waarbij in verschillende stadia van het ontwerpproces verschillende informatie nodig is. Om dit doorlopende proces mogelijk te maken, is het noodzakelijk om vooraf na te denken over de methode van gegevensverzameling. Dit wordt uitgewerkt in paragraaf 3.3.

Omdat binnen een projectgebied de eisen en omstandigheden meestal niet overal hetzelfde zijn, wordt het projectgebied opgedeeld in ontwerpvakken (vakken waarvoor het ontwerp met één dwarsprofiel kan worden beschreven). Hierover gaat paragraaf 3.4. In paragraaf 3.5 wordt de afweging en keuze beschreven van het type bekleding per vak.

3.2 Opstellen programma van eisen

Het ontwerp van een steenzetting moet voldoen aan wettelijke eisen en voorschriften. Daarnaast bestaan vaak afspraken tussen de beheerder en andere betrokkenen die van belang zijn voor het ontwerp. Zeker bij complexere projecten met meerdere betrokkenen is het zinnig om deze eisen, wensen, uitgangspunten en randvoorwaarden vast te leggen in een programma van eisen. Dit kan dienen als richtsnoer tijdens het ontwerpproces. Bovendien is het belangrijk het programma van eisen vast te leggen in de ontwerpnota van het project, zodat achteraf kan worden achterhaald waarop het ontwerp gebaseerd is.

De onderwerpen, uitgebreidheid en diepgang van het programma van eisen hangen af van de situatie. In deze Handreiking wordt daarom alleen een kader geboden dat kan worden gebruikt voor het maken van een programma van eisen.

De eisen en wensen voor het ontwerp van een steenzetting worden onderverdeeld in eisen en wensen vanuit de techniek (§3.2.1) en eisen en wensen vanuit de omgeving (§3.2.2).

3.2.1 *Eisen en wensen vanuit de techniek*

Vanuit de techniek hebben de eisen en/of wensen betrekking op:

- Bescherming tegen erosie;
- Uitvoering;
- Beheer.

Bescherming tegen erosie

De bekleding moet het achterliggende grondlichaam beschermen tegen erosie. Daarom moet de bekleding minimaal tot aan de maatgevende hydraulische omstandigheden in stand blijven en tot aan die omstandigheden uitspoeling van materiaal door de bekleding heen voorkomen. In het programma van eisen kan worden vastgelegd op welk veiligheidsniveau het ontwerp is gebaseerd en hoe daarmee wordt omgegaan.

Uitvoering

Bij het ontwerp van een steenzetting moet rekening worden gehouden met de uitvoering: de steenzetting moet kunnen worden aangelegd. De concrete eisen hangen sterk af van de situatie. In het algemeen geldt dat rekening moet worden gehouden met het inzetbare materieel (bereikbaarheid en begaanbaarheid) en met de hydraulische omstandigheden (waterstanden, golfaanval en stroming tijdens de uitvoering). Het kan zinnig zijn om de eis van uitvoerbaarheid in deze globale termen vast te leggen in het programma van eisen als aandachtspunt voor het ontwerp. Meestal volstaat dat, maar in sommige gevallen gelden concretere eisen of afspraken ten aanzien van uitvoerbaarheid.

Bepaalde aspecten van de uitvoerbaarheid worden direct bepaald door de soort steenzetting:

- Machinale zetbaarheid is gunstiger dan handmatig zetwerk uit het oogpunt van doorlooptijd en (uitvoerings-)kosten.
- Als het talud een scherpe bocht maakt, zijn niet alle soorten even goed plaatsbaar, afhankelijk van de bochtstraal; dit is vooral van belang voor blokken.

Beheer

De steenzetting moet zo worden ontworpen dat de beheerder haar kan beheren. Van belang hierbij zijn bereikbaarheid en begaanbaarheid van de constructie en waarneembaarheid en reparatiebaarheid van schade. Bovendien kan het voorkomen van schade door vandalisme een aandachtspunt zijn.

Net als bij uitvoerbaarheid is het zinnig om de eis van beheers- en onderhoudbaarheid in globale termen vast te leggen in het programma van eisen als aandachtspunt voor het ontwerp. Het is ook mogelijk dat er concretere eisen of afspraken bestaan. Dergelijke afspraken kunnen in het programma van eisen worden opgenomen.

3.2.2 *Eisen en wensen vanuit de omgeving*

De eisen en wensen vanuit de omgeving zijn de eisen en wensen die voor het ontwerp van een steenzetting gelden vanuit het oogpunt van milieu en vanuit de ecologische, landschappelijke, cultuurhistorische en recreatieve functies van een steenzetting. Deze aspecten maken deel uit van een milieueffectrapportage (m.e.r.). Een milieueffectrapportage is niet altijd aanwezig. Dit is een beknopt overzicht van het type eisen voor de omgeving. Een volledig overzicht van de eisen en wensen vanuit de omgeving is opgenomen in het algemene deel van deze Handreiking [30].

Milieueisen

Bij de aanleg van een steenzetting moet rekening worden gehouden met het milieu, meestal als onderdeel van de milieueffectrapportage. Zo kan de aanleg of verbetering van steenzettingen m.e.r.-plichtig of m.e.r.-beoordelingsplichtig zijn. Bij m.e.r.-plichtige projecten volgen de eisen en wensen rechtstreeks uit de m.e.r. Bij m.e.r.-beoordelingsplichtige projecten volgen de eisen en wensen uit de voorwaarden die Gedeputeerde Staten stelt bij de beoordeling van de m.e.r.-plichtigheid. Een concreet punt in het programma van eisen met betrekking tot milieu kan bijvoorbeeld zijn dat bepaalde materialen niet mogen worden toegepast op grond van lokaal geldende voorschriften of afspraken. De algemene eis is dat vervuiling van het milieu moet worden voorkomen. Daarbij worden twee effecten onderscheiden: vervuiling van de directe omgeving en vervuiling gedurende de gehele levensduur van de materialen (integrale milieueffecten).

Vervuiling van de directe omgeving

Bij typen steenzettingen die voortkomen uit reststoffen, bestaat in bepaalde omstandigheden enig risico voor milieuvervuiling, met name van het oppervlaktewater. De eisen op dit gebied

volgen onder andere uit de Waterwet en het Besluit bodemkwaliteit. Afhankelijk van de regio kan hieruit bijvoorbeeld volgen dat koperslablokken en mijnsteen alleen boven de getijzone of boven meerpeil mogen worden toegepast.

Integrale milieueffecten

Bij de afweging van milieueffecten van een constructie moet worden gekeken naar de volledige cyclus die materialen doormaken: productie, transport, plaatsing, eventuele verwijdering en herplaatsing, eventueel hergebruik en verwerking na afloop van de functionele levensduur. Deze integrale benadering wordt 'life cycle analysis' genoemd. In het algemeen geldt uit dit oogpunt dat hergebruik van bestaande materialen gunstiger is dan toepassing van nieuw te maken materialen. Voor verdere praktische invulling en kwantificering van deze methodiek, zie Keuzemodel kust- en oeverwerken [7] en het programma DuboCalc [22].

DuboCalc is een programma waarin ontwerpvarianten vergeleken kunnen worden. De meest voorkomende materialen kunnen worden geselecteerd. Vervolgens kan DuboCalc tonen welke materialen of elementen een grote milieubelasting hebben/geven. Hierbij wordt de milieubelasting over de hele levenscyclus bepaald. Naast DuboCalc is er verschillende LCA-software (wereldwijd) ontwikkeld waarmee de milieueffecten van een materiaal bepaald kunnen worden.

Ecologische eisen/wensen

Een steenzetting heeft een functie als ondergrond voor flora en fauna (ecologie). Het hangt af van lokale omstandigheden en bestuurlijke beslissingen of hieruit eisen volgen voor de steenzetting. Ook hierbij is vaak de m.e.r.-procedure van belang.

Fauna

Ten aanzien van de fauna kan de aanwezigheid in de omgeving van foerageer- of broedgebieden van belang zijn. Het kan wenselijk zijn om door ontwerpkeuzen de verstoring ten gevolge van recreatie te beperken (bijvoorbeeld door het kiezen van een slecht begaanbare bermbekleding). Verder kan het belangrijk zijn dat de bekleding begaanbaar is voor dieren, in het bijzonder vogels; in zo'n geval kan een overlaging met grote breuksteenelementen ongewenst zijn. Dit zijn zeer specifieke gevallen. Omdat er verder nauwelijks een relatie is met het ontwerp wordt het voorkomen van verstoring van de fauna in dit deel Ontwerp niet verder behandeld.

Flora

Bij het vervangen van een bestaande bekleding kan als eis gelden dat de vestigingsmogelijkheden voor de flora worden hersteld. Maar ook verbetering of optimalisatie van de ecologische omstandigheden kan een eis of wens zijn. Dit is alleen van belang als op de steenzetting bijzondere begroeiing kan voorkomen; in de praktijk geldt dat vooral bij steenzettingen op zeedijken, in de getijzone. Een eis of afspraak op dit punt kan grote invloed hebben op het ontwerp en moet daarom worden opgenomen in het programma van eisen. Nadrukkelijk wordt opgemerkt dat bij dit onderwerp vaak professionele ecologische inbreng nodig is: ecologische eigenschappen en wensen zijn sterk lokaal bepaald, waardoor het niet goed mogelijk is algemeen toepasbare regels te geven.

Landschappelijke eisen/wensen

Een steenzetting is onderdeel van het landschap. Lokale omstandigheden en bestuurlijke beslissingen bepalen ook voor dit aspect of er eisen uit volgen voor de steenzetting, vaak als onderdeel van de m.e.r.-procedure. In het algemeen geldt dan als eis of wens dat de bekleding moet passen in de omgeving of de landschappelijke werking moet versterken.

Hierbij gaat het om aspecten als kleuren, eenvormigheid/diversiteit, horizontale/verticale overgangen en soms ook taludhelling. De concrete eisen en wensen zijn per definitie afhankelijk van de locatie en kunnen gelden voor alle zichtbare onderdelen (toplaag van de taludbekleding, eventuele breuksteenoverlaging, maar ook teen, berm en bovenbeloop). Dit criterium kan meespelen in de afweging van bekledingstypen en moet daarom worden opgenomen in het programma van eisen. Het ligt voor de hand om de afweging van landschappelijke aspecten uit te voeren in samenspraak met landschapsdeskundigen.

Cultuurhistorische eisen/wensen

Een oude steenzetting kan cultuurhistorische waarde hebben. Voor zover relevant komt dit in de m.e.r.-procedure aan de orde. Het heeft de voorkeur om dergelijke constructies in hun oorspronkelijke staat te handhaven, maar in de praktijk kan dit zelden of nooit als eis worden gesteld omdat de veiligheidsfunctie van de bekleding belangrijker is. Volledige handhaving zou alleen mogelijk zijn als de waterkerende functie geheel of gedeeltelijk wordt overgenomen door een andere constructie, maar meestal is dat ongewenst.

Er zijn drie oplossingen waarmee in elk geval een deel van de cultuurhistorische waarde kan worden behouden. De eerste is hergebruik van de materialen: als steenzetting op een minder zwaar belaste locatie of als bestortingsmateriaal. Hierbij blijft de constructie niet behouden, maar blijft het materiaal zichtbaar en functioneel aanwezig. De tweede mogelijkheid is het overlagen van de oude steenzetting. In dat geval blijft de constructie aanwezig, maar is deze niet zichtbaar en bovendien zal het vaak bijna onmogelijk zijn om de constructie later ongeschonden weer zichtbaar te maken. De derde mogelijkheid om de cultuurhistorische waarde te behouden is het aanleggen van een verborgen constructie onder de oude zetting. De oude zetting moet daartoe worden opgenomen, waarna een voldoende sterke bekleding wordt aangelegd, waarop de toplaagelementen van de oude zetting opnieuw worden gezet.

Recreatieve eisen/wensen

Op en bij steenzettingen komt recreatie voor. Afhankelijk van lokale omstandigheden en bestuurlijke overwegingen is dit meer of minder gewenst. In het eerste geval kunnen in het ontwerp voorzieningen worden getroffen om recreatie te stimuleren, in het tweede geval juist om recreatie te voorkomen. Als recreatie gewenst is (of getolereerd wordt), wordt de begaanbaarheid van belang en soms ook het uiterlijk van de bekleding (zie ook 'Landschap'). Het is zinnig om dit soort punten op te nemen in het programma van eisen. Bij de meeste projecten wordt door of in overleg met de beheerder per geval een concrete, locatiespecifieke afweging gemaakt.

3.3 Verzamelen gegevens

De ontwerper heeft gegevens nodig voor verschillende fasen in het ontwerpproces. De gegevensbehoefte voor al deze fasen wordt in paragraaf 3.4.3.4 en hoofdstuk 4 uitgebreid beschreven.

Grofweg betreft het drie soorten basisgegevens:

1. Geometrie: bestaande situatie (bekleding, taludhelling, bodemopbouw);
2. Hydraulische belastingen (ontwerpcriterium, bijbehorende waterstanden en golfgegevens);
3. Overige aspecten (met name wensen en eisen die niet rechtstreeks met de waterkerende functie te maken hebben, zie paragraaf 3.2).

In §3.3.1 staan de verschillen tussen de gegevens voor ontwerp en voor toetsing. Vervolgens worden in §3.3.2 de methodes voor het verzamelen van gegevens kort besproken.

3.3.1 *Verschillen in gegevens voor ontwerp en toetsing*

Als een steenzetting wordt ontworpen ter vervanging van een bekleding die in de toetsing op veiligheid als 'onvoldoende' is beoordeeld, zijn vaak al veel gegevens aanwezig over de geometrie en opbouw van de dijk en over de hydraulische belastingen. In zo'n geval moet echter wel zorgvuldig worden omgegaan met de verschillen tussen ontwerp en toetsing:

- Anders dan bij de Hydraulische randvoorwaarden bij toetsing moet bij ontwerp rekening worden gehouden met de hydraulische belastingen in de gehele functionele levensduur.
- Toetsing is gericht op de eerstvolgende peildatum (over maximaal 12 jaar), terwijl ontwerp is gericht op een langere periode (bijvoorbeeld vijftig jaar). Dit is vooral van belang voor de hydraulische ontwerpbelastingen (als gevolg van zeespiegelstijging) en voor de ligging van het voorland. Voor de constructieve eigenschappen is dit verschil meestal niet zo belangrijk omdat de levensduur van de constructiematerialen in het algemeen wordt aangenomen op meer dan vijftig jaar. Uitzonderingen daarop zijn bijvoorbeeld houten onderdelen van teenconstructies en mogelijk geokunststoffen.
- In het ontwerp moet anders worden omgegaan met veiligheidsmarges dan in de toetsing. In het programma STEENTOETS wordt voor het ontwerpen van bekledingen een "overall-veiligheidsfactor" gehanteerd van 1,2. Voor het toetsen van constructies wordt deze factor niet gebruikt (factor is 1,0).

3.3.2 *Methodes van gegevensverzameling*

In de huidige praktijk volgt een ontwerp vaak direct op een toetsing, waardoor veel gegevens over geometrie en over hydraulische randvoorwaarden al beschikbaar zijn vanuit de toetsing. Bij de gegevensverzameling voor de toetsing wordt in de praktijk vaak gewerkt met inwinformulieren (zie het deel Toetsing). Gegevens met betrekking tot de 'overige aspecten' volgen niet uit de toetsing: deze gegevens moeten in de loop van het ontwerpproces worden achterhaald in nauw overleg met alle betrokken (lokale) instanties, zie §3.3.3. Als de beheerder niet zelf het ontwerp maakt, moet zijn kennis in ieder geval bij dit onderdeel nadrukkelijk worden betrokken.

Vaak zijn voor het ontwerp verschillende en meer gedetailleerde gegevens nodig. Dan moeten de benodigde gegevens worden verzameld binnen het ontwerpproces. Een ontwerper heeft verschillende gegevens nodig in de verschillende fasen van het ontwerpproces: de benodigde parameters kunnen verschillen en de vereiste mate van detail van de gegevens kan toenemen in de loop van het proces. In de praktijk moet een afweging worden gemaakt tussen twee methodes van gegevensverzameling:

1. direct alle gegevens verzamelen die misschien in het ontwerpproces nodig zullen zijn.
2. vooralsnog alleen die gegevens verzamelen die zeker nodig zijn.

De eerste methode kost in eerste instantie meer inspanning, maar kan achteraf efficiënter blijken te zijn. De afweging tussen de twee methoden zal per geval moeten worden gemaakt.

Veranderlijke informatie

Veranderlijke informatie, zoals bijvoorbeeld de morfologische ontwikkeling van het voorland, kan niet op het moment zelf worden gemeten. Morfologische ontwikkelingen zijn niet één op één uit het beheerregister te halen omdat een veel groter gebied beschouwd moet worden. Daarom zal op basis van een brede studie een inschatting moeten worden gemaakt van mogelijke verandering van het voorland.

3.3.3 *Belangrijke instanties en gegevensbronnen*

Deze paragraaf geeft een overzicht van de instanties die betrokken kunnen zijn bij het ontwerp van een steenzetting. De opsomming is gebaseerd op het ontwerp van een

steenzetting op een primaire waterkering, maar is ook toepasbaar voor andere steenzettingen:

- Beheerder: normaal gesproken is de beheerder zelf opdrachtgever of uitvoerder, maar dat is niet altijd het geval. Het is dan essentieel dat de beheerder toch nauw betrokken is bij het proces. De beheerder moet in elk geval worden geraadpleegd over de onderhoudsaspecten van het ontwerp;
- Rijkswaterstaat (Water Verkeer en Leefomgeving): zorgt in opdracht van het ministerie van I&M voor de ontwikkeling van hydraulische en probabilistische modellen;
- Helpdesk water: richt zich op het ontsluiten van kennis die aanwezig is binnen het werkveld (www.helpdeskwater.nl);
- Provincie: is bevoegd gezag met betrekking tot m.e.r.-plicht of m.e.r.-beoordelingsplicht;
- Regionale diensten van Rijkswaterstaat: is soms beheerder van primaire waterkeringen; kan verder informatie aanleveren ten aanzien van ecologie en landschappelijke aspecten;
- Gemeente: is de belangrijkste partij als het gaat om recreatief medegebruik en transportroutes;
- Particuliere organisaties voor natuur en milieu: bij deze organisaties is veel kennis aanwezig. Er zijn landelijke organisaties, zoals Natuurmonumenten en Vogelbescherming, provinciale organisaties, zoals provinciale landschappen en lokale organisaties, zoals historische kringen en natuurgroepen;
- Toezichthouders: een toezichthouder is een door een overheid aangestelde onafhankelijke partij die toeziet op naleving van wet- en regelgeving;
- Financiers;
- Rivierbeheerders zoals Rijkswaterstaat en Waterschappen;
- Vergunningverlenende instanties zoals Provincies, Rijkswaterstaat en Waterschappen.

3.4 Vaststellen vak- en strookindeling

Bij het ontwerp van een steenzetting is het projectgebied vaak een dijkgedeelte van enkele kilometers waarbinnen verschillende eisen en omstandigheden voorkomen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de term dijkvak (de hele dijk tussen twee dwarsprofielen) en bekledingsvak (een aaneengesloten homogeen gedeelte van de bekleding binnen een dijkvak). Voor het ontwerpproces is het van belang te komen tot vakken waarvoor één ontwerpdwarsprofiel geldt. De definitie van een 'ontwerpvak' binnen het ontwerpproces is: een deel van het projectgebied waarvoor geldt dat de eisen en kenmerken in lengterichting (bij benadering) constant zijn, waardoor het ontwerp met één dwarsprofiel kan worden beschreven. Dit wordt de horizontale vakindeling genoemd; uit de definitie volgt dat binnen een ontwerpvak wél verschillende stroken (verticale verdeling) kunnen voorkomen. Vervolgens kan per ontwerpvak de verticale begrenzing worden vastgesteld.

Overigens heeft het geen zin om al aan het begin van het ontwerpproces te streven naar een gedetailleerde vakindeling. In de praktijk ontstaat de definitieve vakindeling in de loop van het ontwerpproces. In deze paragraaf worden hiervoor aandachtspunten gegeven, ingedeeld volgens de criteria die voor de vakindeling kunnen worden gebruikt. In §3.4.1 wordt de horizontale vakindeling besproken, in §3.4.2 de begrenzing in verticale richting (stroken).

3.4.1 *Criteria voor de indeling in ontwerpvakken (lengterichting)*

De horizontale vakindeling is de indeling in lengterichting van de dijk. Voor het vaststellen daarvan is de volgende informatie nodig:

1. Verloop van de hydraulische belastingen langs het projectgebied (of: de vakindeling die is gebruikt bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden);
2. Verloop van de geometrie van de dijk of dam langs het projectgebied. In de praktijk zijn hiervoor vooral de taludhelling, de boven- en ondergrens en de ligging van de berm van belang;

3. Verloop van de geotechnische omstandigheden langs het projectgebied;
4. Verloop van wensen en eisen voor overige functies (ecologie, landschap, cultuurhistorie en recreatie) langs het projectgebied en bijzondere locaties (constructies, scherpe bochten, et cetera).

Ad 1. Hydraulische randvoorwaarden als criterium voor vakindeling

Het verloop van de hydraulische randvoorwaarden is sterk bepalend voor de vakindeling van het ontwerp. De golftrandvoorwaarden worden aangeleverd in de vorm van tabellen met waterstandsafhankelijke golfparameters of worden berekend met de Hydra-programmatuur. In beide gevallen wordt bij de berekeningen uitgegaan van een vakindeling in lengterichting. De vakgrenzen voor de hydraulische randvoorwaarden zijn vaak logische punten zoals bochten in de dijk of overgangen in het voorland. Ook bij lange eenvormige stukken wordt gewerkt met vakken, met een lengte van hooguit enkele kilometers. In zo een geval wordt de vakgrens halverwege de uitvoerpunten van de golfberekening gelegd. Als de hydraulische randvoorwaarden in een dergelijk geval nauwelijks verlopen langs het eenvormige stuk wordt veelal de zwaarste randvoorwaarde voor de gehele strekking gehanteerd.

Als de vakgrens in een bocht of een andere overgang ligt, moet worden gekozen welke randvoorwaarden in de bocht zelf worden toegepast. In eerste instantie moet in de bocht of overgang de zwaardere van de twee aangrenzende randvoorwaarden worden gebruikt, maar het is zinnig om te bekijken of toepassing van de lichtere randvoorwaarden tot een veel gunstiger of goedkoper ontwerp leidt. In zo'n geval kan een nadere detaillering van de golftrandvoorwaarden plaatsvinden met behulp van specialistische studie.

Ad 2. Geometrie als criterium voor vakindeling

De variatie in de geometrie van het ontwerpvlak kan een criterium zijn voor de vakindeling, daarbij zijn de taludhelling en de boven- en ondergrens van belang.

Een duidelijke variatie van de taludhelling, meer dan de ontwerpvrijheid van enkele tienden op de cotangens zoals besproken in paragraaf 15.2, maakt verdere detaillering van de vakindeling nodig.

Ook de ligging van de boven- en ondergrens van de bekleding en de ligging van de berm kunnen van belang zijn, zie paragraaf 15.2. Als het ontwerpproces gaat over de verbetering van een bekleding die gedeeltelijk als 'onvoldoende' is beoordeeld in de toetsing, is voor de vakindeling de ligging van de te verbeteren en de te handhaven vakken en stroken van belang. In alle gevallen is het zinnig om na te gaan vanaf welk niveau ook een grasbekleding in aanmerking komt (zie §3.4.2).

Ad 3. De invloed van geotechnische omstandigheden op vakindeling

In sommige gevallen kan de variatie in geotechnische omstandigheden invloed hebben op de vakindeling. Het materiaal en de opbouw van de onderlagen van een bestaande dijk, dam of oever (zand, klei, granulaire aanvulling) kunnen bepalend zijn voor de keuze van een oplossing; variatie hiervan in lengterichting kan bijvoorbeeld zijn ontstaan als niet de gehele dijk, dam of oever in één keer is aangelegd (latere bochtafsnijdingen, dijkdoorbraken). Ook de geotechnische opbouw van het voorland kan belangrijk zijn, bijvoorbeeld ten aanzien van overlaging met breuksteen of uitbouw van de teenconstructie op het voorland.

Ad 4. Andere invloeden op de vakverdeling

De eventuele eisen of wensen aan het ontwerp met betrekking tot ecologie en landschap zijn vaak locatie-afhankelijk, zodat verschillende eisen gelden voor verschillende vakken. Dit kan van belang zijn voor de vakindeling van het ontwerp, maar meestal is de vakindeling voor

ecologie en landschap grofmaziger dan voor de golfrandvoorwaarden. Daarnaast kan het nodig zijn om in de vakindeling rekening te houden met bijzondere, zeer lokale eisen of omstandigheden. Ten aanzien van uitvoeringstechniek kan het bijvoorbeeld nodig zijn om scherpe bochten apart te behandelen. Ten slotte kunnen ook recreatieve of cultuurhistorische wensen en eisen de vakindeling beïnvloeden.

3.4.2 *Criteria voor de indeling in bekledingsvakken (verticale richting)*

Binnen de ontwerpvakken is in de eerste plaats van belang op welk niveau de bovengrens van de harde bekleding moet worden gekozen. Daarnaast kan het nuttig zijn om het ontwerp te laten variëren binnen het dwarsprofiel.

Bovengrens harde bekleding

Vooraf bij zee- en meerdijken wordt onderin het dwarsprofiel een steenzetting en bovenin een grasbekleding toegepast. De grens daartussen wordt vaak bepaald door de beperkte sterkte van de grasbekleding: onder een bepaald niveau is de golfaanval zo zwaar dat een grasbekleding niet voldoet.

Er kunnen ook andere overwegingen bestaan om in de zone boven dat niveau geen grasbekleding maar een steenzetting toe te passen, zoals landschap of beheer.

Hier is het uitgangspunt dat alleen een steenzetting wordt toegepast op plaatsen waar een grasbekleding niet voldoende sterkte heeft. De toepasbaarheid van een grasbekleding kan worden bepaald in het deel Grasbekledingen van deze Handreiking [34].

3.5 Afweging en keuze van de bekleding per vak

Na toepassing van alle ja/nee-criteria op de bekledingstypen die in aanmerking komen, heeft de ontwerper een overzicht van de varianten waaruit een keuze moet worden gemaakt. De afweging en keuze, op basis van plus/min-criteria, worden in deze paragraaf besproken. Eerst worden in §3.5.1 de afwegingscriteria behandeld die in deze fase van het ontwerpproces van belang zijn. Per criterium worden aandachtspunten gegeven. Vervolgens wordt in §3.5.2 aandacht besteed aan de verschillende methoden die gebruikt worden voor het maken van een keuze.

Net als de rest van dit hoofdstuk is de tekst gericht op de bekleding van het talud in de golfklapzone. Voor de afweging kan echter ook de bekleding van andere constructieonderdelen van belang zijn: de berm en het bovenbeloop. Het ontwerpproces van berm en bovenbeloop, inclusief de afweging en keuze, wordt beschreven in hoofdstuk 4.

3.5.1 *Plus/min-criteria*

De plus/min-criteria zijn van toepassing op technische eisen en wensen (uitvoering en beheer), op eisen en wensen vanuit de omgeving (milieu, ecologie, landschap, cultuurhistorie en recreatie) en ten slotte op de kosten. Ze worden hieronder nader uitgewerkt.

Plus/min-criteria stabiliteit

Betonzuilen zijn stabielere dan rechthoekige blokken met dezelfde Dikte (D).

Plus/min-criteria uitvoering

In het programma van eisen zal in het algemeen staan dat het ontwerp goed uitvoerbaar moet zijn. Hieruit volgen meestal geen ja/nee-criteria, maar vooral plus/min-criteria die van belang zijn voor deze stap in het ontwerpproces: de afweging.

Machinale zetbaarheid: voorkeur voor betonelementen

Uit het oogpunt van doorlooptijd en (uitvoerings-)kosten is machinaal zetwerk in pakketten van meerdere elementen gunstiger dan machinaal zetwerk per element of handmatig zetwerk. Alle in aanmerking komende types betonelementen en regelmatige koperslakkblokken kunnen in ieder geval op rechte stukken machinaal in pakketten worden geplaatst. Elementen van natuursteen zijn te onregelmatig gevormd voor plaatsing in pakketten: deze moeten individueel worden gezet. Dit gebeurt meestal handmatig en hiervoor zijn speciaal opgeleide steenzetters nodig. Hiervan zijn er (op dit moment) zo weinig beschikbaar, dat de doorlooptijd van werken een probleem kan zijn. Dit probleem kan worden beperkt door handmatig zetwerk alleen bovenin de bekleding toe te passen (mits de beschikbare elementen technisch toepasbaar zijn). Dat zorgt ervoor dat de voortgang van andere werkzaamheden zo weinig mogelijk wordt belemmerd en bovendien is er geen hinder van het eventuele getij.

Uitvoerbaarheid in scherpe bochten: handmatig zetwerk relatief gunstig

Betonblokken zijn niet goed toepasbaar als de dijk of dam een scherpe bocht maakt. Bij een bochtstraal van 100 m is er geen probleem, maar bij scherpere bochten kan de uitvoerbaarheid van betonblokken problemen geven. Tussen de verschillende typen betonzuilen bestaan uit dit oogpunt kleine verschillen, maar voor alle typen zijn speciale voorzieningen ontwikkeld om ze in scherpe bochten uit te kunnen voeren. Voor typen die ook op rechte stukken handmatig worden gezet (natuursteen en restproducten) maakt het nauwelijks verschil of het om een rechtstand of een bocht gaat. Als deze typen beschikbaar en toepasbaar zijn, is het daarom relatief gunstig om ze in bochten toe te passen.

Plus/min-criteria beheer

In het programma van eisen zal meestal staan dat in het ontwerp rekening moet worden gehouden met bereikbaarheid en begaanbaarheid van de constructie en waarneembaarheid en repareerbaarheid van schade. Ook kan het voorkomen van vandalisme een aandachtspunt zijn. Hieruit kunnen ja/nee-criteria volgen, maar in de praktijk betreft het meestal plus/min-criteria, die van belang zijn voor deze stap in het ontwerpproces: de afweging.

Betreedbaarheid

Betreedbaarheid vanuit het oogpunt van beheer verschilt van betreedbaarheid voor recreatief medegebruik. Voor het beheer is het van belang dat de gehele bekleding voldoende betreedbaar is. Op grond van dit criterium is overlaging met breuksteen ongunstig.

Waarneembaarheid van schade

Het is voor de beheerder belangrijk dat initiële schade aan de dijk of dam zo snel mogelijk waarneembaar is, zodat hij nog gelegenheid heeft om maatregelen te nemen. In de praktijk is het vooral belangrijk dat uitspoeling van basismateriaal of zettingen van de ondergrond zo snel mogelijk waarneembaar zijn. Hiervoor moet een toplaag twee eigenschappen hebben: flexibiliteit en vlakheid van de bovenkant.

In principe zijn alle steenzettingen flexibel, alhoewel de gewelfwerking ervoor zorgt dat zakkingen met een oppervlakte kleiner dan enkele m² in veel gevallen niet zichtbaar zullen zijn. De flexibiliteit wordt beperkt als de samenhang tussen de elementen toeneemt (door inwassen, penetratie of inzanding).

De vlakheid van de bovenkant van de toplaag kan eventueel een probleem zijn bij hergebruik van elementen van natuurlijk materiaal (basalt, graniet) waarbij de elementhoogte varieert. Traditioneel worden deze typen gezet met een vlakke bovenkant van de toplaag. Dit is gunstiger voor de waarneembaarheid van schade. Anderzijds is het

vanuit constructief oogpunt gunstiger om de onderkant van de elementen vlak te houden. Bij een vlakke onderkant is de dikte van de granulaire laag constant, waardoor met een kleinere, gunstigere waarde van de laagdikte kan worden gerekend. Ook geldt bij een gelijke onderkant, dat het zichtbaar is waar de kortere zuilen zitten. Er kan dan ingegrepen worden als juist daar veroudering optreedt. Het nadeel dat verzakkingen niet meer zichtbaar zijn, weegt voor de meeste beheerders echter zwaarder. Daarom wordt geadviseerd om een gelijke bovenkant aan te houden.

Repareerbaarheid

Schade aan de bekleding moet zo eenvoudig mogelijk en zo goed mogelijk kunnen worden gerepareerd. De keuze van het toplaagtype kan hierop invloed hebben. Voor de beheerder kan het belangrijk zijn dat de toplaag machinaal in pakketten herzetbaar is (bijvoorbeeld in geval van reparatie). Dit is natuurlijk niet het geval voor bekledingen van natuursteen en restproducten, maar ook bekledingen van niet-uniforme betonelementen kunnen, eenmaal machinaal geplaatst, slechts moeizaam en per element machinaal worden herzet.

Plus/min-criteria milieu

Milieu is meestal geen criterium in de afweging per vak: bekledingstypen die uit milieutechnisch oogpunt afvallen, zijn meestal niet toepasbaar in het gehele projectgebied (zie §5.1.1). Milieutechnisch is het wel gewenst zo veel mogelijk materialen te hergebruiken.

Plus/min-criteria ecologie

Als de begroeibaarheid van de nieuwe bekleding een onderdeel is van het programma van eisen, kan ecologie een belangrijk criterium zijn in de afweging. De m.e.r.-procedure kan hierbij als kader gelden. Vaak zal de relatie van belang zijn met de begroeiing op de gehele dijk, zie de Leidraad Zee- en Meerdijken [6].

Als begroeibaarheid van belang is, kunnen ecologen voor grote projecten een klassenindeling maken (bijvoorbeeld van 'slecht' naar 'zeer goed', zie ook §4.1.2). Met deze klassen worden zowel de eisen per locatie als de eigenschappen van de bekledingstypen uitgedrukt. Op basis daarvan zijn verschillende bekledingstypen meer of minder geschikt voor een bepaalde locatie. Zie het voorbeeld in hoofdstuk 8 voor een concrete uitwerking.

Plus/min-criteria landschap, cultuurhistorie en recreatief medegebruik

Als deze onderwerpen worden behandeld in het programma van eisen, kunnen ze een criterium zijn in de afweging. De m.e.r.-procedure geldt hierbij meestal als kader.

In de praktijk volgen uit deze criteria meestal geen harde eisen, maar eerder wensen. Op basis daarvan zijn verschillende bekledingstypen meer of minder geschikt voor een bepaalde locatie. In Deel 1 van deze Handreiking Dijkbekledingen [30] zijn deze aspecten verder uitgewerkt.

Plus/min-criteria kosten

Kosten zijn vaak een belangrijk criterium voor de keuze van een bekledingstype. Die keuze bepaalt niet alleen de investeringskosten, maar heeft ook grote invloed op kosten die later worden gemaakt (beheer en onderhoud, verwijdering na de levensduur).

In theorie moet de kostenafweging van de bekledingstypen worden gemaakt op basis van de gekapitaliseerde kosten gedurende de volledige levensduur, zie Keuzemodel kust- en oeverwerken [7]. In de praktijk wordt echter vooral gewerkt met de kosten van aanleg. Deze zijn in het algemeen sterk overheersend, terwijl de overige kosten (zoals onderhoud) bij steenzettingen relatief laag zijn en niet veel van elkaar verschillen.

Het is niet goed mogelijk om in deze Handreiking absolute getallen op te nemen voor de kosten per bekledingstype. Daarvoor zijn de kosten te zeer afhankelijk van de omstandigheden. Wel kan een indicatie worden gegeven van de verhouding tussen de aanlegkosten van de typen in vergelijkbare omstandigheden. Daarbij kunnen drie duidelijk verschillende categorieën worden onderscheiden:

- Machinaal per pakket zetten van nieuwe elementen (meestal betonzuilen);
- Machinaal per pakket zetten van bestaande elementen (meestal betonblokken);
- Handmatig of machinaal per element zetten van bestaande elementen (meestal basaltzuilen).

Het handmatig of machinaal per element zetten van nieuwe elementen komt in de praktijk alleen op kleine schaal voor bij aansluitingen en overgangen.

De aanschaf van de elementen is overheersend voor de kosten; daarom is een bekleding van nieuwe elementen (die machinaal worden gezet) duidelijk het duurst. Uitgaand van dezelfde sterkte is een bekleding van bestaande elementen die machinaal per pakket worden gezet, een factor zes à acht goedkoper. Een bekleding van bestaande elementen die per element worden gezet is ongeveer een factor drie goedkoper dan een bekleding van nieuwe elementen die machinaal per pakket worden gezet.

3.5.2

Vergelijking en keuze

De verschillende criteria kunnen niet één-op- één met elkaar worden vergeleken, omdat ze niet allemaal in dezelfde eenheid kunnen worden uitgedrukt. Dit probleem speelt in bijna alle situaties waarin moet worden gekozen tussen alternatieven. Voor dit soort afwegingen bestaan verschillende methodes. Bij complexe projecten kan een multi-criteria-analyse worden uitgevoerd om de afweging te kwantificeren. Ook het Keuzemodel kust- en oeverwerken kan hierbij worden gebruikt. In de praktijk wordt vaak volstaan met een scoretabel waarin de waardering voor de relevante criteria gepresenteerd wordt. Zie de voorbeelden in Katern 4 van dit deel voor een concrete uitwerking.

In de praktijk zal de keuze vaak worden gemaakt in overleg met meerdere betrokkenen. De beheerder van de steenzetting speelt daarin een belangrijke rol.

4 Dimensioneren

4.1 Inleiding

Alvorens het programma STEENTOETS wordt gebruikt om het ontwerp te controleren, dient de gebruiker eerst een grof ontwerp opgezet te hebben. Naast de keuze voor een toplaag van de bekleding (zie paragraaf 3.5 en paragraaf 4.2) moet meestal ook een keuze gemaakt zijn voor wat betreft het onderliggende filter (paragraaf 4.3).

Wanneer er geen kleilaag aanwezig is als basismateriaal is het toepassen van een granulair filter zoals mijnsteen of slakken (met eventueel een uitvullaag) een oplossing. Wanneer er wel een kleilaag als basismateriaal aanwezig is, wordt aanbevolen om een geotextiel met een uitvullaag te gebruiken.

Naast bovengenoemde algemene type constructie-opbouw bestaan ook andere mogelijkheden.

Op basis van een keuze uit bijvoorbeeld één van bovenstaande standaardsituaties gaat de gebruiker de dimensies van de afzonderlijke elementen van de constructie bepalen. Voor wat betreft de dikte van kleilagen wordt verwezen naar het Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies [8] en het Addendum bij de Leidraad Rivieren [20] (ten behoeve van het ontwerpen van rivierdijken).

Voorliggend hoofdstuk helpt de gebruiker bij het onderbouwd keuzes maken van constructie-afmetingen. Aanvullende ontwerpinformatie is opgenomen in Katern 4 van dit document.

In de paragrafen 4.2 tot en met 4.8 is in eerste instantie een beschrijving opgenomen van de verschillende bekledingselementen die in Nederland frequent voorkomen. Dat is de zogenaamde basisinformatie die gebruikt kan worden in de bekledingskeuze.

4.2 Voorselecteren bekledingstypen

De voorselectie is de laatste stap voorafgaand aan het rekenwerk. Het doel is dan ook het aantal bekledingstypen dat in aanmerking komt te beperken, zodat in de volgende stap minder bekledingstypen hoeven te worden doorgerekend. In de voorselectie gaat het niet alleen om het type bekledingssysteem (welke lagen worden toegepast), maar ook om het type toplaag en de overige lagen van de bekleding. Zie paragraaf 13.1 voor een overzicht van alle mogelijke varianten.

Bij de voorselectie van bekledingstypen dient rekening gehouden te worden met:

1. Beschikbaarheid van toplaagelementen;
2. De technische eisen (en wensen): bescherming tegen erosie, uitvoering, beheer;
3. De omgevingseisen (en –wensen): milieu, ecologie, landschap, cultuurhistorie en recreatie.

Deze aandachtspunten/criteria worden hieronder toegelicht. Vanwege het doel van deze stap betreft het ja/nee-criteria, dus criteria waarmee wordt bepaald of een bekledingstype wel of niet in het verdere proces wordt meegenomen. Plus/min-criteria, waarmee wordt bepaald of een bekledingstype meer of minder gunstig is, komen niet in deze stap maar in de afweging aan de orde (zie paragraaf 3.5).

Ad 1. Beschikbaarheid van toplaagelementen

Dit criterium is alleen van belang voor hergebruik: nieuwe materialen (betonzuilen) zijn in voldoende mate beschikbaar. Granietblokken, basaltzuilen en koperslakblokken worden in de huidige praktijk alleen toegepast bij hergebruik. Rechthoekige betonblokken kunnen nieuw worden aangevoerd, maar in de praktijk zal dat alleen bij uitzondering gebeuren (lichte belasting); voor zee- en meerdijken worden betonblokken in het algemeen alleen toegepast in de vorm van hergebruik.

Voor beperkt beschikbare typen toplaagelementen (hergebruik) kan een afweging worden gemaakt tussen de ontwerpvakken binnen het projectgebied. Dat kan echter pas als is bepaald op welke vakken en stroken binnen de ontwerpvakken de beschikbare materialen technisch toepasbaar zijn (zie paragraaf 3.4).

Ad 2. Technische eisen

Bescherming tegen erosie

Een aanzet voor de voorselectie op het niveau van bekledingssystemen is de klasse-indeling in paragraaf 13.1. Voor zee- en meerdijken onder golfbelasting (zware belasting) komen in de eerste plaats de bekledingssystemen van standaardelementen met zowel een filterconstructie als een uitvullaag in aanmerking (klasse 1), en in bijzondere omstandigheden ook de systemen van klasse 2 (bekledingssystemen zonder granulaire laag, blokkenmatten met een filterlaag, overlagen met breuksteen). Bekledingssystemen zonder filterlaag en doorgroeiënten (klasse 3) komen alleen in aanmerking bij lichtere belasting (rivierdijken, golfoploopzone, kruin en binnentalud).

Bij toplaagtypen en overige bekledingslagen kan in de meeste gevallen zonder rekenwerk geen voorselectie worden gemaakt. Zie voor deze berekeningen de latere stappen in het ontwerpprocedure. In extreme gevallen, bijvoorbeeld bij een significante golfhoogte van 3 meter, kan wel direct worden geconcludeerd dat lichtere toplaagtypen (dunne betonblokken, kleine basaltzuilen) niet toepasbaar zijn. Ontwerpervaring speelt hierbij een grote rol.

Doorgroeiënten worden alleen toegepast als dat vanuit het beheer de voorkeur heeft boven een grasbekleding. Ook op plaatsen waar de grasmat slecht tot ontwikkeling kan komen, bijvoorbeeld ten gevolge van zand op de dijk bij een strandje, kunnen doorgroeiënten een oplossing bieden.

Doorgroeiënten zijn echter alleen toepasbaar bij kleine golfbelasting, in de oploopzone of als de stromingsbelasting maatgevend is (langsstroming), en daarbinnen alleen op plaatsen met een zodanig lichte hydraulische belasting, dat ook een grasmat voldoende sterkte biedt (bijvoorbeeld op de overgang van steenzetting naar grasbekleding).

Uitvoering

Als de te ontwerpen steenzetting binnen de getijzone ligt, is een steenzetting van standaardelementen zonder granulaire laag niet goed aan te brengen: in de getijzone worden alleen steenzettingen met granulaire laag toegepast. Bij een overlaging met breuksteen moet het breuksteenpakket bij de teen aansluiten op een bestorting die voldoende steun geeft tegen afschuiving. Als een steenzetting geheel onder water moet worden aangebracht zijn blokkenmatten handig, maar ook breuksteen is mogelijk.

In te scherpe bochten is toepassing van rechthoekige betonblokken niet mogelijk of ongewenst. Bij een bochtstraal kleiner dan 100 meter kan dit een beperkende factor zijn; in de praktijk is dit meestal geen ja/nee-, maar een plus/min-criterium (zie §3.5.1).

Als de onderste strook van een steenzetting moet worden verbeterd, terwijl daarboven steenzettingen liggen die kunnen worden gehandhaafd, is overlagen met breuksteen het overwegen waard.

Beheer

Soms heeft een beheerder zodanig slechte ervaringen met bepaalde soorten, dat deze in de globale voorselectie al afvallen. Ook kan bijvoorbeeld als eis gelden dat de bekleding machinaal in pakketten herzetbaar moet zijn, of dat de bovenkant van de bekleding zo vlak mogelijk moet zijn. Overlaging met breuksteen wordt soms als ongewenst beschouwd.

Ad 3. Omgevingseisen

Milieu

Milieu kan een criterium zijn bij de voorselectie van toplaag en overige lagen. Door wetten of voorschriften kunnen bepaalde restmaterialen zoals koperslakblokken en mijnsteen niet toepasbaar zijn. Deze gegevens staan in de m.e.r. of milieuvergunning.

Ecologie

Uit het oogpunt van begroeibaarheid kunnen aan een ontwerpvak zodanige eisen worden gesteld dat bepaalde bekledingstypen bij voorbaat niet toepasbaar zijn. Het gaat daarbij om vakken met een 'onvoldoende' getoetste bekleding met goede of bijzondere begroeiing (herstel van de begroeiing), of een vak waar de omstandigheden een goede of bijzondere begroeiing mogelijk maken (verbetering van begroeibaarheid). In de praktijk wordt deze afweging door of in nauw overleg met experts uitgevoerd. De ecologische geschiktheid speelt echter vooral een rol in de uiteindelijke afweging en keuze (zie §3.5.1).

Landschap, cultuurhistorie en recreatie

Uit het criterium landschap volgen slechts zelden absolute eisen waardoor bekledingstypen in de voorselectie afvallen. Het is mogelijk dat aparte ontwerpvakken worden onderscheiden op grond van de criteria cultuurhistorie en recreatie. In de praktijk zijn deze criteria echter zelden zo zwaarwegend dat ze in de voorselectie een rol spelen. Ze spelen vooral een rol in de uiteindelijke afweging en keuze (zie §3.5.1).

4.3

Kiezen en ontwerpen filterconstructie (dimensionering op materiaaltransport)

Golfaanval op een steenzetting veroorzaakt een stroming onder de toplaag, voornamelijk evenwijdig aan het talud. Als gevolg van deze stroming kunnen de bovenste deeltjes van de ondergrond uitspoelen, waardoor de toplaag uit verband raakt (faalmechanisme materiaaltransport vanuit de ondergrond, zie paragraaf 14.4). Om dit faalmechanisme te voorkomen wordt in een bekledingssysteem van steenzettingen normaal gesproken een filterconstructie opgenomen, bestaand uit geokunststof en/of granulair materiaal. Daarnaast is een granulaire laag nodig om afschuiven te voorkomen als er geen kleilaag is en is het ook belangrijk als dekvloer, vooral in de getijzone.

Het ontwerp van de filterconstructie wordt aanbevolen als de eerste 'stap' in het ontwerpproces, omdat het ontwerp van de filterconstructie invloed heeft op de andere faalmechanismen (toplaaginstabiliteit en afschuiving), terwijl het ontwerp van de andere constructieonderdelen nauwelijks invloed heeft op het ontwerp van de filterconstructie. Als het ontwerp van de filterconstructie bekend is, hoeft met veel minder varianten rekening te worden gehouden bij de berekeningen voor de andere faalmechanismen.

Onder de toplaag wordt altijd een dunne uitvullaag toegepast. Deze moet zo dun mogelijk zijn, maar minstens ongeveer 5 centimeter. Dit functioneert onder andere als werkvloer. De korrelgrootte wordt bepaald uit de volgende mechanismen:

- Materiaaltransport door de toplaag (onvoldoende grote D_{f50} en/of D_{f90});
- Stabiliteit van de toplaag (voldoende kleine D_{f15}).

Onder de uitvullaag kan een geotextiel of granulair filter toegepast worden. Als er een kleilaag is, wordt vrijwel altijd gekozen voor een geotextiel.

Alleen als voor een geometrisch-open filterontwerp wordt gekozen, heeft de toplaagdikte invloed op het filterontwerp (zie §4.3.1). In dat geval is een iteratieslag nodig.

Het ontwerp van filterconstructies wordt uitgebreid behandeld in CUR-rapport 161 [2]. In deze paragraaf zijn alleen de hoofdlijnen van het ontwerp opgenomen, voor zover specifiek geldig voor een filter in een steenzetting. Eerst worden in §4.3.1 enkele principes van filterontwerp besproken. Daarna wordt in twee stappen het ontwerpproces besproken:

- Keuze geokunststof of granulair filter (§4.3.2);
- Keuze soort geokunststof/granulair filter en ontwerp (§4.3.3).

Opmerkingen:

Deze fase in het ontwerpproces is niet relevant voor de verbeteringsvariant overlagen met breuksteen: daarbij wordt de bestaande steenzetting, inclusief filter, gehandhaafd. Voor het ontwerp van een breuksteenoverlaging wordt verwezen naar het deel Breuksteenbekledingen van deze Handreiking [3].

4.3.1

Principes filterontwerp

Filters moeten migratie van materiaal uit de ondergrond voorkomen en waterdoorlatend zijn. Dit zijn de belangrijkste functionele eisen. Daarnaast kunnen met het oog op de uitvoering sterkte-eisen worden gesteld. Als het filter wordt toegepast om afschuiving te voorkomen (als er geen kleilaag is), dan is de dikte van de laag het belangrijkste.

Een belangrijke basiskeuze bij filterontwerp is het ontwerpcriterium voor de grondichtheid geometrisch-dicht of geometrisch-open:

- Bij een geometrisch-dicht filter zijn de korrels van de ondergrond groter dan de openingen in de filterconstructie, zodat materiaaltransport fysiek onmogelijk is, onafhankelijk van de belasting.
- Voor een geometrisch-open filter gelden minder strenge regels: er wordt rekening gehouden met een maatgevende belasting en de filterconstructie wordt zodanig ontworpen dat bij die maatgevende belasting geen materiaaltransport zal optreden.

Bij elk van beide ontwerpcriteria horen ontwerperegels voor de verhouding van de openingsgrootte van de filterconstructie en de korrelgrootte van de ondergrond. De openingsgrootte wordt voor een geokunststof uitgedrukt in de karakteristieke openingsgrootte O_{90} (zie paragraaf 16.11). Bij een granulair filtermateriaal zijn de afmetingen van de fijne fractie representatief voor de openingsgrootte. Hiervoor wordt de karakteristieke korreldiameter D_{f15} gebruikt, waarin het subscript f staat voor 'filter' (zie paragraaf 16.8 en 16.12). Verder is de porositeit n van belang. Voor de korrelgrootte van de ondergrond is een maat nodig voor de gemiddelde of grove fractie. Afhankelijk van de ontwerpregel wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameters D_{50} , D_{60} , D_{85} en D_{90} . Voor een hydraulisch-dicht maar geometrisch-open filter speelt daarnaast de hydraulische belasting een rol.

Bij granulaire filters gelden nog aanvullende eisen voor de korrelverdeling: niet alleen de filterwerking ten opzichte van de ondergrond is van belang, maar er moet ook worden voldaan aan ontwerpcriteria voor de interne stabiliteit en ontwerpcriteria voor

materiaaltransport vanuit de filterconstructie naar de bovenliggende laag (vaak de toplaag). Dit laatste mechanisme wordt 'materiaaltransport vanuit de granulaire laag' genoemd. Met het oog op de interne stabiliteit gelden regels voor de verhouding tussen de fijne en grove fractie van het materiaal zelf. Met het oog op materiaaltransport naar de bovenliggende laag gelden eisen aan de gemiddelde of grove fractie (bijvoorbeeld D_{50} of groter).

Tenslotte moet rekening worden gehouden met de waterdoorlatendheid: de filterconstructie moet niet minder waterdoorlatend zijn dan de ondergrond om opbouw van waterspanning te voorkomen. Daarnaast is de doorlatendheid van het filter ook van belang voor potentiële drukopbouw (stijghoogteverschil) onder de toplaag.

Naarmate de stroming in het filter geringer is, is het stijghoogteverschil ook kleiner. De stroming wordt onder andere beperkt door een kleine dikte van de filterlaag of een lage doorlatendheid van het filter. Hierbij van belang is een kleine verhouding tussen de doorlatendheid van het filter en de doorlatendheid van de toplaag, want dan kan het met moeite door het filter stromende water bijna ongehinderd door de toplaag wegstromen. Het "bijna ongehinderd" wegstromen wil zeggen: zonder groot stijghoogteverschil. Deze doorlatendheidsverhouding komt ook terug in de belangrijkste constructie-beschrijvende parameter, de leklengte. Hierdoor is deze parameter een maat voor de grootte van het stijghoogteverschil over de toplaag bij een gegeven golfbelasting:

$$\Lambda = \sqrt{\frac{bDk}{k'}}$$

Met daarin:

Λ	=	leklengte	[m]
b	=	dikte van de filterlaag	[m]
D	=	dikte van de toplaag	[m]
k	=	doorlatendheid van het filter	[m/s]
k'	=	doorlatendheid van de toplaag	[m/s]

Behalve de verhouding tussen de doorlatendheden k en k' , zijn in deze parameter ook de dikte van de toplaag en de filterlaag opgenomen. Deze zijn namelijk mede bepalend voor de stroming.

In een constructie met een grote leklengte treden grotere stijghoogteverschillen over de toplaag op dan in een constructie met een kleine leklengte. Dit is vooral een gevolg van de verhouding k/k' in de leklengteformule. De grootte van de leklengte ligt in de meeste gevallen tussen 0,3 en 2 meter.

Als er geen granulair filter aanwezig is, zoals bij een toplaag op een geotextiel op zand of blokken op klei, is de leklengteparameter onbepaalbaar omdat de grootte van b en k niet te bepalen is. Bij dit type constructie is de fysische beschrijving van de stroming anders. De aanpak met een leklengte is van toepassing zolang de doorlatendheid van de toplaag veel kleiner is dan die van het filter en de doorlatendheid van het filter groter is dan circa 5 mm/s.

Conflicterende eisen aan korrelverdeling

Bij een granulair filter worden vanuit de verschillende ontwerpcriteria mogelijk conflicterende eisen gesteld aan de korrelverdeling. Bij een ondergrond van fijn materiaal is een kleine D_{r15} nodig (tegen uitspoeling vanuit de ondergrond). Bij een open toplaag met golfbelasting is een grote D_{r50} nodig (tegen uitspoeling door de toplaag heen), en het quotiënt van die twee moet niet te groot zijn vanwege de eisen voor interne- stabiliteit. Een granulair filter kan in zo'n geval vaak alleen aan de eisen voldoen als het bestaat uit meerdere lagen, elk met intern stabiele korrelverdelingen die onderling op elkaar zijn afgestemd. In de praktijk wordt een geotextiel toegepast om uitspoeling van fijn materiaal uit de ondergrond te voorkomen. Hierdoor is vaak een meerlaagse granulaire laag ten behoeve van uitspoeling niet meer noodzakelijk.

Een keuze voor een geometrisch-open/hydraulisch-dicht filter leidt tot minder strenge filtereisen, waardoor mogelijk minder filterlagen nodig zijn. Deze keuze kan overigens pas worden gemaakt als de filterconstructie volgens beide ontwerpcriteria is gedimensioneerd.

4.3.2 *Keuze geokunststof of granulair filter*

Zowel met een geokunststof als met granulaire lagen kan in principe voor elke situatie een goed werkend filter worden ontworpen. De keuze tussen de twee typen wordt dus niet rechtstreeks bepaald door de vereiste werking, maar door afgeleide criteria.

Een belangrijk verschil tussen de twee typen is de constructiedikte: een geokunststof heeft altijd een kleine dikte (orde mm), terwijl een granulair filter uit uitvoeringstechnisch oogpunt minimaal enkele centimeter dik moet zijn en bovendien nog dikker wordt als meer lagen nodig zijn (zie §4.3.1). De dikte van de filterconstructie is van belang voor de afweging: een dikker filter is moeilijker in te passen in de constructie en bovendien duurder. Verder is een dikke granulaire laag in een steenzetting ongunstig met het oog op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit, maar juist gunstig met het oog op afschuiving.

In bepaalde omstandigheden is uitvoeringstechniek van belang. Onder water is het niet mogelijk om een granulair filter met dunne lagen voldoende nauwkeurig aan te brengen. Anderzijds zijn voor het afzinken van een geokunststof speciale maatregelen nodig die vooral bij kleine projecten relatief duur zijn.

Levensduur geokunststoffen

Over de levensduur van geokunststoffen is minder bekend dan over die van granulaire filters. De geokunststoffen in een steenzetting worden alleen tijdens de uitvoering blootgesteld aan het zonlicht; op basis van de beschikbare kennis wordt in de huidige ontwerp praktijk van steenzettingen aangenomen dat een levensduur van minimaal 50 jaar wordt gehaald.

In het algemeen geldt dat het goedkoper is om een geokunststof toe te passen dan een granulair filter.

4.3.3 *Keuze soort geokunststof of granulair filter en dimensionering*

Normaal gesproken komen twee soorten geokunststof in aanmerking voor ontwerp: vliezen (non-woven) en weefsels (woven). Beide soorten kunnen in het algemeen zo worden ontworpen dat wordt voldaan aan de eisen van grond dichtheid, waterdoorlatendheid en uitvoeringssterkte. De keuze wordt vaak bepaald door uitvoeringsoverwegingen en

persoonlijke ervaring en voorkeur van de ontwerper, en door de leverbaarheid van producten.

In het algemeen zijn vliezen minder gronddoorlatend, maar ook minder sterk dan weefsels. Bovendien rekken vliezen onder trekkracht meer dan weefsels; te veel rek is ongewenst omdat de doorlatendheid erdoor toeneemt. Dit verschil is relevant als in de uitvoering veel trekkracht wordt uitgeoefend op het geokunststof.

In bijzondere gevallen kunnen ook folies in aanmerking komen. Folies zijn waterdicht en daarom niet geschikt in zones waar wateroverdrukken kunnen ontstaan; ze kunnen dus in principe wel hoger op het talud worden toegepast, bijvoorbeeld meer dan 1 meter boven gemiddeld hoogwater. Een ander nadeel is dat folies erg glad zijn; bij een relatief steile helling kan dit tot afschuiving leiden van de lagen erboven. Voor dit aspect bestaan geen algemeen toepasbare rekenregels; bij toepassing van een folie op een helling steiler dan ongeveer 1:4 is specialistische kennis nodig (zie ook § 4.7.1).

Dimensionering geokunststof filter

Het ontwerp van een geokunststof filter resulteert in ontwerpeigenschappen met betrekking tot grond dichtheid, waterdoorlatendheid en uitvoeringssterkte. In de praktijk is het verstandig om in ontwerp en contract alleen deze functionele en uitvoeringstechnische eisen op te nemen, zodat de keuze voor het exacte type en de exacte kenmerken kan worden overgelaten aan uitvoering en/of aannemer. Daardoor kan beter rekening worden gehouden met de beschikbaarheid van materialen op de markt.

Ontwerpeigenschappen:

- Karakteristieke openingsgrootte O_{90} (van belang voor grond dichtheid);
- Dikte T_g en permittiviteit ψ (van belang voor waterdoorlatendheid);
- Treksterkte, rek bij breuk, doordrukkracht (van belang voor uitvoeringssterkte).

Deze parameters worden besproken in paragraaf 16.11. Voor achtergronden over toepasbaarheid, eigenschappen en uitvoeringstechnische zaken met betrekking tot geotextiel wordt verwezen naar CUR-rapportage 174: Geokunststoffen in de waterbouw [24].

In de praktijk zal binnen grotere projecten, met tamelijk constante omstandigheden, vaak worden gewerkt met standaardoplossingen voor geokunststof (zie katern 4).

Keuze soort granulair filter

De keuze tussen een geometrisch-dicht of -open filter wordt al gemaakt bij de afweging tussen een granulair filter en een geokunststof. Als eenmaal gekozen is voor een granulair filter, is in de praktijk alleen de keuze voor het granulaire materiaal van belang.

Voorals steenslag en gebroken grind komen in aanmerking. Indien beschikbaar kan ook breed gegradeerd granulair materiaal worden gebruikt (mijnsteen, fosforlakken, betonpuin, silex). De keuze tussen deze materialen wordt in de praktijk meestal bepaald door de beschikbaarheid in de markt en wordt daarom vaak overgelaten aan uitvoering en/of aannemer.

Dimensionering granulair filter

Bij de dimensionering moet rekening worden gehouden met de eisen vanuit de faalmechanismen materiaaltransport vanuit de ondergrond en materiaaltransport vanuit de granulaire laag, en daarnaast met eisen voor interne stabiliteit en waterdoorlatendheid. De regels leiden tot een set voorwaarden voor de korrelverdeling (fijne fractie, gemiddelde fractie, grove fractie, verhouding tussen fracties). In de praktijk vertaalt de ontwerper deze

eisen naar een standaardkorrelverdeling voor granulaire materialen die in het contract wordt opgenomen. Bij (gebroken) grind en steenslag is de kleinste standaardsoortering 2/6 mm; de grootste standaardsoortering is 20/40 mm voor (gebroken) grind en 22/32 mm voor steenslag. Ongebroken grind is ongeschikt als filter- of uitvullaag.

Behalve de korrelverdeling is de laagdikte van belang. Uit functioneel oogpunt zijn minimaal enkele lagen korrels nodig, wat neerkomt op enkele centimeters. In het algemeen is met het oog op de uitvoering een grotere minimale laagdikte nodig: ongeveer 5 à 10 centimeter.

Met het oog op de andere faalmechanismen (met name toplaaginstabiliteit) moet zowel voor de sortering als de laagdikte rekening worden gehouden met veiligheidsmarges, zie paragraaf 16.11 en 16.11. Praktijkvoorbeelden zijn opgenomen in katern 4.

4.4

Dimensionering op toplaaginstabiliteit – standaardsteenzettingen

Na de voorselectie van bekledingssystemen en de keuze van de filterconstructie resteert per ontwerpvlak een beperkt aantal mogelijke oplossingen. De uitgebreide verzameling van varianten uit paragraaf 13.1 zal in de praktijk gereduceerd zijn tot maximaal vijf bekledingssystemen waarvan vaststaat dat ze in principe kunnen worden toegepast, mits ze voldoen aan de eisen ten aanzien van de faalmechanismen toplaaginstabiliteit en afschuiving. De controle op afschuiving wordt beschreven in paragraaf 4.7, de dimensionering op toplaaginstabiliteit wordt behandeld in deze paragraaf voor standaardsteenzettingen en in paragraaf 4.5 voor de aanverwante bekledingstypen. Berekend kan worden op welke plaatsen in het ontwerpvlak elk type sterk genoeg is; dit wordt ook wel de bepaling van de technische toepasbaarheid genoemd. Op deze plaats wordt alleen het buitentalud onder het ontwerppeil behandeld; de bekleding van overige constructieonderdelen wordt behandeld in paragraaf 4.8. Hieronder valt het talud boven ontwerppeil, maar ook de invloed van bermen en overgangsconstructies op de stabiliteit van de steenzetting. Als deze elementen in het buitentalud aanwezig zijn, moet daarmee zorgvuldig rekening worden gehouden.

Voor de bepaling van de technische toepasbaarheid worden alleen berekeningen gemaakt voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. In de praktijk is dit mechanisme bijna altijd maatgevend. Pas later in het ontwerpproces, na het vaststellen van de ontwerpvarianten, worden controleberekeningen gemaakt voor het mechanisme afschuiving (zie paragraaf 4.7). Eventuele problemen die daarbij naar voren komen, kunnen vaak relatief eenvoudig worden opgelost met ontwerpinterventies in constructieonderdelen die geen invloed hebben op de faalmechanismen materiaaltransport en toplaaginstabiliteit (zoals bijvoorbeeld een dikkere kleilaag). Eventueel is in dat stadium een terugkoppeling nodig naar deze stap, de dimensionering op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. Zoals eerder besproken wordt in de huidige ontwerppraktijk geen rekening gehouden met de reststerkte van de onderlagen (het faalmechanisme erosie van de onderlagen).

Van de bekledingstypen beschreven in Katern 4 (paragraaf 13.2) van deze handreiking worden in deze paragraaf de rekenmethodes voor toplaaginstabiliteit behandeld:

- §4.4.1 geeft het verschil aan tussen hergebruik en nieuw aan te voeren toplaagelementen;
- §4.4.2 bevat de rekenmethodes voor standardelementen op granulaire laag - hergebruik;
- §4.4.1 bevat de rekenmethodes voor standardelementen op granulaire laag - nieuw aan te voeren;

Voor elk van deze typen wordt een stapsgewijze rekenprocedure beschreven voor de bepaling van de technische toepasbaarheid met het oog op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. Het rekenwerk zelf is daarin vaak niet meer dan één van de stappen. In dit hoofdstuk wordt het rekenwerk niet in detail behandeld; in de rekenprocedure wordt verwezen naar de bijbehorende rekenmethodes en -gereedschappen.

Voordat echter ingegaan wordt op de rekenmethodes voor toplaaginstabiliteit komt het verschil tussen hergebruik en nieuw aan te voeren toplaagelementen aan de orde.

4.4.1 *Verskil hergebruik en nieuw aan te voeren toplaagelementen*

Bij de bepaling van de technische toepasbaarheid bestaat een principiële verschil tussen elementen die beschikbaar zijn voor hergebruik en nieuw aan te voeren elementen. In geval van hergebruik staan de materiaaleigenschappen vast; die zijn daardoor een randvoorwaarde voor de ontwerpberekeningen. In de praktijk is het mogelijk dat de beschikbare elementen niet in het hele projectgebied sterk genoeg zijn (doordat hydraulische randvoorwaarden of taludhelling variëren). Hergebruik is vaak gewenst uit het oogpunt van kosten en milieu. Het doel van deze stap in het ontwerpproces is daarom: nauwkeurig vaststellen wáár hergebruik technisch mogelijk is.

Bij nieuw aan te voeren elementen kunnen de materiaaleigenschappen worden gekozen door de ontwerper, binnen de grenzen van de leverbaarheid. De materiaaleigenschappen zijn in dit geval dus geen randvoorwaarde, maar een ontwerpeigenschap. In de praktijk is meestal al eerder in het ontwerpproces vastgesteld dat de sterkst leverbare elementen in het hele projectgebied toepasbaar zijn. In dit stadium van het ontwerp is het van belang om te komen tot een optimalisatie van de materiaaleigenschappen. Voor nieuw aan te voeren elementen is het doel van deze stap dan ook: het bepalen van de kleinste toplaagdikte en – dichtheid waarbij de betreffende bekledingstypen nog sterk genoeg zijn.

Voor standaardelementen op een granulaire laag zijn beide situaties van belang. Voor de meeste andere varianten uit hoofdstuk 13 (standaardelementen zonder granulaire laag, blokkenmatten, doorgroeistenen) is in de praktijk alleen de situatie met nieuw aan te voeren elementen van belang.

Voor een eerste indicatie van toplaagdikte om het ontwerpproces te starten, kan de volgende formule gebruikt worden: $\frac{H_s}{\Delta D} = 5$

met:

H_s	=	significante golfhoogte	[m]
Δ	=	relatieve dichtheid toplaagelementen	[-]
D	=	dikte toplaag (= hoogte toplaagelementen)	[m]

4.4.2 *Standaardelementen op granulaire laag – hergebruik*

Rekenmethode

Voor steenzettingen op een granulaire laag (uitvullag en/of filterlaag) kan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit onder golfaanval worden berekend met de analytische methode die is verwerkt in het computerprogramma STEENTOETS.

In geval van hergebruik staan de materiaaleigenschappen (elementhoogte en dichtheid) in principe vast, zodat precies kan worden berekend op welke plaatsen welke partij toepasbaar is. Daarbij kunnen per ontwerpvlak (met constante randvoorwaarden en taludhelling) twee verschillende benaderingen worden gevolgd:

1. Berekening tot welk niveau het bekledingstype toepasbaar is, uitgaand van een eerste benadering van de ontwerpwaarde voor de taludhelling;
2. Berekening van de steilste taludhelling waarbij het bekledingstype toepasbaar is tot aan de bovengrens van het ontwerpvlak.

De tweede benadering is vooral nuttig als uit de eerste benadering is gebleken dat het bekledingstype bijna op het hele dwarsprofiel van het ontwerpvlak toepasbaar is, of als toepassing van een bepaald bekledingstype in het betreffende ontwerpvlak zeer gewenst is.

Ad 1. Berekening maximaal niveau bij gekozen taludhelling

Vastgesteld moet worden tot welk niveau de beschikbare elementen kunnen worden toegepast als het geometrisch ontwerp van de dijk of dam wordt gehandhaafd. In paragraaf 4.3 is de vaststelling van de vakindeling behandeld. De geometrie van de dijk of dam is daarin een belangrijke parameter. In dat stadium van het ontwerpproces is voor elk ontwerpvlak een eerste globale geometrie van het talud vastgesteld. Daarbij hoort ook een verloop van de taludhelling vanaf de teen tot aan de bovengrens van het ontwerpvlak. In de praktijk wordt meestal gewerkt met één constante waarde of een verdeling van het ontwerpvlak in twee stroken met ieder een waarde voor de taludhelling.

Als de taludhelling en de hydraulische randvoorwaarden niet variëren binnen het dwarsprofiel van het ontwerpvlak, is het resultaat van de rekenprocedure dat het bekledingstype al dan niet toepasbaar is bij de gekozen taludhelling. In de praktijk is er wel vaak variatie: de golfbelasting neemt vaak toe met het niveau (tot aan de maatgevende hoogwaterstand), zie het Deel 1: Algemeen (bijlage 6) van deze Handreiking [30]. Het resultaat van de rekenprocedure is dan het niveau tot waar het bekledingstype kan worden toegepast. Uitgangspunt voor de rekenprocedure is dat de golfbelasting met het niveau toeneemt of gelijk blijft en dat de taludhelling constant is. De rekenprocedure moet daarom apart worden doorlopen voor elke ontwerpstrook met constante taludhelling (in de praktijk één of twee).

Rekenprocedure

Kies voor de bovenrand van de bekleding in eerste instantie de bovenkant van de ontwerpstrook:

1. Zoek de bijbehorende golfrandvoorwaarden op, zie Deel 1: Algemeen (bijlage 6) van deze Handreiking [30].
2. Neem de ontwerpwaarden voor de gegevens van de toplaag (paragraaf 16.1, 16.3 en 16.4), de gegevens van de granulaire laag (16.7, 16.8 en 16.9) en de taludhelling (paragraaf 15.2); houd hierbij rekening met de eventuele veiligheidsmarges voor dichtheid, laagdikte granulaire laag en taludhelling.
3. Controleer of het resultaat van STEENTOETS bij deze invoerwaarden stabiel is.
4. Zo nee: kies een lager niveau en voer stap 4 opnieuw uit; zo ja: het laatst gebruikte niveau van de bovenrand is het resultaat van de rekenprocedure.

In de praktijk wordt gerekend met waarden voor het niveau die zijn afgerond op één decimeter. Het hoogste niveau waarbij het resultaat van STEENTOETS stabiel is, is het maximale niveau tot waar de beschikbare elementen bij de gekozen taludhelling toepasbaar zijn.

Ad 2. Berekening taludhelling voor toepassing tot bovengrens

Als uit de rekenprocedure in Ad 1. blijkt dat een bekledingstype bijna tot aan de bovengrens toepasbaar is of als toepassing van een bekledingstype bijzonder gewenst is, kan overwogen worden om bepaalde ontwerpparameters voor dit doel te veranderen. De meest voor de hand liggende parameter hiervoor is de taludhelling; eventueel kunnen ook de dikte en doorlatendheid van de granulaire laag en het open-ruimtepercentage van de toplaag worden gevarieerd. De hier gegeven procedure gaat over de taludhelling, maar is ook toepasbaar voor de andere parameters.

Zoals aangegeven in paragraaf 15.2 staat bij het begin van het ontwerpproces wel vast wat de globale taludhelling moet zijn (vanwege inpassing), maar kan de taludhelling in de praktijk nog wel enigszins worden verflauwd (in de orde van enkele tienden op de cotangens). Als de golfrandvoorwaarden niet variëren binnen het dwarsprofiel, is het resultaat van deze rekenprocedure één taludhelling die nodig is om het bekledingstype in het hele ontwerpvlak toe te kunnen passen. Als de golfbelasting toeneemt met de hoogteligging, kan in theorie de taludhelling ook met de hoogteligging worden gevarieerd, maar in de praktijk zal voor hoogstens twee à drie aparte stroken de benodigde taludhelling worden bepaald (dit wordt ook wel een ondertafel en een boventafel genoemd). De rekenprocedure moet apart worden doorlopen voor elke strook (in de praktijk één of twee).

Rekenprocedure:

1. Neem voor de gegevens van toplaag en granulaire laag dezelfde waarden als bij de bepaling van het maximale niveau; neem voor de golfrandvoorwaarden de waarden die horen bij de bovengrens van het ontwerpvlak.
2. Kies voor de cotangens van de ontwerphelling een grotere waarde dan de voorlopige ontwerpwaarde, dit is om rekening te houden met de onzekerheid in de uitvoering (bijvoorbeeld 0,1 groter).
3. Controleer of het resultaat van STEENTOETS bij deze invoerwaarden stabiel is.
4. Zo nee: kies een grotere waarde voor de cotangens en voer stap 3 opnieuw uit; zo ja: de laatst gebruikte taludhelling is het resultaat van de rekenprocedure.

In de praktijk wordt gerekend met waarden voor de cotangens die zijn afgerond op één decimaal. De steilste taludhelling waarbij het resultaat van STEENTOETS stabiel is, is de helling tot waar het talud minimaal moet worden verflauwd om de beschikbare elementen op het ontwerpvlak toe te kunnen passen. Vanzelfsprekend moet hierbij rekening worden gehouden met de benodigde toleranties, zie paragraaf 15.2.

N.B.

De taludhelling is een belangrijke parameter bij de bepaling van de benodigde kruinhoogte. Bij ontwerpvarianten met verandering van de taludhelling moet worden gecontroleerd of dit invloed heeft op de benodigde kruinhoogte.

4.4.3 Standaardelementen op granulaire laag - nieuw aan te voeren

Rekenmethode

De weerstand tegen toplaaginstabiliteit kan ook in dit geval worden berekend met de analytische methode die is verwerkt in het computerprogramma STEENTOETS. Constructief is er geen verschil met 'hergebruik', maar voor de bepaling van de toepasbaarheid is wel een andere procedure nodig.

In geval van nieuw aan te leveren elementen kunnen de materiaaleigenschappen (elementhoogte en dichtheid) door de ontwerper worden gekozen, binnen de grenzen van de

leverbaarheid. In de praktijk zijn nieuw aan te leveren standaardelementen bijna altijd betonzuilen. De tekst in deze paragraaf is daarop gebaseerd, maar het principe van de rekenprocedure is ook toepasbaar voor een andere soort steenzetting die leverbaar is met verschillende combinaties van elementhoogte en dichtheid.

Berekening kleinste toplaagdikte per dichtheid

Uitgangspunt van de rekenprocedure is dat de zwaarst leverbare betonzuilen in het hele ontwerpvak toepasbaar zijn. Als dit niet het geval is, kan met de rekenprocedures uit §4.4.3 worden bepaald op welk deel van het ontwerpvak de zwaarst leverbare elementen wél technisch toepasbaar zijn.

Het resultaat van de rekenprocedure in deze paragraaf is een overzicht voor elk ontwerpvak van de lichtste betonzuilen (ten aanzien van zuilhoogte én dichtheid) die technisch toepasbaar zijn.

Meestal neemt de golfhoogte af met het waterstandsniveau. Elke strook die binnen een ontwerpvak wordt onderscheiden, wordt ontworpen op de zwaarst belaste steen. Een gedetailleerde verdeling in ontwerpstroken kan dus leiden tot een efficiënter ontwerp, maar daartegenover staan uitvoeringstechnische nadelen (en toename van het ontwerpwerk). In de praktijk zullen niet meer dan twee of drie stroken binnen één ontwerpvak worden toegepast. Daarbij wordt opgemerkt dat de bovenste strook vaak een groot deel van het talud in beslag zal nemen. De zwaarst belaste steen bevindt zich op enige afstand onder de maatgevende hoogwaterstand en de grens voor toepassing van een lichter zuiltype bevindt zich weer op enige afstand daaronder, waar de golfbelasting lichter is. De rekenprocedure moet apart worden doorlopen voor elke strook (in de praktijk maximaal drie).

Rekenprocedure:

1. Neem de golfvoorwaarden die horen bij de ontwerpstrook;
2. Neem de ontwerpwaarde voor de open ruimte (paragraaf 16.4) en voor de kenmerken van de granulaire laag (paragraaf 16.7, 16.8 en 16.9);
3. Neem de ontwerpwaarde voor de cotangens van de ontwerphelling (paragraaf 15.2);
4. Kies het type overgangsconstructie en het niveau ten opzichte van NAP;
5. Bepaal voor alle praktisch leverbare waarden voor de dichtheid de kleinste mogelijke zuilhoogtes; bij de dichtheid kan worden gewerkt met stappen van 50 à 100 kg/m³ en bij de zuilhoogte met stappen van 5 centimeter. Eind 2011 waren dichtheden van 2300 tot 2900 kg/m³ en zuilhoogtes van 15 tot 50 centimeter leverbaar (zie paragraaf 16.1 en 16.3). Werkwijze voor elke waarde van de dichtheid:
 - 5a. Kies een waarde voor de zuilhoogte.
 - 5b. Controleer of het resultaat van STEENTOETS bij deze invoerwaarden stabiel is.
 - 5c. Zo nee: kies een grotere zuilhoogte en voer stap 5b opnieuw uit; zo ja: de laatste gebruikte zuilhoogte is de kleinste toepasbare in combinatie met de gebruikte waarde voor de dichtheid.

Vanzelfsprekend kan stap 4 ook andersom worden ingestoken: eerst een zuilhoogte kiezen en vervolgens de bijbehorende kleinste mogelijke dichtheid bepalen.

Deze werkwijze leidt voor elk bekledingsvak tot een aantal mogelijke combinaties van dichtheid en zuilhoogte. Bij de range van betonzuilypen die eind 2010 leverbaar was, zijn in de praktijk twee of drie combinaties met ongeveer dezelfde toplaagstabiliteit mogelijk, omdat bij kleinere en grotere zuilhoogte de benodigde dichtheid niet leverbaar is. Bijvoorbeeld:

- Zuilhoogte 0,30 meter, dichtheid 2300 kg/m³;
- Zuilhoogte 0,25 meter, dichtheid 2550 kg/m³;

- Zuilhoogte 0,20 meter, dichtheid 2900 kg/m³.

Het is in principe mogelijk om andere ontwerpparameters te veranderen om een bepaald zuiltype toe te kunnen passen (taludhelling, eigenschappen granulaire laag, openruimtepercentage).

Afweging tussen verschillende combinaties van zuilhoogte en dichtheid
 Voor de afweging tussen de verschillende toepasbare combinaties van zuilhoogte en dichtheid gelden vooral kosten, uitvoeringsaspecten en beheersaspecten als criteria. Voor elke ontwerpstrook gaat het om een afweging tussen hoge zuilen met kleine dichtheid en lage zuilen met grote dichtheid.

De kosten van de verschillende combinaties worden in de eerste plaats bepaald door de beschikbaarheid op de markt; die varieert zo sterk dat de ene keer hoge zuilen met kleine dichtheid en de andere keer lage zuilen met grote dichtheid goedkoper zullen zijn. Wellicht worden de kosten in het algemeen iets sterker bepaald door de dichtheid dan door de zuilhoogte, zodat een hoge zuil met kleine dichtheid gemiddeld iets goedkoper zal zijn. Toepassing van standaardbeton (met een dichtheid van 2300 of 2400 kg/m³) lijkt relatief gunstig omdat de toevoeging van zware toeslagmaterialen relatief duur is.

Ten aanzien van de uitvoering is het vooral van belang zo weinig mogelijk verschillende zuiltypen binnen één werk toe te passen. Dit heeft invloed op het aantal stroken dat binnen één vak wordt onderscheiden, maar het kan ook leiden tot een keuze voor (beperkte) overdimensionering van de toplaag zodat hetzelfde type kan worden toegepast als in een aansluitend ontwerpvlak of een aansluitende strook. Voor het beheer is het eveneens gunstig als er weinig verschillende typen worden toegepast. Als toch wordt gekozen voor verschillende typen is het verstandig om te kiezen voor zuiltypen die visueel te onderscheiden zijn. Met het oog op de weerstand tegen afschuiving kan het gunstiger zijn om lage zuilen met hoge dichtheid te kiezen; deze bieden evenveel toplaagstabiliteit, maar bij gelijkblijvende bovenkant kan een dikkere kleilaag worden gehandhaafd en dat is gunstig voor de weerstand tegen afschuiving (zie paragraaf 4.7).

- 4.5 Dimensionering op toplaaginstabiliteit - aanverwante bekledingstypen
 In deze paragraaf worden de aanverwante bekledingstypen op dezelfde manier behandeld als de standaardsteenzettingen in de voorgaande paragrafen. Voor elk van de typen wordt een stapsgewijze rekenprocedure beschreven voor de bepaling van de technische toepasbaarheid met het oog op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit. Het rekenwerk zelf is daarin vaak niet meer dan één van de stappen. In dit hoofdstuk wordt het rekenwerk niet in detail behandeld; in de rekenprocedure wordt verwezen naar de bijbehorende rekenmethodes en -gereedschappen.

4.5.1 *Steenzettingen met afstandhouders*

Steenzettingen met afstandhouders zijn toegepast, omdat de vergroting van de toplaagdoorlatendheid voor toename van de stabiliteit van de toplaagelementen zorgt. Voor dit bekledingstype gelden normaal gesproken exact dezelfde rekenregels als voor standaardsteenzettingen. Alleen de bepaling van de rekenwaarde van de open ruimte is afwijkend, zie paragraaf 16.4.

Een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp is dat de afstandhouders ook onder maatgevende omstandigheden hun functie moeten blijven vervullen. Ze mogen bijvoorbeeld niet uitspoelen. In de praktijk is gebleken dat dit alleen mogelijk is als daarvoor speciale voorzieningen zijn getroffen, bijvoorbeeld in de vormgeving van de afstandhouders.

Afstandhouders zijn toegepast bij hergebruik van rechthoekige betonblokken. Een tweede aandachtspunt is de levensduur van de afstandhouders: de afstandhouders moeten hun functie blijven vervullen gedurende de beoogde levensduur. Omdat ook tijdens de uitvoering de afstandhouders extra handelingen vereisen, valt dit type constructie al snel af als onaantrekkelijk alternatief.

4.5.2 *Blokkenmatten*

In paragraaf 13.2 is aangegeven dat blokkenmatten ongeveer 10% extra stabiliteit ontleen aan de onderlinge verbinding tussen de elementen. Bij het ontwerp van blokkenmatten worden dezelfde rekenregels toegepast als bij niet gekoppelde toplaagelementen, waarbij apart 10% extra stabiliteit in rekening wordt gebracht. Dit kan worden gedaan door te rekenen met een 10% grotere elementhoogte D .

De rekenprocedure met betrekking tot het faalmechanisme toplaaginstabiliteit hangt af van de vraag of onder de blokkenmat een granulaire laag aanwezig is. Voor blokkenmatten zonder geokunststof op een granulaire laag, zie §4.4.3.

Voor het bijzondere geval dat langsstroming relevant is, is de algemene dimensioneringsregel voor toplaaginstabiliteit onder langsstroming van belang:

$$\Delta D \geq 0,44 \frac{u^2}{g}$$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid toplaagelementen $(\rho_t - \rho_w)/\rho_w$	[-]
D	=	dikte toplaag (= hoogte toplaagelementen)	[m]
u	=	diepte-gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de teen	[m/s]
g	=	zwaartekrachtsversnelling	[m/s]

Hierbij kan rekening worden gehouden met 10% extra stabiliteit.

4.5.3 *Doorgroeistenen*

Doorgroeistenen (grasbetonstenen) worden enkel toepast bij een uitdrukkelijke wens van de beheerder. Voorlopig wordt aangenomen dat doorgroeistenen onder hydraulische belasting even stabiel zijn als de hoger op de dijk aanwezige grasbekleding.

Verdere aandachtspunten bij het ontwerp van doorgroeistenen zijn:

- Doorgroeistenen moeten niet onnodig worden toegepast, maar alleen daar waar het vanuit het beheer nuttig is;
- Op de overgang van doorgroeistenen naar gras moet geen betonbandje of palenrij toegepast worden;
- Bij de uitvoering moet er nadrukkelijk op gelet worden dat het inwasmateriaal (steenslag) van de aangrenzende steenzetting niet in de gaten van de doorgroeistenen komt, omdat dit later de kwaliteit van het gras nadelig beïnvloedt.

4.5.4 *Ingegoten steenzetting*

Een ingegoten steenzetting bezwijkt op een andere manier dan een niet-ingegoten steenzetting. Er is sprake van een langzame aftakeling waarin meerdere fasen te onderscheiden zijn. In een eerste fase leiden grote golfsterugtrekkingen tot kortstondig opdrijven van de toplaag, waardoor golfklappen scheuren kunnen veroorzaken in de toplaag.

Naarmate het aantal scheuren toeneemt, neemt de sterkte van de toplaag af. Tegelijkertijd neemt de doorlatendheid toe, maar deze kan de sterkte-afname onvoldoende compenseren waardoor de toplaag steeds meer gaat vervormen en het filter gaat migreren. Op een gegeven moment is de bekleding zodanig vervormd en beschadigd dat ze bij een grote golfterugtrekking of golfklap over een oppervlakte van meerdere zuilen bezwijkt. Er is niet uitgebreid onderzocht hoe de bekledingseigenschappen en de golfparameters het bezwijkproces en de sterkte van een ingegoten steenzetting beïnvloeden. De sterkte wordt berekend met een empirische formule die opgenomen is in STEENTOETS.

Controle toplaagdikte

Omdat de toplaagdikte al vastligt, bestaat het ontwerp uit het controleren of de aanwezige zuilenzetting voldoende sterk wordt als ze goed met gietasfalt wordt ingegoten. Deze controleberekening wordt uitgevoerd met STEENTOETS. Daarbij zijn er de volgende aandachtspunten:

1. Om de bekleding te berekenen als een goed ingegoten steenzetting wordt een ingietingsdiepte ingevoerd die groter is dan de helft van de toplaagdikte, met een minimum van 0,1 meter;
2. Voor het berekenen van de stabiliteit is de te verwachte waarde van Valgewicht-deflectiemetingen (VGD-metingen) nodig. Als men daar geen inschatting van kan maken, wordt aanbevolen een conservatieve waarde te gebruiken van 1 GPa.
3. Standaard wordt in het ontwerp een veiligheidsfactor van 1,1 toegepast alhoewel er iets minder onzekerheden zijn dan bij een geheel nieuwe steenzetting.

4.5.5 *Overlaging met breuksteen*

Het overlagen van een steenzetting met breuksteen wordt in het deel Breuksteenbekledingen van deze Handreiking [33] behandeld. Het overlagen van een steenzetting met een gepenetreerde breuksteen bekleding wordt behandeld in §4.1.3 van het deel Asfaltbekledingen van deze Handreiking [32].

4.5.6 *Steenzettingen met ruwheidselementen*

Toplagen met ruwheidselementen, zie Figuur 4-1, komen in bijzondere gevallen in aanmerking voor ontwerp als het nodig is om de golfoploop te verkleinen. De krachten van het water op de uitsteeksels zorgen voor een bijzondere belastingssituatie die niet is verwerkt in de rekenregels voor standaardsteenzettingen: het kantelen en wrikken van de elementen. Dit geldt overigens ook voor andere uitsteeksels, bijvoorbeeld bij onregelmatige toplaagelementen die op een vlakke granulaire laag zijn geplaatst. Voor de berekening van de golfoploop wordt verwezen naar Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [9] danwel EurOtop - Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual [35]. In deze paragraaf wordt besproken hoe in het ontwerp met dit type steenzettingen moet worden omgegaan.

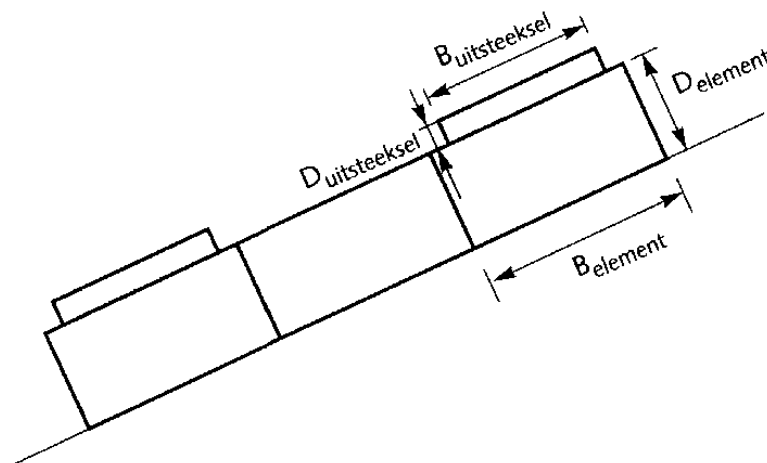
Voor de dimensionering op toplaaginstabiliteit van steenzettingen met ruwheidselementen geldt exact dezelfde rekenprocedure als voor steenzettingen zonder ruwheidselementen (zie paragraaf 4.4), mits de bedekkingsgraad en de grootte van de uitsteeksels binnen bepaalde grenzen liggen. Buiten deze grenzen is het nodig om specialisten in te schakelen voor het ontwerp.



Figuur 4-1: Glooiing met ruwheidselementen13-12

Aan de hand van modelproeven is geconstateerd dat de regels van standaardsteenzettingen in bepaalde gevallen toepasbaar zijn. De toepasbaarheidsvoorwaarden zijn dus gerelateerd aan de omstandigheden waarbij de modelproeven zijn uitgevoerd. De voorwaarden zijn als volgt:

- De dikte van de uitsteeksels (D_{uitsteeksel}) moet kleiner zijn dan 1/3 van de breedte van de elementen (B_{element}, zie Figuur 4-2);
- De bedekkingsgraad is maximaal 25%, regelmatig verdeeld over het bekledingsoppervlak (dus maximaal één ruwheidselement per vier stenen);
- De ruwheidselementen mogen niet een doorgaande lijn vormen in lengterichting van de dijk.



Figuur 4-2: Definitie breedte en dikte bij ruwheidselementen

Als aan deze voorwaarden wordt voldaan kunnen de rekenprocedures en -regels van paragraaf 4.4 worden gebruikt. In de berekeningen moet in dat geval geen rekening worden gehouden met de extra toplaagdikte.

Een 'schaakbord' met vakken van de orde 1 m² is een goede toepassing voor het toepassen van ruwheidselementen. Hierbij dient elke op 1 m² een andere zuilhoogte toegepast te worden.

4.6 Samenstellen dwarsprofielvarianten

Na de bepaling van de technische toepasbaarheid bestaat een volledig beeld van de bekledingstypen die in aanmerking komen voor elk gedeelte van het projectgebied (de ontwerpvlakken en alle stroken daarbinnen). Tot aan dit stadium zijn alleen ja/nee-afwegingen gemaakt: voor elke locatie staat vast welke bekledingstypen al dan niet toepasbaar zijn. Op basis daarvan kunnen varianten worden samengesteld; die stap wordt in deze paragraaf behandeld. De afweging en keuze tussen deze varianten vindt later in het proces plaats op basis van plus/min-afwegingen (zie paragraaf 3.5).

De eerste stap is het maken van een tabel waarin voor elk ontwerpvlak is aangegeven welke bekledingstypen in aanmerking komen, als samenvatting van de voorselectie in de voorgaande stappen van het ontwerpproces (§4.6.1). In aanvulling daarop moet in dit stadium de precieze beschikbaarheid van toplaagelementen in beeld worden gebracht, voor zover sprake is van hergebruik (§4.6.2). In de praktijk wordt de afweging vaak niet gemaakt op basis van een abstracte tabel van bekledingstypen, maar wordt per ontwerpvlak een beperkt aantal dwarsprofielen samengesteld en uitgewerkt (§4.6.3). Deze dwarsprofielen moeten in ieder geval constructief in orde zijn; in de stap hierna wordt daarom ook de controle op afschuiving uitgevoerd, inclusief eventuele terugkoppeling met de andere faalmechanismen (STEENTOETS).

4.6.1 *Samenvatten toepasbare bekledingen in overzichtstabel*

In de praktijk is het vaak nuttig om alle informatie uit de voorgaande selectiestappen te ordenen in een eenvoudige overzichtstabel. Vanzelfsprekend is dit alleen nodig als er sprake is van meerdere ontwerpvlakken waarvoor meerdere bekledingstypen in aanmerking komen.

Elk ontwerpvlak wordt verdeeld in de stroken die volgen uit de berekeningen van de technische toepasbaarheid. Per strook wordt aangegeven welke bekledingstypen toepasbaar zijn. Als één of enkele van deze bekledingstypen beperkt beschikbaar zijn (in geval van hergebruik) is het tevens van belang om in deze overzichtstabel de te bekleden oppervlakte in m² op te nemen, zie ook §4.6.2.

4.6.2 *Beschikbaarheid van toplaagelementen*

Dit aspect is alleen van belang bij hergebruik: nieuw aan te voeren bekledingstypen zijn in voldoende mate beschikbaar. In de voorselectie (paragraaf 5.1) is al voor elk bekledingstype vastgesteld óf het beschikbaar is voor het projectgebied. In deze stap moet worden vastgesteld hoeveel van elk bekledingstype beschikbaar is.

Mogelijke bronnen van bekledingstypen

Bekledingselementen voor hergebruik kunnen beschikbaar zijn vanuit drie bronnen. Allereerst komen de elementen van eventuele als 'onvoldoende' beoordeelde bekledingen in hetzelfde dijkvak in aanmerking. De afmetingen en hoeveelheden zijn bekend vanuit de toetsing. Daarnaast kan worden gekeken naar als 'onvoldoende' beoordeelde bekledingen van gelijktijdig te verbeteren trajecten. Tenslotte kunnen elementen beschikbaar zijn in depots, bijvoorbeeld van eerder verbeterde dijkvakken eventueel in andere projecten. De beschikbare hoeveelheid en afmetingen kunnen worden nagegaan bij de contactpersonen van de betreffende projecten of bij de beheerders van de depots.

Overzicht van hoeveelheden en eigenschappen

De ontwerper moet in dit stadium een overzicht maken van de beschikbare hoeveelheid per type en van de belangrijkste constructieve eigenschappen: zuilhoogte en eventueel dichtheid. De beschikbare hoeveelheid kan het beste worden uitgedrukt in de bekleedbare oppervlakte (in m²). Dit is vooral van belang bij elementen die in gekantelde vorm kunnen worden toegepast, waarbij de constructiedikte groter, maar de bekleedbare oppervlakte kleiner wordt. Het is belangrijk om dit goed vast te leggen, omdat hierover makkelijk verwarring kan ontstaan. Een overzicht kan bijvoorbeeld worden gemaakt zoals in Tabel 4-1.

Tabel 4-1: Voorbeeldtabel beschikbaarheid

Type	afmetingen [m]	Oppervlakte [m ²]	oppervlakte in gekantelde vorm [m ²]
vlakke betonblokken	0,5×0,5×0,2	3400	1360
	0,5×0,5×0,25	16880	8440
basaltzuilen	gem. 0,25	270	

Uitval bij hergebruik

Bij hergebruik van betonelementen moet rekening worden gehouden met enig verlies ten opzichte van het oppervlak dat op de oorspronkelijke locatie werd bekleed. De levensduur van betonelementen is beperkt: op basis van visuele inspectie en eventueel tests van dichtheid, drukvastheid en slijtweerstand kan worden besloten dat een deel van de elementen niet kan worden hergebruikt als steenzetting. In de praktijk treedt bovendien bij verwijdering, transport en herplaatsing van bestaande betonelementen altijd enig verlies op. Voor dit laatste moet rekening worden gehouden met 1 à 2% verlies.

- Bij elementen van basalt en graniet treedt minder beschadiging op en de levensduur van het materiaal is normaal gesproken zo groot dat bijna alle elementen geschikt zijn voor hergebruik. Een uitzondering is het verschijnsel 'zonnebrand': incidentele basaltzuilen die in de loop van de tijd sterk verweren. Daarnaast moet rekening worden gehouden met het feit dat elementen met asfaltvervuiling niet geschikt zijn voor hergebruik in een steenzetting.
- Bij handmatig zetwerk kan het ook gebeuren dat juist de zwaardere elementen worden uitgeleeselecteerd omdat ze minder handelbaar zijn.

Soms kan het zinnig zijn om ook transportafstanden in het overzicht op te nemen: die hebben een relatie met de criteria kosten en misschien ook met milieutechnische toepasbaarheid, en kunnen dus de afweging beïnvloeden.

4.6.3 Samenstellen van dwarsprofielen

Op basis van de beschikbare informatie kunnen dwarsprofielen worden samengesteld van mogelijke varianten van de bekleding. In de praktijk is dit vaak een belangrijke stap in het ontwerpproces: de resulterende dwarsprofielen maken goed zichtbaar welke afweging moet worden gemaakt.

In een projectgebied met meerdere ontwerpvakken en meerdere mogelijke bekledingstypen kunnen de eventuele voor hergebruik beschikbare elementen op verschillende manieren over het projectgebied worden verdeeld. In zo'n geval is het belangrijk om varianten te ontwikkelen voor deze verdeling. De afweging en keuze van de bekledingstypen moet dan niet alleen voor elk ontwerpvak, maar ook op integrale wijze voor het hele projectgebied worden gemaakt.

In de praktijk worden voor elk ontwerpvak niet meer dan twee of drie dwarsprofielen ontwikkeld. Een groter aantal blijkt meestal niet nodig en is ook niet praktisch, omdat elk dwarsprofiel moet worden gecontroleerd op afschuiving en moet worden getekend. Feitelijk vindt hier al een eerste afweging van de varianten plaats, volgens de criteria die besproken worden in paragraaf 3.5.

Voor alle steenzettingen in de dwarsprofielen geldt dat indien mogelijk tussen de toplaagelementen voegvulling wordt aangebracht om wrijving en/of klemming tussen de toplaagelementen te bevorderen. De sortering en de hoeveelheid van de inwassing hangen af van het toplaagtype (zie paragraaf 13.1). Zoals besproken in §13.2.2 wordt het inwasmateriaal niet expliciet in de berekeningen betrokken.

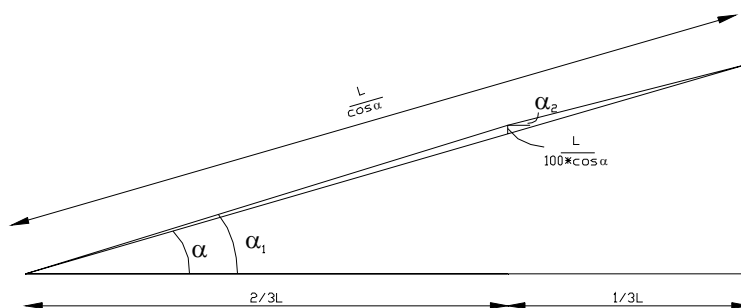
4.6.4 Verwerking tonrondte

Bij het aanbrengen van een nieuwe steenzetting over grote hoogte (bijvoorbeeld het hele buitentalud onder de berm van een dijk), wordt in de praktijk vaak gewerkt met een zogenaamde tonrondte. Dat betekent dat de bekleding in een convexe (bolronde) vorm wordt aangebracht.

Het aanbrengen van een tonrondte komt meestal voort uit de wens van een beheerder. De tonrondte zorgt ervoor dat de helling bovenin het talud flauwer en onderin het talud steiler is dan de gemiddelde helling. Dit heeft het visuele effect dat het talud over de gehele hoogte dezelfde helling lijkt te hebben. In deze paragraaf wordt onderbouwd op welke manier deze afwijking kan worden verwerkt in de rekenmethode.

Bij de aanleg van een steenzetting wordt meestal een tonrondte van de volgende vorm toegepast:

Op 2/3 van het talud vanaf de teen wordt de bekleding 0,7% tot 1,0% van de taludlengte hoger aangelegd dan de rechte lijn tussen onder- en bovenrand van het talud. In het IJsselmeergebied wordt overwegend de waarde van 0,7% aangehouden, voor Zeeland wordt een waarde van 1,0% gebruikt. Tussen deze drie punten wordt de bekleding in een gebogen vorm aangebracht, zie Figuur 4-3.



Figuur 4-3: Definities tonrondte

Voor de rekenregels kan de gebogen vorm worden geschematiseerd als een geknikte lijn. De invloed van de tonrondte is het verschil tussen de geschematiseerde hellingen α_1 en α_2 enerzijds en de gemiddelde helling α anderzijds, uitgedrukt in de cotangens. Deze invloed hangt af van de gemiddelde helling: hoe flauwer de helling, hoe groter de absolute invloed op de cotangens.

Op grond van de goniometrie kunnen de volgende relaties worden afgeleid:

Zeeland (1,0%)	IJsselmeer (0,7%)
$\tan \alpha_1 = \tan \alpha + \frac{3}{200 \cos \alpha}$	$\tan \alpha_1 = \tan \alpha + \frac{2,1}{200 \cos \alpha}$
$\tan \alpha_2 = \tan \alpha - \frac{3}{100 \cos \alpha}$	$\tan \alpha_2 = \tan \alpha - \frac{2,1}{100 \cos \alpha}$

De invloed op de cotangens (de parameter die meestal wordt gebruikt in de rekenregels) is voor een aantal gevallen uitgewerkt in Tabel 4-2 en Tabel 4-3.

Tabel 4-2: Invloed van tonrondte op de taludhelling (Zeeland)

parameter	gemiddelde taludhelling				
	1:2½	1:3	1:3½	1:4	1:4½
onderste 2/3 deel van het talud:					
-taludhelling	2,40	2,86	3,32	3,77	4,21
-absolute verandering	-0,10	-0,14	-0,18	-0,23	-0,29
-relatieve verandering	-4%	-5%	-5%	-6%	-6%
bovenste 1/3 deel van het talud:					
-taludhelling	2,72	3,31	3,93	4,56	5,22
-absolute verandering	+0,22	+0,31	+0,43	+0,56	+0,72
-relatieve verandering	+9%	+10%	+12%	+14%	+16%

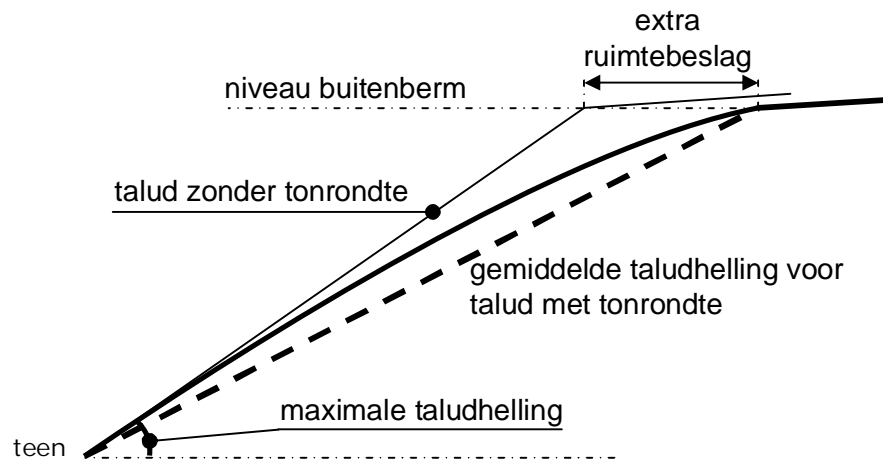
Tabel 4-3: Invloed van tonrondte op de taludhelling (IJsselmeer)

parameter	gemiddelde taludhelling				
	1:2½	1:3	1:3½	1:4	1:4½
onderste 2/3 deel van het talud:					
-taludhelling	2,43	2,90	3,37	3,83	4,29
-absolute verandering	-0,07	-0,10	-0,13	-0,17	-0,21
-relatieve verandering	-3%	-3%	-4%	-4%	-5%
bovenste 1/3 deel van het talud:					
-taludhelling	2,65	3,21	3,79	4,38	4,98
-absolute verandering	+0,15	+0,21	+0,29	+0,38	+0,48
-relatieve verandering	+6%	+7%	+8%	+9%	+11%

Bij het werkelijke gebogen profiel is de invloed van de tonrondte op de helling kleiner in de buurt van het midden en groter bij de boven- en ondergrens van het talud.

Omdat een steiler talud ongunstig is voor de toplaagstabiliteit, leidt tonrondte tot een wat grotere benodigde toplaagdikte.

Als er grenzen worden gesteld aan de steilste taludhelling, dan kan het gebruik van een tonrondte ertoe leiden dat de gemiddelde taludhelling geringer moet worden. Het ruimtebeslag van de dijk wordt daardoor groter, zie Figuur 4-4. Voor een 20 meter lang talud van 1 : 3 kan dit tot een ca. 1 meter bredere dijk leiden. Als er onvoldoende breedte beschikbaar is, kan ervoor gekozen worden om de glooiing zonder tonrondte aan te brengen.



Figuur 4-4: Principeschets met betrekking tot extra ruimtebeslag bij tonrondte als de taludhelling is gelimiteerd. De tonrondte is in deze figuur sterk overdreven om het principe beter zichtbaar te maken.

4.6.5 *Omgaan met tonrondte in de dimensionering*

In de ontwerp praktijk moet per geval of per project worden besloten hoe met de invloed van de tonrondte wordt omgegaan. Een praktische keuze kan zijn om voor de onderste helft te rekenen met een versteiling van 0,2 (dus een verkleining van de cotangens met 0,2) en voor de bovenste helft geen rekening te houden met de tonrondte, waardoor deze als extra veiligheid in het ontwerp wordt verwerkt. Om rekening te houden met de onzekerheid in de taludhelling is het overigens gebruikelijk om al te rekenen met een versteiling van 0,2. Voor de onderste helft van het talud wordt daarom gerekend met een versteiling van 0,4 en voor de bovenste helft met de 0,2 vanwege de onzekerheid in de uitvoering. Per saldo kan toepassen van de tonrondte in het ontwerp tot een grotere toplaagdikte leiden.

4.7 Weerstand tegen afschuiving

De dwarsprofielen zoals beschreven in paragraaf 4.6 voldoen allemaal aan de eisen vanuit de faalmechanismen toplaaginstabiliteit en materiaaltransport, maar moeten nog worden gecontroleerd op het faalmechanisme afschuiving. In deze paragraaf worden de rekenregels voor deze controle gegeven en wordt een opsomming gegeven van de maatregelen die kunnen worden getroffen als de weerstand tegen afschuiving onvoldoende is.

4.7.1 *Controle op afschuiving*

Het mechanisme afschuiving kan eenvoudig gecontroleerd worden met STEENTOETS.

In sommige gevallen is de kleilaag van belang voor het voorkomen van macro-instabiliteit. Deze kwestie is vooral van belang als het ontwerp van een nieuwe steenzetting tot een dunnere kleilaag zou leiden. In de praktijk wordt om deze reden soms een minimale

kleilaagdikte van 0,8 meter geëist. Aanbevolen wordt om in voorkomende gevallen te berekenen of de dunnere kleilaag leidt tot een ongunstiger freatische lijn. Als dat het geval is, moet het ontwerp daarop worden aangepast. Het herstellen van de kleilaagdikte is een mogelijke maatregel, maar er zijn verschillende andere mogelijkheden: aanbrengen van een folie, drainageconstructie in de binnenteen, verflauwen van het binnentalud, aanbrengen van een stabiliteitsberm, et cetera.

4.7.2 *Maatregelen tegen afschuiving*

De weerstand tegen afschuiving kan worden verbeterd door het pakket van top laag, granulaire laag, eventuele granulaire aanvulling en kleilaag zwaarder te maken. Hiervoor bestaan de volgende praktische oplossingen:

- Bestaande kleilaag of granulaire aanvulling afgraven en dikkere laag aanbrengen; hierbij kan de taludhelling worden gehandhaafd;
- Bestaande kleilaag of granulaire aanvulling aan de bovenkant aanvullen; dit leidt tot een verandering van de taludhelling en/of verplaatsing van de teen en de berm;
- Lagere top laagelementen met een grotere dichtheid kiezen; als de bovenkant van de top laag niet wordt aangepast, hoeft voor het inpassen van de nieuwe bekleding in dat geval minder klei te worden afgegraven; de overblijvende kleilaag is dikker, dus zwaarder, terwijl het gewicht van de top laag niet verandert;
- Top laagelementen toepassen met grotere hoogte en dichtheid dan nodig uit het oogpunt van top laaginstabiliteit. In de meeste gevallen is het niet nodig om deze dure oplossing te kiezen.

Als uit de controle op afschuiving blijkt dat de constructie moet worden aangepast, is in bepaalde gevallen een terugkoppeling nodig naar de rekenmethodiek van de andere faalmechanismen:

- Als er iets verandert aan de ondergrond (basismateriaal of granulaire aanvulling) of aan een eventueel granulair filter, moet de constructie opnieuw worden gecontroleerd op materiaaltransport, volgens de methodes in paragraaf 4.3;
- Als er iets verandert aan de top laag of aan dikte of doorlatendheid van de granulaire laag, moet de constructie opnieuw worden gecontroleerd op top laaginstabiliteit. Dit wordt gedaan met STEENTOETS.

In de praktijk is dit overigens niet zozeer een stapsgewijs proces, maar houdt de ontwerper rekening met materiaaltransport en top laaginstabiliteit bij het kiezen van de principe-oplossing voor een eventueel probleem met afschuiving.

4.8 Overige constructies

In deze paragraaf staan de afweging, keuze en uitwerking van de constructieonderdelen anders dan de bekleding van het buitentalud onder ontwerppeil centraal. Elk constructieonderdeel wordt in een aparte subparagraaf behandeld, met daarbinnen de afweging en keuze van varianten en de dimensionering.

4.8.1 *Teenbestorting*

De teenbestorting ondersteunt de teenconstructie en in morfologisch actieve gebieden beschermt de teen tegen erosie.

De twee belangrijkste varianten zijn bestortingen van losgestorte steen en bestortingen van gedeeltelijk of patroon-gepenetreerde steen. Het ontwerp van deze teenbestortingen is respectievelijk opgenomen in het deel Breuksteenbekledingen [33] en het deel Asfaltbekledingen [32] van deze Handreiking.

4.8.2 *Teenconstructie*

Algemeen

De eisen aan de teenconstructie worden sterk bepaald door de locatie, de aansluitende bekleding en/of de vooroever. Algemeen geldt dat de teenconstructie goed moet worden gefundeerd, dat de bovenliggende steenzetting er goed tegenaan moet kunnen worden gezet en dat de teenconstructie grond dicht is. Daarom bevatten teenconstructies meestal een diepstekend funderingselement en een rechthoekig vlak element waar de steenzetting tegenaan wordt geplaatst. De belangrijkste typen teenconstructies zijn schotten ondersteund door palen, prefab betonconstructies en damwanden. Voor de grond dichtheid wordt vaak een geokunststof gebruikt.

Ontwerpprocedure

Alleen een bekleding van blokkenmatten wordt bovenaan de bekleding verankerd.

Als er een teenconstructie nodig is, wordt eerst de hoogteligging bepaald. Vervolgens wordt het type teenconstructie gekozen. Tenslotte worden de afmetingen bepaald.

Bepaling niveau teenconstructie

Een teenconstructie die bijna altijd onder de waterspiegel ligt is ongunstig voor de uitvoering en voor het beheer. In getijgebied wordt de bovenkant van de teenconstructie in het algemeen niet lager dan ongeveer 0,5 meter boven de laagwaterstand aangebracht. Als de teenconstructie houten onderdelen bevat, is een ligging onder water overigens juist gunstig, uit het oogpunt van levensduur.

Bij een hoog, stabiel voorland (bij zeedijken boven de getijzone) kan de bovenkant van de teenconstructie op maaiveldniveau worden aangelegd. Het is mogelijk dat diep onder het maaiveld nog een oude teenconstructie ligt, die is aangebracht toen het voorland nog veel lager lag. Het is vaak ongewenst en ook niet noodzakelijk om zo'n oude teenconstructie te verwijderen of te vervangen. Rond maaiveldniveau kan een nieuwe teenconstructie worden aangebracht (eventueel met teenbestorting). Lager gelegen constructieonderdelen kunnen onder de grond blijven, voor zover ze de uitvoering niet hinderen. In het algemeen heeft het de voorkeur om het voorland zoveel mogelijk 'ongerodert' te laten.

Bij vervanging van een steenzetting kunnen de teenbestorting en de teenconstructie nog in goede staat zijn. Deze hoeven dan uiteraard niet te worden vervangen.

Bij een hoog, maar eroderend voorland wordt het niveau van de teen vaak lager dan het maaiveld gekozen (orde 1 m lager). Dit om te voorkomen dat gedurende de planperiode (50 jaar) er geen uitbreiding van de constructie noodzakelijk wordt als gevolg van een voorlandverlaging.

Keuze van het type

De belangrijkste typen teenconstructies zijn schotten ondersteund door palen, prefab betonconstructies en damwanden. De keuze wordt vooral gemaakt op basis van de beschikbaarheid van materialen, lokale ervaring en kosten. De functionele levensduur van houten onderdelen is afhankelijk van de duurzaamheidsklasse. Houten onderdelen met de meest gunstige duurzaamheidsklasse, duurzaamheidsklasse 1, hebben een levensduur die langer is dan 25 jaar. Als een langere levensduur van de constructie gewenst is, komen houten onderdelen alleen in aanmerking als inspectie en vervanging mogelijk zijn. Als het teenschot een beperkte duurzaamheid heeft is het verstandig te kiezen voor een dun teenschot, wat in feite alleen in de bouwfase moet functioneren. Het dient dan in feite alleen

om de bekleding strak aan te kunnen leggen. Een dergelijk dun teenschot wordt tijdens het plaatsen van de eerste meters van de zetting gesteund door een palenrij, maar moet uiteindelijk aan de zeezijde van een afdoende bestorting worden voorzien. In een dergelijk geval kunnen de duurzaamheidseisen aan het teenschot in feite worden genegeerd: in de gebruiksfase ondersteunt de teenbestorting de zetting.

Detallering van de constructie

In het verleden zijn rekenmethodes ontwikkeld die de kracht bepalen die de steenbekleding uitoefent op de teenconstructie. Deze methodes zijn verwerkt in het computerprogramma STEENTOETS. In de praktijk wordt daarvan nauwelijks of geen gebruik gemaakt omdat het moeilijk is om de sterkte en stijfheid van teen en ondergrond te bepalen. Teenconstructies worden daarom bijna altijd ontworpen op ervaring.

De draagkracht van de teenconstructie hangt onder meer af van de grondgesteldheid. De belasting hangt af van gewicht en taludhelling van de steenbekleding die op de teenconstructie rust. Deze belasting neemt toe onder golfbelasting omdat de wrijving tussen toplaag en onderlaag dan afneemt. Bij een constructie met palen wordt de draagkracht bepaald door de lengte en de hart-op-hartafstand van de palen. In de praktijk wordt bijvoorbeeld gewerkt met 3 tot 5 palen per m¹, met een lengte van ongeveer 1,8 meter. Bij een damwand is vooral de inheidiepte van belang, bijvoorbeeld ongeveer 1,5 meter. De benodigde lengte is groter als de teenconstructie niet wordt ondersteund door een bestorting.

De teenconstructie ligt op de overgang tussen het weefsel onder de teenbestorting en de filterlaag onder de taludbekleding (geokunststof of granulair filter). Deze overgang moet zorgvuldig worden vormgegeven, om uitspoeling bij de teenconstructie te voorkomen. Voor praktijkvoorbeelden, zie Katern 4.

4.8.3 *Overgangs- en aansluitingsconstructies*

Algemeen

Een overgangsconstructie maakt de overgang tussen twee bekledingstypen mogelijk. De onderdelen die een horizontale overgangsconstructie moet bevatten, worden sterk bepaald door de lager- en hogerliggende toplaagtypen en onderlagen:

- Afhankelijk van de constructieve eigenschappen kan ter plaatse van de overgang een diepstekende betonband, een niet-diepstekende betonband of helemaal geen betonband nodig zijn;
- Als de overgang een ongunstige invloed heeft op de toplaagstabiliteit van de aansluitende steenzetting, zijn bijzondere voorzieningen nodig (penetratie of zwaardere uitvoering van de toplaag).

Behalve horizontale komen ook verticale overgangsconstructies voor. Omdat de golfaanval in werkelijkheid een drie-dimensionaal proces is, gelden voor verticale overgangen in principe dezelfde overwegingen als voor horizontale overgangen.

De aansluiting van een steenzetting op een andere constructie in het dijklichaam wordt een aansluitingsconstructie genoemd. Hiervoor geldt grotendeels dezelfde problematiek als bij overgangsconstructies. vanwege grotere opwaartse waterdruk is er grotere kans op toplaaginstabiliteit en vanwege de onderbreking van de constructie is er grotere kans op materiaaltransport (zie paragraaf 14.5). Daarom wordt in veel gevallen een strook van beperkte breedte ingegoten met gietasfalt of wordt de toplaag overgedimensioneerd. Voor

overgangs- en aansluitingsconstructies naar duinen wordt verwezen naar het Technisch Rapport Duinafslag [18].

Onderhavige paragraaf beschrijft hoe het benodigde type betonband kan worden bepaald, onder welke voorwaarden de negatieve invloed van overgangen in rekening moet worden gebracht en welke bijzondere voorziening daartegen kan worden toegepast.

Ontwerpprocedure

Eerst wordt het type betonband gekozen (stap 1). Vervolgens moet bepaald worden of voorzieningen nodig zijn (stap 2), en zo ja welke (stap 3). Dat wordt bepaald door te kijken naar de negatieve invloed die een overgang kan hebben op de toplaagstabiliteit van de omringende bekleding. Tenslotte wordt de constructie gedetailleerd (stap 4).

Stap 1: Keuze van het type betonband

Zoals besproken in de voorgaande paragraaf is ter plaatse van de overgang een diepstekende betonband, een niet-diepstekende betonband of helemaal geen betonband nodig, afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de granulaire laag en de toplaag van beide aansluitende bekledingen. Daarbij gelden de volgende overwegingen.

- Als de onderlagen van twee aansluitende bekledingen uit duidelijk verschillende materialen bestaan, zijn voorzieningen nodig om materiaaltransport tussen de granulaire lagen van de hoger- en lagergelegen bekleding te voorkomen (geotextiel).
- Als de lagerliggende toplaag niet uit rechthoekige elementen bestaat, is een rechthoekig vlak element nodig indien het gewenst is om de hogerliggende bekleding machinaal per pakket er tegenaan te plaatsen.

Op basis van deze overwegingen kan met de werkwijze in Figuur 4-5 het type betonband worden gekozen.

Stap 2: Bepaling noodzaak bijzondere voorzieningen

Als de overgangsconstructie onder ontwerppeil ligt, kan deze een ongunstige invloed hebben op de toplaagstabiliteit van de aansluitende steenzetting. Als deze invloed significant is, zijn bijzondere voorzieningen nodig (zie de volgende stap). De overgang kan een ongunstige invloed hebben wanneer bijvoorbeeld de granulaire laag door de overgangsconstructie wordt afgesloten.

Overigens wordt in de praktijk vaak zonder meer besloten om de overgang in te gieten (een bijzondere voorziening, zie de volgende stap). Door het ingieten ontstaat er een kans op overdrukken onder de bekleding. Wanneer hier zorgvuldig mee omgegaan wordt, mag zonder verder rekenwerk worden aangenomen dat de negatieve invloed van de overgang afdoende wordt gecompenseerd. In dat geval kunnen de berekeningen in deze stap dus achterwege worden gelaten.

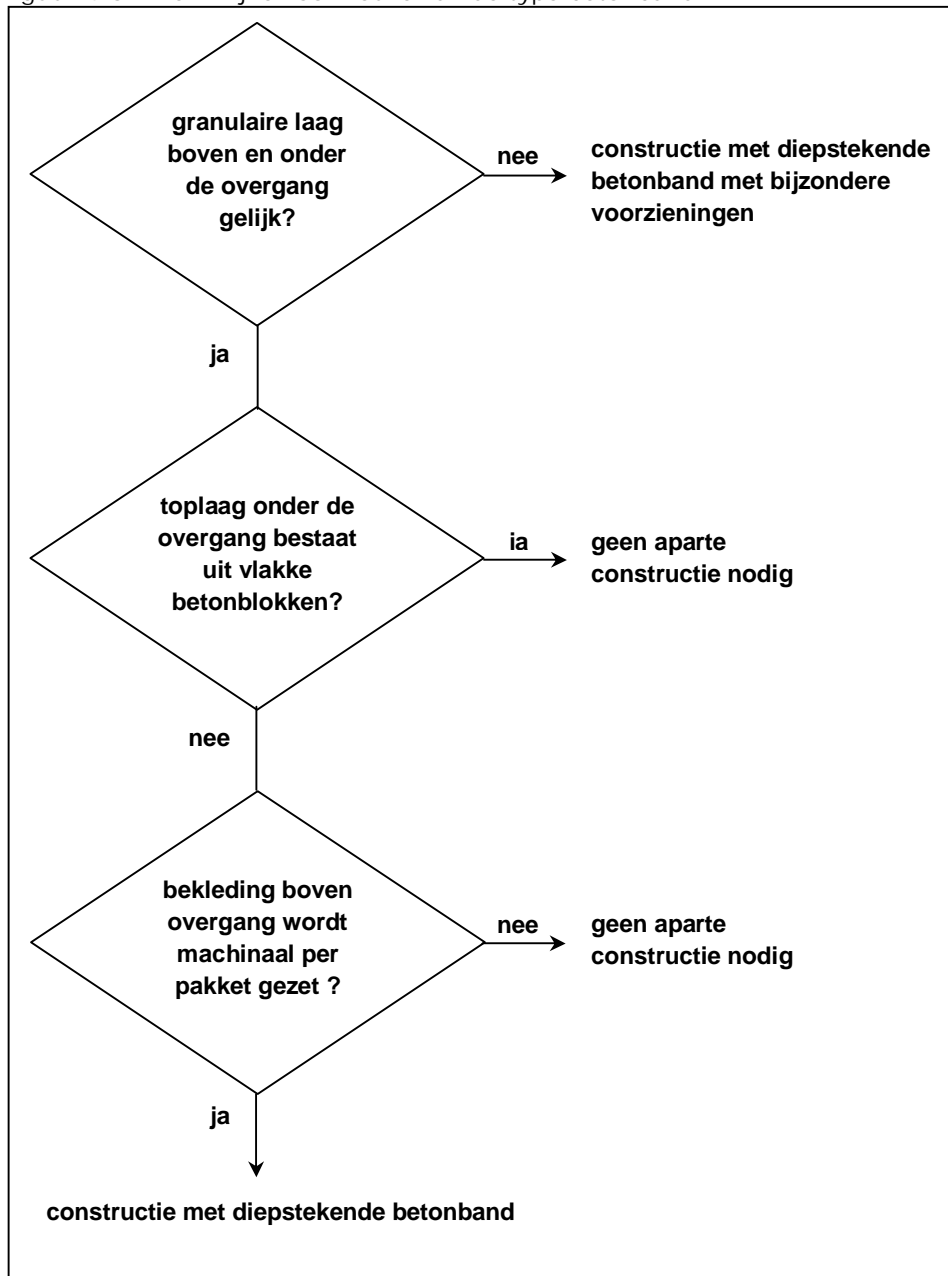
Aparte aandacht is nodig als verwacht mag worden dat de overgangsconstructie minder zal zakken dan de lagergelegen bekleding (als de betonband dieper steekt dan de toplaag eronder en deze toplaag naar verwachting zal zakken). In dat geval zijn niet direct bijzondere voorzieningen nodig, maar moet wel regelmatig inspectie worden uitgevoerd zodat eventueel maatregelen kunnen worden getroffen tegen toplaaginstabiliteit en materiaaltransport.

Afgesloten granulaire laag

De eerste oorzaak, de afgesloten granulaire laag, speelt in ieder geval een rol als in de vorige stap van het ontwerp gekozen is voor een diepstekende betonband om

materiaaltransport tussen de granulaire lagen boven en onder de overgang te voorkomen. De afsluiting van de granulaire laag leidt tot verhoging van de opwaartse waterdruk en mogelijke afname van wrijving/klemming, en daarmee tot een grotere kans op toplaaginstabiliteit.

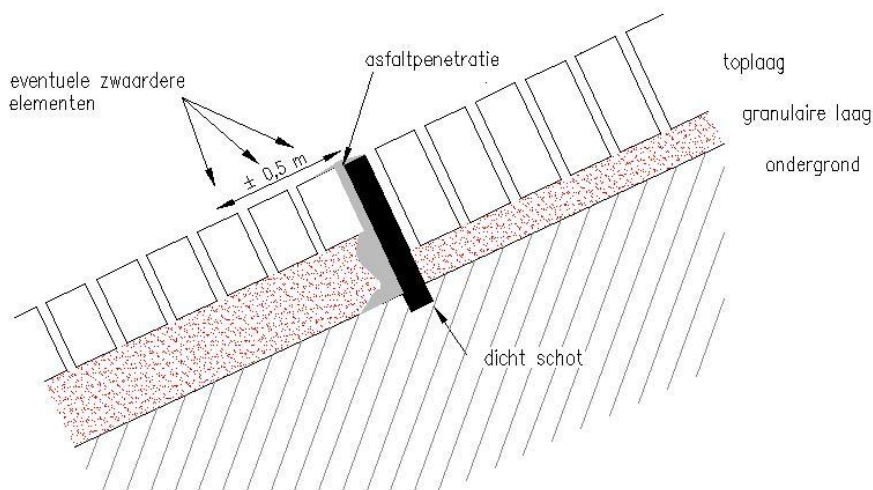
Figuur 4-6: Werkwijze voor keuze van de type betonband



Stap 3: Bijzondere voorzieningen

Bijzondere voorzieningen zijn penetratie van zwaardere uitvoeringen van de toplaag, zie Figuur 4-6.

In de meeste gevallen wordt de negatieve invloed van overgangsconstructies gecompenseerd door penetratie met gietasfalt. Penetratie houdt in dat de bekleding over een bepaalde breedte wordt ingegoten, waarbij het asfalt tot in de granulaire laag moet doordringen. Het is belangrijk dat de bekleding niet over te grote breedte wordt ingegoten, omdat daardoor de doorlatendheidseigenschappen juist ongunstiger worden. Bij een afgesloten granulaire laag moet alleen de spleet onder de overgangsconstructie worden ingegoten, terwijl bij een sprong in de leklengte alleen de ongunstig belaste bekleding over een breedte van 1 maal de leklengte moet worden ingegoten. Gietasfalt kan alleen worden gebruikt als de toplaag nog niet is ingewassen; bij een wel ingewassen toplaag kan het vloeibaarder mastiek worden toegepast, mits er voor wordt gezorgd dat dit tot in de granulaire laag doordringt. Als de toplaag is ingezand, bereikt de penetratie zeker niet de granulaire laag en is dit dus niet zinvol. Als penetratie op de beschreven wijze mogelijk is, mag zonder verder rekenwerk worden aangenomen dat de negatieve invloed van de overgang afdoende wordt gecompenseerd.



Figuur 4-5: Overgangsconstructie met bijzondere voorzieningen

Soms kan de overgang niet worden ingegoten, bijvoorbeeld omdat er geen brede langsvogen zijn. In dat geval moet de negatieve invloed worden berekend en gecompenseerd door zwaardere uitvoering van de toplaag. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een bekleding van gekantelde betonblokken koud tegen elkaar, onder een bekleding van waterbouwasfaltbeton.

Stap 4: Detaillering van overgangs- en aansluitconstructies

De overgangsconstructie zelf heeft normaal gesproken geen functie in het opvangen van krachten en wordt dus niet op sterkte gedimensioneerd. De afmetingen van de onderdelen worden afgestemd op de omliggende bekleding en hangen verder af van de beschikbaarheid op de markt en lokale ervaring.

De consequentie van de overgangsconstructie op de bekleding onder de overgang wordt verdisconteerd door STEENTOETS. De steenzetting vlak boven de overgang wordt doorgaans niet of nauwelijks beïnvloed door de overgangsconstructie.

Opmerkingen:

Er is sprake van een goed ontwerp wanneer de samenstelling van de toplaag zo gekozen is dat uitspoeling van onderliggende laag wordt voorkomen. Bij een overgangs- of aansluitconstructie wordt de laagopbouw abrupt doorbroken en ontstaat er in principe een verticale doorgaande 'naad'. Om uitspoeling van de onderlaag, of kernmateriaal te voorkomen, dient bij het ontwerp specifiek aandacht aan dit potentieel probleem besteed te worden. Mogelijke oplossingen zijn:

- Doorzetten van de onderlagen voorbij de aansluitconstructie (onder bijvoorbeeld de betonband door);
- Doorzetten of 'omklappen' van het aanwezige geotextiel;
- Ingieten van de naden van de toplaag (aan weerszijde van de overgang over een lengte van bijvoorbeeld 1 meter).

4.8.4

Berm

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van buitenbermen van zee- en meerdijken. Zie de Leidraad Zee- en Meerdijken [6] voor de bepaling van niveau, vorm en afmetingen. In het algemeen betreft het bermen die rond de maatgevende hoogwaterstand of lager liggen. De taludhelling is 1:10 à 1:20, de breedte varieert van 2,5 tot 10 meter.

Wat is een berm:

Niet elke relatief vlakke strook in het buitentalud wordt in het bekledingontwerp behandeld als een berm; daarvoor moet worden voldaan aan een aantal voorwaarden ten aanzien van taludhelling, breedte en in sommige gevallen niveau.

- Een strook die flauwer is dan 1:9 over een breedte van minimaal twee maal de maatgevende waarde van de significante golfhoogte H_s wordt in alle gevallen behandeld als een berm.
- Daarnaast worden smallere stroken (met een breedte tussen H_s en $2 \times H_s$) onder de volgende voorwaarden ook als berm behandeld:
 - het talud is flauwer dan 1:9 (ook in dit geval);
 - de strook ligt lager dan ontwerppeil;
 - er komen waterstands-golfcombinaties voor waarbij de waarde d_B / H_s ligt tussen 0,5 en 2,2 (d_B is gedefinieerd als de waterdiepte boven de buitenknik van de berm).

Ontwerpprocedure

Eerst dient te worden vastgesteld of op de berm een harde bekleding nodig is. Zo ja, dan moet worden besloten welk bekledingstype wordt toegepast: een steenzetting of niet, en wat voor type. Daarna volgen dimensionering en detaillering en tot slot wordt de invloed van de berm op de belasting op het bovenbeloop behandeld.

Wel of geen harde bekleding op de berm

Een harde bekleding op de berm is nodig als een grasbekleding te weinig sterkte biedt. Daarnaast kan een wegverharding op de berm gewenst zijn uit beheerstechnisch oogpunt en soms vanwege recreatie.

In paragraaf 3.4 is behandeld hoe de bovengrens van de harde bekleding kan worden bepaald, ook in relatie met een berm. Hierbij zijn de ontwerppegels voor grasbekledingen van belang die worden behandeld in de Leidraad Zee- en Meerdijken [6]. Volgens de huidige

stand van de kennis zijn deze ontwerpregels ook toepasbaar voor een berm (door te werken met de aanwezige zeer flauwe taludhelling). Overigens geldt in het algemeen dat een grasbekleding op de berm sterk genoeg is als dat ook op het bovenbeloop zo is.

Keuze van het type

Behalve steenzettingen komen natuurlijk ook een asfalt- of betonverhardingen in aanmerking, zeker als de berm wordt gebruikt als weg. Een bekleding van steenzettingen komt vooral in aanmerking als bekledingsmaterialen beschikbaar zijn voor hergebruik en als niet te zware eisen worden gesteld aan de berijdbaarheid van de berm. In zo'n geval vindt de afweging plaats in combinatie met de bekleding op de overige constructieonderdelen (golfklapzone, bovenbeloop), zie paragraaf 3.5.

Dimensionering van de toplaag

Een steenzetting op een berm moet worden ontworpen op de faalmechanismen materiaaltransport en toplaaginstabiliteit. Voor materiaaltransport is de situatie niet principieel anders dan op een talud. Er is dus in veel gevallen een filterconstructie nodig, zie paragraaf 4.3.

Voor het mechanisme toplaaginstabiliteit van steenzettingen op bermen bestaat een aparte dimensioneringsmethode, gerelateerd aan de methoden voor toplaaginstabiliteit op taluds in §4.8.4. Ten opzichte van een steenzetting op een talud zijn zowel de sterkte als de belasting verschillend.

De rekenmethode is opgenomen in STEENTOETS.

Detailtering van de constructie

Bij de overgang naar de aansluitende taluds (beneden- en bovenbeloop) moet aandacht worden besteed aan de voorzieningen tegen materiaaltransport. Verder moeten scherpe knikken worden voorkomen; in ontwerp en contract kan worden opgenomen dat de knik met een bepaalde minimale bochtstraal moeten worden aangebracht, bijvoorbeeld 10 meter.

Invloed van de berm op het bovenbeloop

De aanwezigheid van een berm beïnvloedt de belastingsituatie op het bovenbeloop.

De dimensioneringsmethode van steenzettingen op het bovenbeloop is afhankelijk van het niveau van de berm ten opzichte van het ontwerppeil. Er worden drie gevallen onderscheiden:

- Een lage berm (meer dan een afstand H_s , ontwerppeil onder ontwerppeil), heeft geen invloed op de toplaagstabiliteit van het bovenbeloop. Als op het bovenbeloop een steenzetting nodig is, wordt deze ontworpen en gedimensioneerd als een steenzetting op een talud zonder berm.
- Een berm die minder dan H_s onder ontwerppeil ligt, heeft een belastingreducerende invloed. Als op het bovenbeloop een steenzetting nodig is, moet deze voldoen aan de lichtste van twee eisen: de steenzetting hoeft niet zwaarder te zijn dan op de berm (zie de regels eerder in deze paragraaf), maar hoeft ook niet zwaarder te zijn dan wanneer er geen berm zou zijn (zie §4.8.4).
- Bij een hoge berm (boven ontwerppeil) wordt het bovenbeloop belast door golfoploop. Als in deze zone een steenzetting nodig is, hoeft deze niet zwaarder te zijn dan op de berm.

Vanaf het niveau ontwerppeil + $\frac{1}{2}z_{2\%}$ is de belasting overigens zodanig beperkt, dat de lichtst leverbare steenzetting sterk genoeg is, zie §4.8.5.

4.8.5 *Buitentalud in de golfoploopzone*

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van buitentaluds van zee- en meerdijken die belast worden door golfoploop, dus boven het ontwerppeil. In het algemeen is deze in dezelfde orde of iets flauwer dan het door golfklap belaste deel (orde 1:4). De regels zijn afwijkend als rond ontwerppeil een berm aanwezig is (zie §4.8.4).

Ontwerpprocedure oploopzone

Eerst dient te worden vastgesteld of om de oploopzone een steenbekleding nodig is. Zo ja, dan moet worden besloten welk type steenzettingen wordt toegepast. Daarna volgen dimensionering en detaillering.

Wel of geen steenbekleding in de oploopzone

Toepassen van steenbekleding in de oploopzone, hangt af van de toepasbaarheid en gewenstheid van een grasbekleding. Een harde bekleding is nodig als een grasbekleding volgens de rekenregels niet sterk genoeg is. Daarnaast is soms een steenbekleding in de oploopzone gewenst uit beheerstechnisch oogpunt. De bepaling van de bovengrens van de harde bekleding dient te worden geverifieerd met bijvoorbeeld GRASTOETS. Het is ongewenst om op de bovenrand van het buitentalud een grasbekleding toe te passen als op de kruin volgens de rekenregels een harde bekleding nodig is. Aanbevolen wordt om de bekleding van de kruin door te trekken op het buitentalud.

Keuze van het type steenzetting in de oploopzone

Zie het Keuzemodel kust- en oeverwerken voor de afweging tussen verschillende clusters van bekledingstypen.

In grote lijnen gelden dezelfde criteria als bij de afweging van de steenzetting op het talud in de golfklapzone. De belangrijkste verschillen zijn:

- In de golfoploopzone kunnen meestal lichtere elementen worden toegepast.
- De invulling van de eisen ten aanzien van begroeibaarheid en landschap is meestal anders dan rond de waterlijn.
- De afweging vindt plaats in combinatie met de bekleding op de overige constructieonderdelen (golfklapzone, berm), zie paragraaf 3.5.

Dimensionering van de toplaag in de oploopzone

De dimensionering hangt af van het niveau ten opzichte van het ontwerppeil. In de zone onder ontwerppeil $+ \frac{1}{2}z_{2\%}$ kan de benodigde dimensies van de bekleding bepaald worden met STEENTOETS. In de zone boven ontwerppeil $+ \frac{1}{2}z_{2\%}$ is de belasting zodanig gereduceerd, dat een standaardsteenzetting met de minimaal leverbare afmetingen volstaat (bijvoorbeeld toplaagdikte van 0,20 meter met een dichtheid van 2300 kg/m^3).

Detaillering van de constructie in de oploopzone

Het faalmechanisme afschuiving is in de golfoploopzone niet relevant. Materiaaltransport kan relevant zijn, maar is minder belangrijk dan voor het talud in de golfklapzone. In de praktijk wordt vaak aangenomen dat zowel de kans op schade als de mogelijke gevolgen zo klein zijn dat geen filterconstructie nodig is. Neerslag mag echter niet tot uitspoeling kunnen leiden.

Voor de berekening dient ook een inschatting gemaakt te worden van de vlakheid van de toplaag. Het gaat daarbij om hoogteverschil tussen naast elkaar gelegen stenen. Een inschatting van dit hoogteverschil moet ingevoerd worden in STEENTOETS. Als het minder is dan $0,11 \cdot D$ (met $D = \text{toplaagdikte}$), heeft het geen invloed.

4.8.6 *Kruin boven ontwerppeil en bijbehorend binnentalud*

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van kruin en binnentalud van zee- en meerdijken die belast worden door golfoverslag. Bij de meeste dijken volstaat in deze zone een grasbekleding, maar in zeldzame gevallen, bij relatief lage dijken en hoge golven, kan het overslagdebiet zo groot zijn dat een harde bekleding nodig is.

Ontwerpprocedure kruin/binnentalud

Of een steenbekleding nodig is, hangt af van de toepasbaarheid en gewenstheid van een grasbekleding.

De afweging en keuze tussen verschillende typen steenzettingen wordt gemaakt op basis van de criteria die ook voor het buitentalud boven ontwerppeil gelden (§4.8.5), waarbij de concrete invulling anders kan zijn.

Dimensionering van de toplaag op kruin/binnentalud

De belasting van een steenzetting op de kruin of het binnentalud wordt bepaald door de golfoploop en door de kruinhoogtemarge (het verschil tussen stilwaterstand en kruinhoogte). De maatgevende situatie doet zich bijna altijd voor als de waterstand op ontwerppeil ligt. Als de kruin hoger ligt dan ontwerppeil $+z_{2\%}$ is de belasting door het overslagdebiet zo klein, dat een grasbekleding volstaat. Als toch wordt gekozen voor een steenzetting, volstaat een standaardsteenzetting met de minimaal leverbare afmetingen (bijvoorbeeld toplaagdikte van 0,20 meter met een dichtheid van 2300 kg/m^3). Als de kruin daarentegen lager ligt dan ontwerppeil $+H_s$ is de belasting zo zwaar, dat de benodigde bekleding ontworpen kan worden met STEENTOETS.

4.8.7 *Overstroombare kruin en binnentalud*

De kruin van primaire waterkeringen ligt normaal gesproken boven ontwerppeil, zodat de kruin en het binnentalud niet op overloop hoeven te worden ontworpen. In bijzondere gevallen kan het echter wel nodig zijn om een kruin of binnentalud op overloop te ontwerpen: havendammen (die deel kunnen zijn van de primaire waterkering omdat ze de golfaanval beperken), maar ook waterbouwkundige constructies die niet dienen als waterkering, bijvoorbeeld overlaten en kribben.

De belastingsituatie van overstroombare havendammen kan met de ontwerpmodule van STEENTOETS beschouwd worden. Terwijl de ontwerpmethodiek voor bekledingen van waterkeringen sterk wordt bepaald door de eis dat in extreme omstandigheden nauwelijks of geen schade mag optreden, wordt het ontwerp voor overlaten en kribben in de praktijk bepaald door een economisch optimum van aanleg- en onderhoudskosten, in combinatie met lokale en praktische ervaring.

4.9 Ontwerpen controleren met STEENTOETS

Op basis van voorgaande paragrafen heeft de ontwerper enerzijds de afzonderlijke lagen van de totale bekledingsconstructie geïdentificeerd. Tevens heeft de gebruiker grof de dimensies van de afzonderlijke lagen bepaald. Nu deze informatie beschikbaar is, kan de bekleding als controleslag ingevoerd worden in STEENTOETS. Hierbij dient de ontwerper zich ervan te vergewissen dat het programma alleen kan controleren als bepaalde parameters worden ingevuld. Voor een overzicht van de verplichte invovelden wordt verwezen naar de handleiding van STEENTOETS [21].

De ontwerper dient altijd de meest recente versie van STEENTOETS te gebruiken, zie hoofdstuk 2.1 voor de downloadlocatie.

4.9.1 *Invoer STEENTOETS*

Het programma hanteert voor een aantal parameters zogenaamde 'default waarden' wanneer de gebruiker geen waarde invult. In de handleiding van STEENTOETS worden deze waarden gegeven.

De gebruiker dient zich ervan te vergewissen dat het gebruikelijk is bij het ontwerp van een gezette bekleding om tonrondte aan te brengen in de bekleding, zie voorbeelden uit katern 4 en §4.6.4.

Voor een eerste indicatie van toplaagdikte om het ontwerpproces te starten, kan de volgende formule gebruikt worden: $\frac{H_s}{\Delta D} = 5$

met:

H_s	=	significante golfhoogte	[m]
Δ	=	relatieve dichtheid toplaagelementen	[-]
D	=	dikte toplaag (= hoogte toplaagelementen)	[m]

Voor het ontwerpen van bekledingen met een afwijkende vorm van de toplaag dient de handleiding van STEENTOETS geraadpleegd te worden.

4.9.2 *Iteratief optimaliseren ontwerp*

Wanneer het ontwerp van een steenzetting door STEENTOETS als niet stabiel wordt verklaard (oordeel: 'onvoldoende'), dient de ontwerper eerst na te gaan welk faalmechanisme de problemen geeft.

Vervolgens splitst de ontwerper een lang buitentalud op in een paar delen om te controleren of het probleem alleen in een bepaald deel van het talud optreedt. Hierdoor reduceert de ontwerper het 'probleemgebied'. Bij het opsplitsen moet een overgangsconstructie met een doorlopend filter gekozen worden, omdat anders de stabiliteit mogelijk lager wordt.

Afhankelijk van het maatgevende faalmechanisme kunnen de volgende oplossingen overwogen worden:

Afschuiving:

- Breng een kleilaag aan, of maak de kleilaag dikker;
- Voeg een laag breed gegradeerd granulair materiaal toe (zoals mijnsteen, fosforslakken);
- Verwijder de eventuele zandscheg.

Toplaag instabiliteit:

- Kijk of het mogelijk is de uitvullaag dunner te maken, of een kleinere D_{15} toepassen;
- Kijk of het mogelijk is de filterlaag dunner te maken, of een kleinere D_{15} toepassen;
- Kijk of een ander type toplaag een betere stabiliteit geeft (betonzuilen zijn beter dan rechthoekige Betonblokken of basalt);
- Maak de toplaag dikker of kies een hogere soortelijke massa voor de toplaag;
- Maak de taludhelling flauwer;
- Kies een grover inwasmateriaal, maar zorg dat het wel goed in de spleten past.

Materiaaltransport door de toplaag:

- Kies een toplaag met kleinere gaten;

- Maak de D_{50} van de granulaire laag onder de toplaag wat groter.

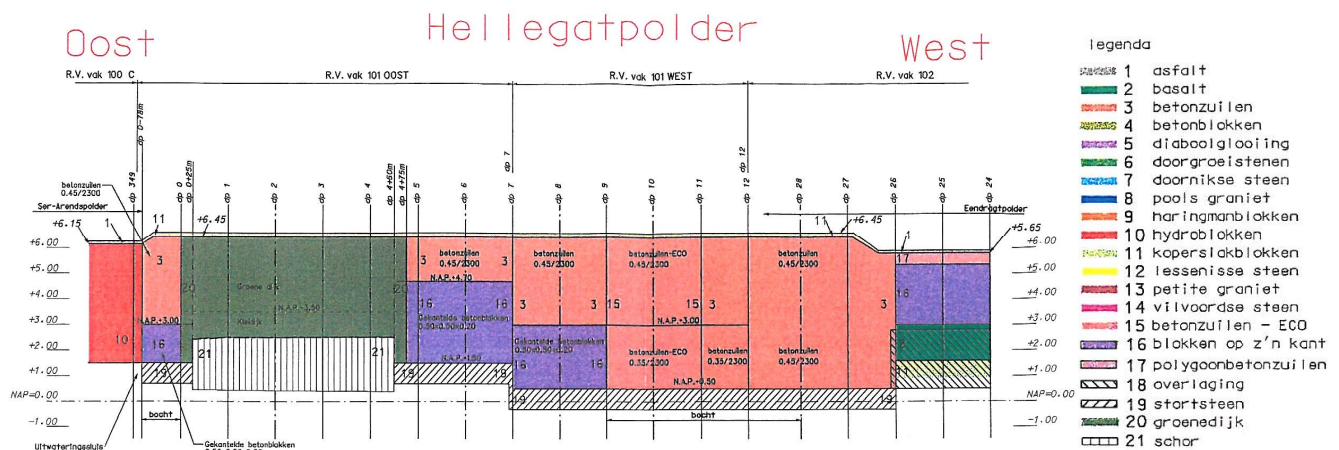
Materiaaltransport vanuit de ondergrond:

- Pas een geotextiel toe, of kies een geotextiel met kleinere O_{90} .

5 Ontwerp Voorbeeld: vervanging 'onvoldoende' bekleding zeedijk

5.1 Projectomschrijving

Deze case is ontleend aan de praktijk van het project Zeeweringen in Zeeland dat zich richt op het verbeteren van steenzettingen in het Deltagebied. De case is op enkele punten aangepast ten opzichte van de echte situatie en wordt beschreven in de lijn van het ontwerpproces zoals gebruikelijk bij Projectbureau Zeeweringen.



Figuur 5-1: Flakkenkaartje

Hellegatpolder is een dijk in Zeeuws-Vlaanderen. Voor de dijk ligt een schor. De Hellegatpolder is verdeeld in 3 vakken, te weten:

- dijkvak 101 oost, van dp 0 t/m 7;
- dijkvak 101 west, van dp 7 tot dp 11;
- dijkvak 102, van dp 11 t/m 14. Tussen dp 9 en 11 maakt de dijk een bocht. Het laatste stuk staat bijna haaks op het vak van 11 t/m 14.

De indeling in vakken is gemaakt op basis van de hydraulische randvoorwaarden en wordt tevens gebruikt voor de ecologische randvoorwaarden. Soms wordt de indeling verfijnd ten behoeve van de ecologie. De indeling in stroken is gemaakt door onderscheid te maken tussen de zogenoemde onder- en de boventafel. De overgang tussen onder- en boventafel is een knik in het talud die op NAP +3,00 meter ligt. De gemiddelde taludhelling is 1:3,8.

Aan de teen van de constructie ligt de teenbestorting. De steenzetting bestaat van de teen tot de berm uit:

- koperslabblokken, tussen NAP 0,0 meter tot NAP +3,0 meter;
- vlakke betonblokken, van NAP +3,0 meter tot NAP +6,0 meter liggen.

Van dp 0 tot en met dp 9 ligt een hoog voorland tot circa NAP +1,5 meter. Boven de vlakke betonblokken ligt de berm. Boven de berm ligt het bovenbeloop dat bekleed is met gras. Tussen dp 0 en dp 9 ligt het voorland tussen NAP +1,50 meter en NAP +2,50 meter, beneden dat peil ligt op dat gedeelte geen steenzetting.

Bij de toetsing⁶ is de gehele steenzetting van de Hellegatpolder beoordeeld als 'onvoldoende'.

De aangrenzende dijkvakken zijn een paar jaar geleden verbeterd. Het dijkvak aan de oostzijde is verbeterd met betonzuilen, het dijkvak aan de westzijde is verbeterd met gepenetreerde breuksteen op de ondertafel en betonzuilen op de boventafel.

5.2 Ontwerpcondities

Voor het project Zeeweringen is een Algemene nota gemaakt voor dijkvakken die verbeterd moeten worden. Daarin is vastgelegd wat de uitgangspunten zijn voor de verbetering.

5.2.1 Golfrandvoorwaarden

Rijkswaterstaat heeft voor dijkvak Hellegatpolder golfrandvoorwaarden op 3 niveau's aangeleverd. Voor tussenliggende, hogere en lagere waterstanden mag worden geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd, met de restrictie dat de minimale golfhoogte 0,50 meter is. Rijkswaterstaat heeft de golfrandvoorwaarden berekend op een grid van 250 x 250 meter. De grenzen van de randvoorwaardenvakken stemmen overeen met de vakindeling hierboven. De bodemligging bij die berekeningen is gebaseerd op de situatie over 50 jaar: het voorland is veelal 0,25 tot 1 meter verlaagd aangenomen.

Het ontwerppeil is gebaseerd op het Maatgevend Hoogwater (MHW), een zeespiegelstijging over 50 jaar (30 centimeter) en een stijging van het GHW. Het MHW is ook aangeleverd door Rijkswaterstaat. Het ontwerppeil ligt op NAP +6,45 meter en bepaalt het niveau van de berm. Bij het ontwerppeil zijn de golfrandvoorwaarden het hoogst. De golfhoogte en –periode bij ontwerppeil zijn daarom van belang als uitgangspunten voor berekeningen verderop in het proces van ontwerp. Het Gemiddeld Hoogwater (GHW) ligt op NAP +2,40 meter. Dit valt ongeveer samen met de scheiding tussen onder- en boventafel (zie Tabel 5-1).

Tabel 5-1: Golfrandvoorwaarden

Dijkvak	Waterstand								
	NAP +2 m		NAP +4 m		NAP +6 m		Ontwerppeil		
	H _s [m]	T _p [s]	H _s [m]	T _p [s]	H _s [m]	T _p [s]	[NAP+m]	H _s [m]	T _p [s]
101 oost	0,5	6,2	1,3	6,2	1,9	6,8	6,45	2,04	6,94
101 west	1,0	6,2	1,6	6,2	2,1	6,8	6,45	2,21	6,94
102	1,1	6,2	1,8	6,8	2,2	6,8	6,45	2,29	6,80

5.2.2 Milieu

Naast de algemene nota voor de dijkvakken die verbeterd worden, is er een milieu-inventarisatie opgesteld. In de inventarisatie staat beschreven welke natuurwaarden aangetroffen zijn per dijkvak en welke waarden in potentie ontwikkeld kunnen worden. Vervolgens is een methodiek gegeven voor de categorisatie van de natuurwaarden in relatie tot het bekledingstype. De indeling is: matig/slecht, voldoende, redelijk goed, goed en uitmuntend. De indeling van de bekledingstypen in categorieën verschilt voor de getijdenzone en de boventafel.

⁶ De toetsing is de eigenlijke basis voor de verbetering. Uit de toetsing blijkt welke delen van een dijk verbeterd moeten worden. Tussen vakken of onder stroken met de score 'onvoldoende' liggen soms vakken met de score 'goed'. Deze kunnen dan gehandhaafd worden.

Er wordt minimaal gestreefd naar herstel van de natuurwaarden. Als op een dijkvak potentieel hogere natuurwaarden ontwikkeld kunnen worden, wordt een bekledingstype gebruikt dat een categorie hoger is geplaatst dan de huidige bekleding.

Naast de categorie-indeling van de bekledingstypen wordt aandacht besteed aan milieu-eisen voor verschillende bekledingstypen. Een aantal bekledingstypen mag bijvoorbeeld niet toegepast worden in de getijdenzone vanwege de kans op uitloging.

Naast de milieu-inventarisatie worden nog een detailadvies van DLG voor de landschappelijke inpassing en een detailadvies van RWS-meetdienst over de natuurwaarden opgesteld. In deze adviezen staan aanvullende aanbevelingen voor de landschappelijke inpassing en maatregelen ter mitigatie en compensatie van natuurwaarden. DLG adviseert in het algemeen het aantal visueel verschillende vakken te beperken en een scheiding tussen bekledingstypen op de grens tussen boven- en ondertafel te leggen, zodat de lijnvorm van de dijk als landschapselement wordt benadrukt. Het detailadvies van de meetdienst is een verfijning van de milieu-inventarisatie. Het projectbureau volgt de adviezen in de milieu-inventarisatie en de detailadviezen in het algemeen op.

Door de categorisatie wordt het aspect ecologie volwaardig betrokken bij het ontwerp. Daardoor hoeft geen MER gemaakt te worden voor (onderdelen van) het project. Dit is een benadering die specifiek is voor Zeeland.

De indeling van de dijkvakken van Hellegatpolder op basis van het detailadvies en de milieu-inventarisatie staat in Tabel 5-2. In het detailadvies is een gedetailleerdere vakindeling gebruikt, omdat deze niet op de golfrandvoorwaarden is gebaseerd maar op de expositie en daarmee samenhangend op de aanwezige en potentiële natuurwaarden. Voor de boventafel is de hoogst haalbare categorie (redelijk) goed, omdat er in de hogere categorie alleen een bekleding van gras zit. Gezien de hoogte van de golfrandvoorwaarden is een grasbekleding echter niet toepasbaar ($H_s > 2$ meter).

Tabel 5-1: Advies natuurwaarden volgens milieu-inventarisatie en detailadvies

dijkvak	Benedentafel		Boventafel	
	herstel	verbetering	herstel	verbetering
101 oost	n.v.t. *	n.v.t.*	(redelijk)goed /voldoende	(redelijk)goed
101 west (dp 7-dp 9)	n.v.t.*	n.v.t.*	(redelijk)goed /voldoende	(redelijk)goed
101 west (dp 9-dp 11)	(redelijk)goed /voldoende	(redelijk)goed**	(redelijk)goed	(redelijk) goed**
102	(redelijk)goed /voldoende	(redelijk)goed	(redelijk)goed /voldoende	(redelijk)goed

*: niet van toepassing vanwege de aanwezigheid van een hoog voorland

** : aanbeveling om zuilen met eco-top toe te passen.

5.3 Keuze bekledingstypen

5.3.1 Beschikbaarheid

Hergebruik van materialen uit het dijkvak zelf

Bij project Zeeweringen wordt de voorkeur gegeven aan hergebruik, vanuit het perspectief van milieu en kosten. Onderzocht wordt of elementen lager op het talud

toegepast kunnen worden of op een ander deel van de dijk, waar de golfbelasting lager is. Een andere mogelijkheid is om bijvoorbeeld blokken gekanteld toe te passen.

Uit een berekening van het aantal vrijkomende elementen en het oppervlak dat daarmee gemaakt kan worden, kan geconcludeerd worden of het zinvol is de elementen te hergebruiken (zie Tabel 5-3).

Tabel 5-3: Vrijkomende hoeveelheden toplaagelementen

toplaag	afmetingen [h x d x b]	oppervlakte huidig [m ²]	oppervlakte gekanteld [m ²]
vlakke betonblokken	0,20 x 0,50 x 0,50	21.200	8.480
koperslakblokken	0,33 x 0,20 x 0,20	14.400	-*

*Koperslagblokken kunnen niet gekanteld worden toegepast.

Van beide typen zijn voldoende elementen aanwezig om op een deel van het dijkvak te herzetten.

Hergebruik uit depots en van andere dijkvakken

Als de verbetering onderdeel is van een veel groter project, zoals project Zeeweringen, is er soms nog de mogelijkheid elementen te betrekken uit depots of van andere dijkvakken. In eerste instantie is gekeken of er een hoeveelheid beschikbaar is waarmee een dijkvak kan worden bekleed. Daarnaast is het van belang dat de afstand waarover vervoerd moet worden niet te groot is.

Binnen project Zeeweringen wordt bij voorkeur vermeden om elementen te hergebruiken uit dijkvakken die gelijktijdig worden verbeterd. Als de uitvoering van het dijkvak waar de elementen vandaan moeten komen vertraging oploopt, kan dit de uitvoering van het tweede dijkvak vertragen. Voor dijkvak Hellegatpolder zijn geen elementen beschikbaar uit andere dijkvakken of depots. Bekledingstypen als granietblokken vallen daardoor af.

Nieuwe materialen

Er zijn diverse nieuwe materialen toepasbaar zoals breuksteen, betonzuilen en asfalt.

5.3.2

Voorselectie

In de Algemene nota is een aantal bekledingstypen onderscheiden die in principe allemaal toepasbaar zijn. Een aantal typen bekleding valt direct af omdat:

- Niet bekend is of ze wel voldoende levensduur hebben;
- Ze niet de voorkeur van de beheerder hebben;
- Ze meestal alleen voor een specifieke situatie gebruikt worden die hier niet aan de orde is.

Op basis van de voorselectie vallen onder andere overlagingconstructies en steenasfalt af.

5.3.3

Technische toepasbaarheid

Van de typen bekledingselementen die overblijven na de voorselectie wordt voor de grootste beschikbare afmeting berekend of een element met die afmetingen bestand is tegen de golfbrandvoorwaarden onder extreme omstandigheden. Daarbij wordt gerekend met de steilste denkbare taludhelling van het dijkvak en de zwaarste randvoorwaarden. Als het zwaarste element voldoet kan in een later stadium bepaald worden welke afmetingen het element precies moet hebben.

Als het grootste en zwaarst mogelijke element niet voldoet, kan uitgerekend worden wat het hoogst mogelijk toepassingsniveau is. Afhankelijk van het toepassingsniveau kunnen elementen misschien alleen in de ondertafel worden toegepast. Berekeningen van blok- en zuilelementen worden gemaakt in een spreadsheet gebaseerd op STEENTOETS. In de berekeningen wordt uitgegaan van standaardsorteringen voor de granulaire laag per bekledingstype.

Voor berekeningen uitgevoerd kunnen worden, moet eerst de taludhelling berekend worden. De bekleding moet meestal ingepast worden tussen de bestaande teen, de berm en/of huidige bekleding. Getracht wordt het grondverzet zo veel mogelijk te beperken. Daarnaast moet de vereiste dikte van de kleilaag gehandhaafd blijven.

Bij het dijkvak Hellegatpolder wordt de berm opgetrokken tot ontwerppeil. Daardoor verandert de taludhelling. Vanwege tonrondte en uitvoeringson nauwkeurigheden wordt in de berekeningen voor de ondertafel een taludhelling ingevoerd die 0,4 steiler is. Voor de berekening van de taludhelling van de boventafel wordt de helling 0,2 steiler ingevoerd.

De zwaarste betonzuil (de zuil met de grootste dikte en met de grootste dichtheid) kan toegepast worden op de gehele dijk. Gekantelde betonblokken kunnen op twee dijkvakken worden toegepast, zie Tabel 5-4.

Uit de berekeningen blijkt dat koperslakblokken maar op 1 randvoorwaardenvak toepasbaar zijn tot maximaal NAP +3,30 meter, zie tabel. Koperslakblokken mogen alleen boven GHW worden toegepast vanwege het milieubezwaar van uitloging. Dit zou betekenen dat de koperslakblokken alleen op een smalle strook toegepast kunnen worden tussen NAP +2,40 meter (GHW) en +3,30 meter.

Tabel 5-4: Overzicht van bekledingstypen en hun maximale toepassingsniveau

dijkvak	betonzuilen	gekantelde betonblokken		koperslakblokken
	0,50 m/2900 kg/m ³ [m +NAP]	dik 0,20 m [m +NAP]	dik 0,25 m [m +NAP]	[m +NAP]
101 oost	6,45	4,70	4,35	3,30
101 west	6,45	4,15	3,70	INSTABIEL
102	6,45	INSTABIEL	INSTABIEL	INSTABIEL

Tabel 5-5: Voorkeuren uit milieu-inventarisatie en detailadvies (ondertafel)

dijkvak	dwarsprofiel	Ondertafel	
		Herstel	Verbetering
101 oost	0 – 7	n.v.t.	n.v.t.
101 west	7 – 9	n.v.t.	n.v.t.
101 west	9 –11	- breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen	- breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen
102	11 - 26		

5.3.4

Ecologische toepasbaarheid

Tabel 5-5 en Tabel 5-6 geven de voorkeuren voor bekledingstypen aan die zijn opgenomen in de milieu-inventarisatie en het bijbehorend detailadvies. Deze

voorkeuren zijn randvoorwaarden waarvan niet afgeweken mag worden. Bekledingstypen die op basis van de voorselectie, beschikbaarheid en technische toepasbaarheid afgevallen zijn, worden niet meer genoemd.

Tabel 5-6: Voorkeuren uit milieu-inventarisatie en detailadvies (boventafel)

dijkvak	dwarsprofiel	Boventafel	
		Herstel	Verbetering
101 oost	0 – 7	- betonblokken - breuksteen w/n gepenetreerd - koperslakblokken - gebroken blokken w/n gepenetreerd - betonzuilen - ecozuilen	alle bekledingstypen, advies om af te dekken met grond
101 west	7 – 9	- breuksteen - gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld ecozielen	- breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen
101 west	9 – 11	- breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen	- breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen
102	11 - 26	- betonblokken - breuksteen w/n gepenetreerd - koperslakblokken - gebroken blokken w/n gepenetreerd - betonzuilen - ecozuilen	

5.3.5 Alternatieven

Van de uiteindelijk overblijvende bekledingstypen worden alternatieven gemaakt, waarbij per dijkvak wordt aangegeven welke bekleding wordt aangebracht op de boven- en de ondertafel. Er worden drie alternatieven onderscheiden die zijn aangegeven in Tabel 5-7, Tabel 5-8 en Tabel 5-9.

5.3.6 Afweging en keuze

De alternatieven worden beoordeeld op de volgende aspecten:

- Uitvoering, zijn de elementen eenvoudig aan te brengen en vereisen ze geen speciale constructies;
- Hergebruik, hoeveel elementen kunnen worden hergebruikt, streven is zoveel mogelijk stenen te hergebruiken;
- Ecologie, waarbij gekeken wordt of verbetering van natuurwaarden conform de milieu-inventarisatie wordt bereikt of dat het alternatief op dat punt neutraal is;
- Landschap, waarbij gekeken wordt in hoeverre een alternatief aansluit bij het advies van DLG;
- Beheer, waarbij voorkeuren van de beheerder worden meegewogen. Dit kunnen voorkeuren zijn met betrekking tot onderhoud, of bijvoorbeeld een negatief oordeel over asfalt;
- Kosten, een vergelijking van de kosten op basis van een globale kosteninschatting.

Tabel 5-7: Alternatief 1

dijkvak	van [dp]	tot [dp]	niveau		bekledingstype
			van [NAP]	tot [NAP]	
101 oost	0	7	+ 1,50 m	+ 2,40 m	gekantelde betonblokken
			+ 2,40 m	+ 3,30 m	gekantelde* koperslabblokken
			+ 3,30 m	+ 4,70 m	gekantelde betonblokken
			+ 4,70 m	+ 6,45 m	betonzuilen
101 west	7	9	+ 1,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen
101 west	9	11	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen met ecotoplaag
102	11	26	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen

* Dit bleek achteraf uiteindelijk geen optie omdat het gebrek aan maatvastheid het toepassen van deze blokken in gekantelde positie onmogelijk maakte.

Tabel 5-8: Alternatief

dijkvak	van [dp]	tot [dp]	niveau		bekledingstype
			van [NAP]	tot [NAP]	
101 oost	0	7	+ 1,50 m	+ 4,70 m	gekantelde betonblokken
			+ 4,70 m	+ 6,45 m	betonzuilen
101 west	7	9	+ 1,50 m	+ 2,40 m	gekantelde betonblokken
			+ 2,40 m	+ 6,45 m	betonzuilen
101 west	9	11	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen met ecotoplaag
102	11	26	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen

Tabel 5-9: Alternatief 3

dijkvak	van [dp]	tot [dp]	niveau		bekledingstype
			van [NAP]	tot [NAP]	
101 oost	0	7	+ 1,50 m	+ 6,45 m	breuksteen patroongepenetreerd
101 west	7	9	+ 0,50 m	+ 3,00 m	breuksteen patroongepentereerd
			+ 3,00 m	+ 6,45 m	betonzuilen
101 west	9	11	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen met eco- toplaag
102	11	26	+ 0,50 m	+ 6,45 m	breuksteen patroongepenetreerd

De scores van de alternatieven op de verschillende aspecten worden ingevuld door een aantal interne en externe deskundigen in het voorontwerpoverleg. De deskundigen zijn onder andere de beheerder, de provincie, een landschapsdeskundige van DLG, een ecoloog en deskundigen van het projectbureau. De scores staan weergegeven in Tabel 5-10. In de laatste regel van de tabel staat de rangorde van voorkeur zoals deze vastgesteld is op basis van de scores van de experts.

Tabel 5-10: Afweging tussen alternatieven voor de bekleding onder de berm

Alternatief	1	2	3
uitvoering	-	0	-
hergebruik	+	+	-
Landschap (onder)	-	-	-
landschap (boven)	-	+	-
beheer	-	0	-
kosten	0	+	-
ecologie	+	+	0
voorkeur	2	1	3

In het voorontwerpoverleg is een voorkeur bepaald voor alternatief 2. Het alternatief met breuksteenoverlaging heeft grote nadelen op de aspecten hergebruik, landschap en beheer. Het alternatief met koperslakblokken is zowel op de aspecten uitvoering als landschap en beheer negatief beoordeeld omdat de koperslakblokken slechts over een smalle strook toegepast kunnen worden.

Naast de voorkeur voor de bekleding onder de berm is ook een voorkeur bepaald voor de constructie van de onderhoudsstrook. De afweging is gemaakt tussen een strook uit grindasfaltbeton en een strook uit koperslakblokken. Koperslakblokken kunnen weliswaar niet op het talud onder de berm toegepast worden, maar wel op de berm. Doordat de berm boven het ontwerppeil komt te liggen en horizontaal is, is de golfbelasting gunstiger. Gekozen is voor uitvoering met koperslakblokken, omdat dit voordelen heeft wat betreft hergebruik, milieu, landschap en kosten. Een onderhoudsstrook van koperslakblokken is doorgroeibaar, wat tevens gunstiger is vanuit het oogpunt van ecologie en landschap.

In een projectbureauoverleg over Hellegatpolder is ingestemd met het voorkeursalternatief uit het voorontwerpoverleg en is besloten dit alternatief verder uit te werken.

5.4 Nadere dimensionering

Op basis van de keuze in de eerdere paragraaf wordt het ontwerp verder uitgewerkt.

5.4.1 *Teenschot en teenbestorting*

Op de overgang van de steenzetting naar het voorland dient een teenschot aangebracht te worden. Over het teenschot en de onderkant van de bekleding wordt steenbestorting gelegd. Deze constructie biedt steun aan de bovenliggende steenzetting. De bestorting is van de sortering 60 – 300 kg. De keuze voor deze sortering is gebaseerd op de golfhoogten op het ontwerppeil. Dit is een conservatief gekozen hydraulische randvoorwaarde. Een verdere optimalisatie van de teenbestorting kan worden overwogen.

De teenbestorting ligt langs het hele dijkvak, is 5 meter breed en 0,80 meter dik. Het teenschot en de bestorting komen in het schor te liggen. De teenbestorting wordt deels toegedekt op het moment dat het profiel van het schor wordt hersteld.

5.4.2 Steenzetting

Toplaag betonzuilen

Voor de delen waar betonzuilen worden aangebracht, is een nadere dimensionering uitgevoerd. Dit resulteert in Tabel 5-11, met de hoogtes en bijbehorende dichtheden per dijkvak. De hoogtes zijn voor de berekening van de stabiliteit afgerond op 5 centimeter en de dichtheden zijn afgerond op 100 kg/m³. De uiteindelijke keuze wordt bepaald door afweging van beheer, kosten en uitvoeringstechniek. Ten behoeve van de detaillering worden daarom de lichtst mogelijke zuiltypen per dijkvak vastgesteld.

De typen voor de onder- en boventafel worden afzonderlijk doorgerekend. Bij voorkeur wordt de scheiding tussen verschillende bekledingstypen gelegd op de overgang tussen boven- en ondertafel.

Tabel 5-11: Minimaal toepasbare betonzuilen

dijkvak	helling	type betonzuil	type betonzuil
		ondertafel	boventafel
		[m] / [kg/m ³]	[m] / [kg/m ³]
101 oost	1:3,8	0,35/2300	0,45/2300
		0,30/2400	0,40/2400
		0,25/2600	0,35/2500
101 west	1:3,8	0,35/2300	0,45/2300
		0,30/2600	0,40/2400
		0,25/2800	0,35/2600
			0,30/2900
102	1:3,8	0,45/2300	0,45/2300
		0,40/2400	0,40/2400
		0,35/2500	0,35/2700
		0,30 /2800	0,30/2900

Kostentechnisch wordt de zuil met de laagst leverbare dichtheid toegepast. Beheertechnisch is het ongewenst om visueel identieke zuilen —met dezelfde hoogte maar met verschillende dichtheid — in één profiel, dus onder elkaar, toe te passen. Bij latere verbeteringswerken zouden deze namelijk verwisseld kunnen worden. Het naast elkaar toepassen van zuilen met verschillende hoogte is mogelijk als de dikte van de uitvulling hierdoor gehandhaafd kan worden (gelijke constructiehoogte). Het is praktisch om voor een werk zo weinig mogelijk verschillende typen zuilen toe te passen vanwege de mogelijkheid tot uitwisseling van de elementen. Uiteindelijk is gekozen voor de typen in Tabel 5-12.

Tabel 5-12: Gekozen type betonzuilen

dijkvak	helling	ondertafel	boventafel
		[m] / [kg/m ³]	[m] / [kg/m ³]
101 oost	1:3,8	0,35/2300	0,45/2300
101 west/dp 7-9	1:3,8	0,35/2300	0,45/2300
101 west/dp 9-11	1:3,8	0,35/2300 (eco-top)	0,45/2300 (ecotop)
102	1:3,8	0,45/2300	0,45/2300

De toplaag zal worden ingewassen met ongeveer 50 kg/m³ gebroken materiaal. De sortering van dit inwasmateriaal is afhankelijk van de vorm van de zuil die zal worden toegepast.

Toplaag betonblokken

Er is besloten tot het toepassen van betonblokken op dijkvak 101 oost en west. De betonblokken die vrijkomen uit het dijkvak zijn blokken met de afmetingen 0,20 x 0,50 x 0,50 meter. De maximale toepassingsniveaus staan in Tabel 5-4. Daar is vastgesteld dat de blokken toepasbaar zijn op de ondertafel, daarom zijn geen aanvullende berekeningen nodig. In de ontwerpberekeningen is ervan uitgegaan dat de blokken gekanteld tegen elkaar worden geplaatst op een fijnkorrelige uitvullaag.

Uitvullaag

De granulaire uitvullaag onder de toplaag is nodig voor de uitvoering. Gelet op stabiliteit en uitvoering, moet het materiaal zo fijn mogelijk zijn. Het materiaal moet echter niet zo fijn zijn dat het materiaal tussen de toplaagelementen kan wegspoelen. De fijnste sortering die voor betonzuilen mogelijk is, is 16/32 mm. In ontwerpberekeningen wordt uitgegaan van een bijbehorende waarde D_{15} van 20 mm. Dit is een conservatieve benadering, de werkelijke waarde is circa 17 mm. Bij plaatsing van gekantelde betonblokken wordt sortering 4/20 mm toegepast. De bijbehorende waarde van D_{15} is circa 5 mm. Beide sorteringen worden door projectbureau Zeeweringen standaard bij deze bekledingselementen toegepast.

Uitvoeringstechnisch is de minimale laagdikte waarin steenslag van bovengenoemde sorteringen kan worden aangebracht 0,1 meter. Deze waarde wordt voorgeschreven in het bestek. Voor ontwerpberekeningen wordt uitgegaan van 0,15 meter, rekening houdend met een uitvoeringsmarge van 0,05 meter.

Geokunststof

Binnen project Zeeweringen is ervoor gekozen voor alle dijkvakken als scheiding tussen de granulaire laag en het basismateriaal een zo dicht mogelijk geokunststof toe te passen. Dit 'standaardtype' wordt ook hier toegepast. De levensduur van het geokunststof dient 50 jaar te zijn. Aan de onderzijde van het talud wordt het kunststof aangesloten op het teenschot. Aan de bovenzijde wordt de geokunststof 1 meter doorgetrokken onder de onderhoudsstrook. Bij de aansluiting van stroken geokunststoffen op elkaar wordt deze uitgevoerd met een dakpansgewijze overlap van minimaal 1 meter breed.

Tabel 5-13: Minimale laagdiktes klei/mijnsteen

dijkvak	toplaag	minimale laagdikte	
		mijnsteen	klei
101 oost	gekantelde blokken	0,50 m	0,30 m
	betonzuilen 0,45 m 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m
101 west	gekantelde blokken	0,50 m	0,30 m
	betonzuilen 0,35 m 2300 kg/m ³	0,75 m	0,30 m
	betonzuilen 0,45 m 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m
102	betonzuilen 0,45 m 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m

Basismateriaal

De totale dikte van het pakket, bestaande uit toplaag, uitvullaag en de onderliggende kleilaag, moet voldoende groot zijn om afschuiving van dit pakket te voorkomen. De vereiste dikte is onder andere afhankelijk van de taludhelling. De minimale dikte van de onderliggende kleilaag is 0,30 meter. In het ontwerp moet bij voorkeur een dikkere

kleilaag aangehouden worden dan gesuggereerd wordt in STEENTOETS. Als een nieuwe kleilaag wordt aangebracht, is het aan te bevelen om een dikte van minimaal 0,60 meter, en het meest wenselijk 0,80 meter, aan te houden.

De rekenwaarden voor de minimaal vereiste laagdiktes voor de nieuw aan te brengen bekleding zijn gegeven in Tabel 5-13.

5.4.3 *Overgangsconstructies*

In het ontwerp van de nieuwe bekledingen komen drie horizontale overgangen voor:

- Van betonblokken naar betonzuilen tussen dp 0 en dp 7 op NAP +4,70 meter;
- Van betonblokken naar betonzuilen tussen dp 7 en dp 9 op NAP +2,40 meter;
- Van betonzuilen naar de koperslakblokken op de berm.

Een bekleding van betonzuilen kan zonder overgangsconstructies op betonblokken aangesloten worden. De overgang tussen de betonzuilen en de koperslakblokken wordt verder gedetailleerd in de paragraaf onderhoudsstrook. Daarnaast zijn er verticale overgangsconstructies te onderscheiden van gekantelde betonblokken naast betonzuilen tussen NAP +2,40 meter en NAP + 4,70 meter bij dp 7. De bestaande verticale overgangsconstructies met de naastgelegen dijkvakken dienen verwijderd te worden.

De bekledingen worden zo goed mogelijk aangesloten, eventueel te grote kieren worden gepenetreerd met beton. Beton past qua kleur beter bij de zetsteen dan asfalt/mastiek.

5.4.4 *Onderhoudsstrook*

Het niveau van de huidige berm ligt op NAP +6,05 meter en wordt opgetrokken tot het ontwerppeil op NAP +6,45 meter. Aansluitend op het talud wordt de onderhoudsstrook aangebracht, met een breedte van 3,0 meter. De overgang wordt gemaakt door een afronding aan de bekleding te geven waarvan de kromtestraal 10 meter is. De bekleding wordt 1 meter op de berm doorgezet.

Tijdens de uitvoering van de dijkverbetering bestaat de onderhoudsstrook uit een 0,4 meter dikke laag fosforslakken van de sortering 0/40 mm op een geokunststof. Het toegepaste kunststof is een kunststof dat voor alle verbeteringswerken binnen project Zeeweringen wordt toegepast op de onderhoudsstrook. De laag fosforslakken wordt ontworpen op de belasting tijdens uitvoering. Deze strook wordt na uitvoering niet verwijderd, maar afgewerkt tot een definitieve onderhoudsstrook door koperslakblokken erop te plaatsen. De koperslakblokken komen vrij uit het werk of zijn voorradig in depot. Onder de koperslakblokken wordt een granulaire laag van 0,10 meter van sortering 16/32 mm aangebracht.

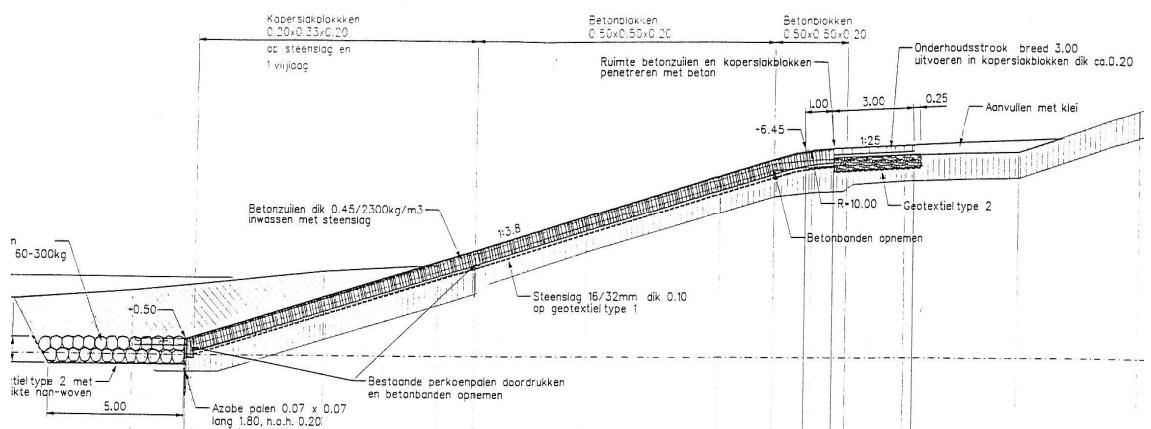
De onderhoudsstrook wordt opgesloten door betonbanden, ten behoeve van een rechte afwerking en ter voorkoming van uitspoeling van de onderliggende steenslag. De betonbanden zijn afkomstig uit de huidige onderhoudsstrook. De ruimte tussen de betonbanden en de aansluitende taludbekleding dient gepenetreerd te worden met colloidaal beton.

5.5 *Samenvatting*

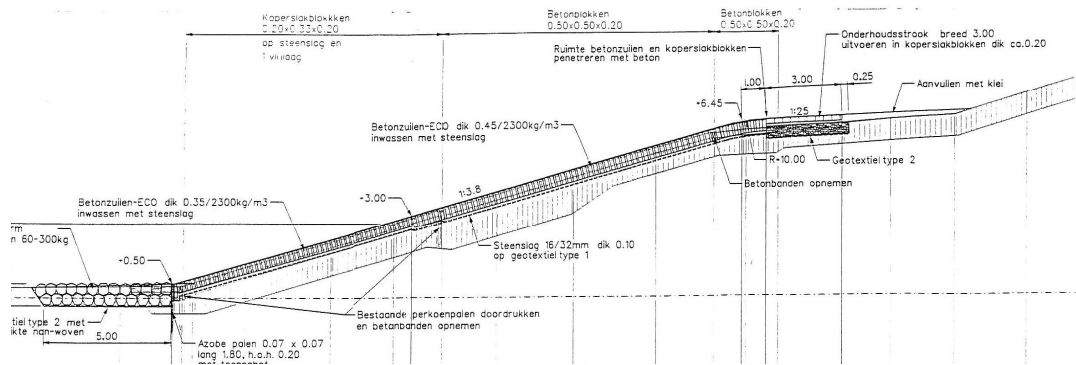
Het ontwerp staat samengevat in onderstaande tabel, de gegeven afmetingen betreffen rekenwaarden. Hoewel als minimale laagdikte voor de klei 30 centimeter staat aangegeven, is het aan te bevelen tenminste 60 centimeter of bij voorkeur 80 centimeter aan te leggen.

Tabel 5-14: Samenvatting ontwerp

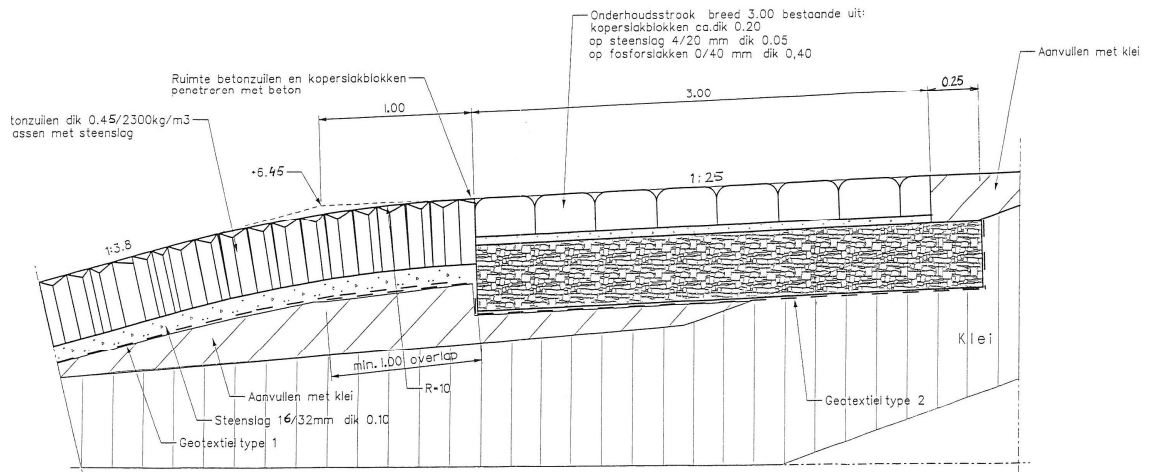
dijkvak	locatie [dp]	van [NAP]	tot [NAP]	bekledingsconstruc-tie type, afmetingen	laagdikte	
					onderlaag	klei
101 oost	0 – 7	+1,50m	+4,70m	gekantelde betonblokken (h x d x b) 0,2 m x 0,5 m x 0,5 m	0,50 m	0,30 m
		+4,70m	+6,45m	betonzuilen: 0,45 m; 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m
101 west	7 – 9	+1,50m	+2,40m	gekantelde betonblokken (h x d x b) 0,2 m x 0,5 m x 0,5 m	0,50 m	0,30 m
		+2,40m	+3,00m	betonzuilen: 0,35 m; 2300 kg/m ³	0,75 m	0,30 m
		+3,00m	+6,45m	betonzuilen: 0,45 m; 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m
101 west	9 – 11	+1,50m	+6,45m	betonzuilen met ecotop 0,45 m; 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m
102	11 – 13	+0,50m	+6,45m	betonzuilen: 0,45 m; 2300 kg/m ³	0,64 m	0,30 m



Figuur 5-15: Dwarsprofiel betonzuilen: 0,45 m; 2300 kg/m³



Figuur 5-16: Dwarsprofiel betonzulen met eco-top: 0,45 m; 2300 kg/m³



Figuur 5-17: Detail onderhoudstrook

6 Ontwerp Voorbeeld: ontwerp nieuwe bekleding

Dit voorbeeld is ontleend aan de praktijk van de dijkverbetering van de Noordoostpolder en is gericht op het verbeteren van steenzettingen langs het IJsselmeer. Het ontwerp van de steenbekledingen is slechts één van de onderdelen van de verbeteringswerkzaamheden in dit project. Voor de steenbekledingen zijn een 'Algemene nota ontwerppuntgangspunten bekleding Ketelbrug-Ramspol' en een afzonderlijke 'Ontwerppnota Steenbekledingen' gemaakt. Naar aanleiding van de toetsing dienen bepaalde bekledingsvakken te worden aangepast.

Het voorbeeld is beperkt tot het ontwerp van de Ramsdijk. Dit traject ligt tussen Schokkerhaven en Ramspol, vanaf km 38,0 tot aan km 40,1, aan de zuidzijde van de Noordoostpolder in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland. In werkelijkheid is dit deel met een lengte van 2,1 km dus onderdeel van een groter traject, namelijk van km 36 tot km 44. Dit is van invloed op bepaalde keuzes zoals ten aanzien van uniformiteit in bekledingstypen, hergebruik van materialen, et cetera. In Figuur 6-1 is een overzicht van de Ramsdijk weergegeven.



Figuur 6-1: Overzicht Ramsdijk

In Figuur 6-1 is te zien dat voor de Ramsdijk een dam aanwezig is. Deze dam is meegenomen in de uitvoer van Hydra-Q ter plaatse van het uitvoerpunt nabij de Ramsdijk. De dam zal apart ontworpen moeten worden.

Het voorbeeld wordt beschreven in de lijn van dit rapport.

6.1

Vorbereiding

In de 'Algemene nota ontwerppuntgangspunten bekleding Ketelbrug-Ramspol' zijn hoofdstukken 'Randvoorwaarden', 'Algemene uitgangspunten' en 'Uitgangspunten ten aanzien van de bekledingstypen' opgenomen. Hierin zijn de relevante zaken voor de voorbereiding beschreven.

6.1.1 *Programma van eisen*

Eisen en wensen vanuit techniek

Het ontwerp moet goed uitvoerbaar zijn, zowel technisch als qua regelgeving (ontwerp volgens vigerende handleidingen). Bovendien moet het ontwerp goede voorwaarden scheppen voor beheer en onderhoud. Materialen en constructie moeten een levensduur hebben van tenminste 50 jaar. Er zal worden afgestemd met de wensen van de dijkbeheerder door overleg te voeren met de beheerder.

Uit oogpunt van beheer wordt de voorkeur gegeven aan bekleding die 'machinaal herzetbaar' is.

Eisen en wensen vanuit de omgeving

Er is een projectnota m.e.r. gesteld en een milieu-inventarisatie. Op basis hiervan is een aantal aspecten genoemd waarmee rekening dient te worden gehouden.

Milieu

De milieubelasting dient zoveel mogelijk te worden beperkt. Onderdeel hiervan is het streven naar hergebruik, dit geldt in de eerste plaats binnen het traject Ketelbrug-Ramspol, maar in de tweede plaats ook binnen het totale dijkverbeteringsprogramma van de IJsselmeerdijken. Het gebruik van vrijkomende materialen elders uit het land (bijvoorbeeld Zeeland) wordt uitgesloten vanwege het feit dat binnen het Project Zeeweringen (in Zeeland) alle materialen al worden hergebruikt en vanwege de te hoge transportkosten. Sommige materialen, bijvoorbeeld koperslabblokken, mogen slechts boven streefpeil toegepast worden vanwege het risico van uitloging.

Ecologie

Er is geen sprake van getijbeweging en een zoutwatermilieu, zodat er veel minder eisen worden gesteld aan behoud van natuurwaarden of verbetering van de natuurpotenties dan bijvoorbeeld langs de Westerschelde het geval is. Wel is er de voorkeur voor een open constructie, zodat vegetatie mogelijk is.

Landschap

Het beleid dient erop te zijn gericht om het strakke en uniforme karakter van de dijken langs de Noordoostpolder te behouden. De taludhelling van het bovenbeloop mag dan ook niet gewijzigd worden. Door toepassing van verschillende type bekleding op het onderbeloop zou een 'lappendeken' kunnen ontstaan, wat afbreuk doet aan het uniforme karakter. In de milieu-inventarisatie wordt de voorkeur uitgesproken voor basalt of betonzuilen in basaltvorm (eventueel voorzien van zwarte toplaag). Voor de stormberm kan aangesloten worden bij reeds toegepaste bekledingstypen. Het principe van eenheid in de bekleding geldt ook voor het bovenbeloop. Vanuit het oogpunt van landschap gaat de voorkeur uit naar losse elementen (bijvoorbeeld zuilen), zodat de ruimte ertussen begroeid kan raken en een min of meer groene dijk wordt verkregen.

Cultuurhistorie

Er dient te worden gestreefd naar behoud van cultuurhistorisch waardevolle aspecten. Voor onderhavig tracé zijn geen specifieke punten genoemd, behalve het handhaven van een monument ten westen van Schokkerhaven.

Recreatie

Bij verbetering van de bekleding dient te worden gestreefd naar het mogelijk maken van recreatief medegebruik. Dit betekent dat de onderhoudsweg met gladde bekleding dient te worden uitgerust, zodat deze voor fietsers toegankelijk is en een relatief ruw talud zodat dit voor vissers toegankelijk is.

In de projectnota m.e.r. zijn een aantal aanvullende eisen gesteld aan de uitvoering. Een belangrijke eis is dat de taludhelling van het bovenbeloop niet gewijzigd mag worden. Tevens staat in de projectnota aangegeven dat de berm ten oosten van km 39,15 zal worden verhoogd naar NAP +2,25 meter.

6.1.2 *Verzamelen gegevens*

De huidige geometrie van het betreffende deel dijk is bekend aangezien er een toetsing is uitgevoerd. Voor de toetsing hebben inmetingen van de actuele geometrie plaatsgevonden.

Er zijn maatgevende golfbelastingen vastgesteld met behulp van Hydra-Q en vastgelegd door Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied. Dit zijn in principe toetswaarden, zodat deze voor het ontwerp moeten worden aangepast. Voor het ontwerp is rekening gehouden met 10 centimeter meerspiegelstijging in 50 jaar. Dit resulteert in een verwaarloosbare invloed op de golfbelastingen en in 10 centimeter hogere maatgevende waterstanden.

6.1.3 *Vaststellen vakindeling*

Hydraulische randvoorwaarden

In Tabel 6-1 zijn de (toets-)golfrandvoorwaarden en de ontwerppeilen voor de gezette steenbekledingen opgesomd. De paren golfrandvoorwaarden (H_s en T_p) kunnen gebruikt worden voor de gehele zone waarvoor ze afgegeven worden. Ter verkrijging van de maatgevende waterstanden (ontwerppeilen) zijn de toetspeilen vermeerderd met 0,1 meter, met het oog op de toekomstige meerspiegelstijging.

De vakindeling is gebaseerd op Hydra-Q. Aangezien Hydra-Q een onnauwkeurigheid in de randvoorwaardenvakken van enkele tientallen meters kent, is verschuiven van de vakgrenzen tot 50 meter zonder meer toegestaan. Dit verschuiven van de grenzen van de randvoorwaardenvakken kan zinvol zijn om aan te sluiten bij grenzen van bekledingsvakken of vakken met eenzelfde geometrie. Eventueel moet aangesloten worden op de vakindeling zoals die gehanteerd wordt voor andere onderdelen van de waterkering. De gehanteerde vakken dienen in de legger van de beheerder opgenomen te worden ten behoeve van toekomstige toetsingen.

Tabel 6-1: Golfrandvoorwaarden

traject [km]	niveau [m tov NAP]	H_s [m]	T_p [s]	toetspeil [m +NAP]	ontwerppeil [m +NAP]
38,00 – 40,10	< -0,1	0,88	4,30	2,70	2,80
	-0,1 – 1,1	0,99	5,06		
	1,1 – 3,5	1,03	6,11		
	> 3,5	1,10	5,07		

Huidige geometrie en bekleding

De glooiing wordt besproken van teen tot aan bovenbeloop. Het interessegebied voor het ontwerp van steenbekleding strekt zich uit van teen tot kruin. Van belang voor ontwerp zijn de kern van de dijk en de bekleding (toplaag, granulaire onderlaag en onderlaag). De glooiingen zijn geïnventariseerd en getoetst door Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied. Naast een korte beschrijving van de aspecten die van belang zijn voor het ontwerp wordt in het kort de huidige bekleding beschreven.

De teen ligt onder NAP. Het onderbeloop van de Ramsdijk is voornamelijk bekleed met graniet en basalt, maar ook komen betonblokken voor. De berm (onderhoudsweg)

bestaat uit betonblokken, asfalt op klinkers en klinkers. De ligging van de berm varieert van NAP +1,3 meter tot NAP+1,65 meter, dus ruim onder ontwerppeil. Het bovenbeloop heeft over het gehele traject een grasbekleding. Het basismateriaal van het bovenbeloop bestaat uit zand, afgedekt door een kleilaag, dik minimaal 0,57 meter.

Vastgestelde vakindeling

In het kader van de toetsing is op basis van hydraulische randvoorwaarden en huidige geometrie en bekleding, gekozen voor de vakindeling zoals aangegeven in Tabel 6-2. De genoemde bekledingen betreffen de vlakken met de score 'onvoldoende'.

Tabel 6-2: Vakindeling en vakken op onder- en bovenbeloop met de score 'onvoldoende'

profiel [km]	traject [km]	Onderbeloop		Bovenbeloop	
		bekleding	onder- en bovengrens	bekleding	onder- en bovengrens
38,10	38,00– 38,14	beton- blokken	NAP+1,30m tot NAP+1,45m *	Gras	van berm tot toetspeil (golfklapzone)
39,7	39,00– 40,10	klinkers	NAP+1,30m tot NAP+1,65m	Gras	van berm tot toetspeil (golfklapzone)

*: het betreft hier een vrijwel horizontaal gedeelte van de berm.

6.2 Ontwerp bekleding

6.2.1 Voorselectie bekledingstypen

Voor een keuze ten aanzien van de bekledingstypen wordt onderscheid gemaakt in onderbeloop, berm en bovenbeloop.

De volgende toplaagsystemen worden op voorhand mogelijk geacht, zoals beschreven in 'Algemene nota ontwerpuitgangspunten bekleding Ketelbrug-Ramspol':

- steenzetting op uitvullaag op een geokunststof;
- breuksteen op granulaire filter of geokunststof (al dan niet gepenetreerd);
- toplaag met samenhang (klei- of grasbekleding);
- plaatconstructie (waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt);
- overlaagconstructie.

N.B.

Ad c.: Doorgroeiconstructies en blokkenmatten worden -in de algemene nota van ontwerpuitgangspunten bekleding van de Noordoostpolderdijken- niet beschouwd als bewezen constructies op primaire keringen.

Ad e.: Overlaagconstructies worden toegepast op het benedenbeloop van een dijk als daarmee de hoger gelegen bekleding gehandhaafd kan worden. Omdat er geen middentafel met de score 'goed' aanwezig is boven een 'onvoldoende' onderste deel van de glooiing en op grond van esthetische redenen, valt dit type af op dit traject.

Beschikbaarheid van toplaagelementen

In het IJsselmeergebied zijn nog nauwelijks verbeteringsprojecten uitgevoerd, zodat er weinig mogelijkheden zijn voor hergebruik van reeds vrijgekomen materialen. De

meeste materialen die vrijkomen uit het traject zelf (betonblokken, klinkers) zijn ongeschikt om als toplaagelementen te hergebruiken.

Er komt wel een beperkte hoeveelheid als 'goed' beoordeelde basaltzuilen beschikbaar. De basaltzuilen komen vrij uit verbeteringswerken op het traject zelf, te weten uit het vak tussen km 39,0 en km 40,1. De strook basalt die opgenomen wordt ligt boven een vak graniet en onder een bekleding van klinkers. De score van de graniet- en de basaltbekleding is 'goed', maar de klinkers dienen verwijderd te worden. Om praktische en esthetische redenen is besloten de basaltzuilen ook te vervangen.

Bescherming tegen erosie

Een klei- of grasbekleding is vanwege te zware golfbelasting in combinatie met te steile hellingen niet toepasbaar. Er wordt gekozen voor een bekledingsstelsel van standaardelementen met zowel een granulaire laag als met een geokunststof.

Uitvoering en beheer

Ten aanzien van uitvoering zijn geen bijzonderheden vermeld. Vanuit het oogpunt van beheer wordt de voorkeur gegeven aan bekleding die 'machinaal herzetbaar' is. Daarom ligt het voor de hand om voor betonnen elementen te kiezen en niet voor natuursteen. 'Herzetbaar' geeft aan dat de voorkeur van de beheerder uitgaat naar elementen en niet naar een plaatconstructie van open steenasfalt of waterbouwasfaltbeton. Gevoelsmatig wordt de voorkeur gegeven aan eenvormige betonzuilen, aangezien verwacht wordt dat deze het beste herzetbaar zijn.

Ecologie

Er is voorkeur voor een open constructie (zuilen).

Landschap, cultuurhistorie en recreatie

Ten aanzien van het landschap en de cultuurhistorie bestaat de wens dat de uniformiteit van de dijkbekleding wordt gehandhaafd. Dit resulteert in de voorkeur voor betonzuilen, eventueel met zwarte toplaag. Vanwege de betreedbaarheid van het talud voor vissers wordt de voorkeur gegeven aan betonzuilen of een plaatconstructie van waterbouwasfaltbeton of open steenasfalt. Eventueel kunnen op specifieke locaties trapjes of een getrapte zuilbekleding worden aangelegd.

Selectie

Op basis van de voornoemde aspecten komen de onderstaande bekledingen in aanmerking:

- Onderbeloop: nieuwe betonzuilen en vrijkomende basaltzuilen;
- Berm: asfaltbeton op een goede fundering;
- Bovenbeloop: zo mogelijk een grasbekleding, anders nieuwe betonzuilen.

6.2.2 *Keuze en ontwerp van de filterconstructie*

Keuze wel of geen filter

Het plaatsen van de elementen direct op geokunststof of direct op klei wordt niet beschouwd als mogelijkheid. Bij plaatsing direct op klei bestaat kans op klei-erosie. Een granulaire uitvullaag is gewenst vanuit uitvoeringstechnisch oogpunt. Er wordt dus gekozen voor een uitvullaag.

Keuze geokunststof of granulair filter

Als filter wordt gekozen voor een geokunststof met daarop een granulaire uitvullaag. Toepassing van een granulair filter zonder geokunststof leidt tot een grotere laagdikte

en is daarom moeilijker inpasbaar. Omdat vanwege de uitvoering een granulaire uitvullaag gewenst is, wordt een combinatie van geokunststof en granulaire laag toegepast.

Keuze soort geokunststof en dimensionering

Het geokunststof onder de gezette steenbekleding wordt voor het gemak type 1 genoemd. De functie van het kunststofweefsel is uitspoeling vanuit de ondergrond te voorkomen. Maatgevend in deze is de poriëngrootte O_{90} .

Aangezien er sprake is van een geokunststof op klei, kan niet worden voldaan aan alle eisen voor geometrische dichtheid. Daarom dient te worden voldaan aan de eisen van hydraulisch-dichtheid.

Ten eerste geldt als eis voor hydraulisch-dichtheid voor dit type filterconstructie, dat de karakteristieke openingsgrootte O_{90} van het geokunststof kleiner moet zijn dan $200 \mu\text{m}$. Voorts geldt voor hydraulisch-dicht ontwerp van een geokunststof dat het optredend verhang (op- en neerwaarts) kleiner moet zijn dan het kritieke verhang. In formule:

$$i\uparrow < icr\uparrow \text{ en } i\downarrow < icr\downarrow$$

1. Voor het optredend neerwaarts verhang $i\downarrow$ geldt dat deze gelijk is aan de sinus van de taludhelling ($\sin \alpha$).
2. Voor het optredend opwaarts verhang $i\uparrow$ geldt dat deze afhangt van de golfhoogte H_s , de taludhelling α , de brekerparameter ξ_{0p} en het stijghoogteverschil over de toplaag. De waarde van $i\uparrow$ is bepaald met behulp van STEENTOETS.
3. Het kritieke verhang is voor deze constructieopbouw (granulaire laag op geokunststof op klei) hetzelfde in opwaartse en neerwaartse richting. De waarde is afhankelijk van de porositeit n en de fijne fractie van de granulaire laag en de kwaliteit van de klei.

Ad 1. en Ad 2.

De waarden van het optredende verhang worden apart bepaald voor onder- en bovenbeloop.

De steilste taludhelling op het onderbeloop is 1:2,9 zodat $\sin \alpha$ de waarde 0,326 heeft; dit is dus ook de waarde van $i\downarrow$. Bij invoer van de golfbrandvoorwaarde ($H_s=1,03$ m en $T_p=6,11$ s), de hoogte van de basaltzuilen (rekenwaarde 0,18 meter) en granulaire laagdikte (rekenwaarde 10 centimeter) volgt uit STEENTOETS een opwaarts verhang van 0,734.

De steilste taludhelling op het bovenbeloop is 1:2,8 zodat $\sin \alpha$ de waarde 0,336 heeft. Bij invoer van de golfbrandvoorwaarde ($H_s=1,03$ m en $T_p=6,11$ s), de hoogte en dichtheid van de betonzuilen (0,30 meter) en granulaire laagdikte (rekenwaarde 10 centimeter) volgt uit STEENTOETS een opwaarts verhang van 0,726.

Ad. 3

Aangezien er sprake is van reeds aanwezige klei, wordt er uitgegaan van matige of slechte klei. Voor n is de waarde 0,35 aangehouden en voor D_{f15} 22 mm, hierbij krijgt icr de waarde 4,45.

De optredende verhangen $i\uparrow$ en $i\downarrow$ zijn veel kleiner dan de kritieke waarde icr . Op basis daarvan kan worden gesteld dat een geokunststof met O_{90} kleiner dan $200 \mu\text{m}$ onder

een granulaire laag van 10 centimeter in alle gevallen ruim voldoet aan de eisen voor hydraulisch-dichtheid.

In lijn met deze berekening en op basis van praktische en uitvoeringstechnische eisen wordt een geokunststof met de volgende eigenschappen toegepast:

- Porië grootte $O_{90} \leq 100 \mu\text{m}$;
- Treksterkte $\geq 20 \text{ kN/m}$;
- Rek bij breuk $\leq 60 \%$;
- Doordrukkracht $\geq 3500 \text{ N}$;
- Levensduur ≥ 50 jaar.

Aan de onderzijde van de glooiing wordt het geokunststof aangesloten op de teen- of overgangconstructie of wordt over een lengte van circa 1 meter aangebracht onder de te handhaven bekleding (die wordt opgenomen en herzet). Aan de bovenzijde wordt het geokunststof doorgetrokken tot op de onderhoudsstrook, waardoor een overlap van 1 m ontstaat met het geokunststof onder de onderhoudsstrook. Naar dit geokunststof wordt verwezen als type 2. Op basis van uitvoeringstechnische en praktische eisen wordt voor geokunststof type 2 een weefsel met de volgende eigenschappen toegepast:

- Treksterkte $\geq 50 \text{ kN/m}$ (ketting en inslag);
- Rek bij breuk $\leq 20 \%$ (ketting en inslag);
- Verval in doorlatendheidsproef $\leq 30 \text{ mm}$ (bij filtersnelheid 10 mm/s);
- Porië grootte $O_{90} \leq 350 \mu\text{m}$;
- Levensduurverwachting: type B (NEN 5132);
- Sterkte naainaad $\geq 50\%$ van de breuksterkte geokunststof.

6.2.3 Dimensionering op toplaagstabiliteit

Er is sprake van dimensionering van standaardelementen op een granulaire laag.

Een belangrijk aspect bij de dimensionering van de bekleding is de taludhelling. Binnen bepaalde grenzen bestaat er vrijheid om deze te kiezen. Voor dit project geldt dat het talud van het bovenbeloop gehandhaafd dient te worden. Omdat het vanwege aansluiting op te handhaven bekledingsstroken onpraktisch is om de hele helling uit te vlakken én vanuit het oogpunt van minimaal grondverzet, worden de bestaande hellingen over het grootste deel van het onderbeloop gehandhaafd.

Per vak is een ontwerpprofiel geselecteerd als representatief dwarsprofiel voor dat vak. Deze selectie is gebaseerd op de taludhelling, hoogte van de berm, bekleding en dergelijke.

Het niveau van de berm varieert globaal tussen NAP +1,4 meter en NAP +1,8 meter. In de projectnota MER zijn nieuwe bermniveaus vastgesteld voor het gedeelte tussen km 39,15 – 40,10. Het onderbeloop op het gedeelte km 39,15 – 40,10 krijgt een constante helling van 1:3,1. Het talud van het bovenbeloop wordt gehandhaafd. Dit alles resulteert in de vakindelingen en taludhellingen zoals in Tabel 6-3.

Tabel 6-3: Steilste taludhellingen per ontwerpprofiel

profiel [km]	traject [km]	helling onderbeloop (bestekswaarde)	nieuwe bermniveau [m t.o.v. NAP]
38,1	38,00 – 38,14	1:3,3	1,35
39,1	39,00 – 39,15	1:4,0	1,45
39,7	39,15 – 40,10	1:3,1	2,25

Rekening houdend met uitvoeringstolerantie en tonrondte wordt in de berekeningen een steiler taludhelling verdisconteerd. Op vakken waar het gehele onderbeloop vervangen moet worden, wordt de berekening uitgevoerd met een taludhelling die 0,4 steiler is dan de tangens van de aanwezige helling. Daarbij is er van uitgegaan dat de nieuwe bekleding wordt aangelegd met een tonrondte. Daar waar alleen de bovenste bekleding op het onderbeloop vervangen wordt, wordt alleen met uitvoeringstolerantie rekening gehouden; de berekening wordt met 0,2 steiler uitgevoerd.

Betonzuilen

Per vak is berekend wat de lichtst toepasbare betonzuil is. Daarbij is de dichtheid afgerond op een veelvoud van 100 kg/m³ en de dikte op een veelvoud van 5 centimeter. Dit zijn praktisch leverbare maten en dichtheden. De uiteindelijke keuze voor een zuiltype wordt bepaald door een afweging van kosten, uitvoeringstechniek en beheersaspecten.

Voor de dikte van de granulaire laag wordt gewoonlijk in de berekeningen gebruik gemaakt van standaardontwerpwaarden waarbij een extra marge van 5 centimeter wordt aangehouden ten opzichte van de bestekswaarde (uitgaande van sortering 14/32 mm is de bestekswaarde 0,10 meter). In de praktijk van dit voorbeeld wordt echter een sortering 20/40 mm toegepast, omdat de beheerder een grotere veiligheid tegen uitspoeling van de granulaire laag wenst. In de berekeningen is uitgegaan van D_{r15} gelijk aan 22 mm en een laagdikte b_f van 10 centimeter in bestek met de rekenwaarde 17 centimeter voor tolerantie tijdens uitvoering. In dit geval blijkt uit STEENTOETS-berekeningen dat wanneer de uitvullaag kleiner dan 0,2 meter is, de uitvullaag niet maatgevend is in de ontwerpberekeningen.

De resulterende zuilhoogten en dichtheden voor het onderbeloop zijn aangegeven in Tabel 6-4. De te verbeteren steenbekleding op de trajecten km 38,00 – 38,14 en km 39,00 – 39,15 liggen op de berm, respectievelijk het bovenbeloop.

Tabel 6-4: Toepasbare typen betonzuilen onderbeloop

profiel [km]	traject [km]	rekenwaarde helling onderbeloop	H_s [m]	T_p [s]	type betonzuil [m] / [kg/m ³]
39,7	39,15 – 40,10	1:2,9	1,03	6,11	0,30 / 2300 0,25 / 2400 0,20 / 2800

Basaltzuilen

Voor basaltzuilen moet de constructieve toepasbaarheid bepaald worden voor alle te verbeteren vakken. De dikte van de beschikbare basaltzuilen is variabel. In het bestek worden de zuildiktes afgerond op 5 centimeter, terwijl bovendien een sorteermarge van 3 centimeter wordt gehanteerd. De algemene methodiek is als volgt. Uitgaande van de vastgestelde randvoorwaarden en taludhellingen wordt vastgesteld tot welk niveau basaltzuilen met een dikte van 17 centimeter, 22 centimeter, 27 centimeter, et cetera toegepast kunnen worden. De praktische bestekswaarden worden dan 20 centimeter, 25 centimeter, 30 centimeter, et cetera.

Dit verbeteringswerk kent een relatief smalle strook op het onderbeloop, daarom is een omgekeerde rekenwijze toegepast. Uitgaande van de taludhelling is bepaald welke zuilhoogtes nog voldoen op het hoogste niveau (bovenkant onderbeloop). Deze rekenwaarden zijn afgerond met sorteermarges tot bestekswaarden. Voor de granulaire laag zijn dezelfde parameters als voor betonzuilen aangehouden. De resultaten staan in Tabel 6-5.

Tabel 6-5: Reken- en bestekswaarden hoogte basaltzuilen onderbeloop

profiel [km]	traject [km]	rekenwaarde helling	vereiste zuilhoogte (rekenwaarde) [m]	vereiste zuilhoogte (bestekswaarde) [m]
39,7	39,15 – 40,10	1:2,9	0,18	0,25

Inwasmateriaal

Ter verkrijging van extra klemming worden de zuilen ingewassen met steenslag van minstens 5 – 32 mm, circa 50 kg/m². Op verzoek van de beheerder is gekozen voor basaltspit met standaardsoortering 16 – 32 mm.

6.2.4

Samenstellen varianten

Samenvatten toepasbare bekledingen in overzichtstabel

Aangezien in dit voorbeeld een vrij groot deel van het dwarsprofiel bestaat uit berm en bovenbeloop is het in dit geval zinvol deze onderdelen reeds in deze fase te beschouwen. Het ontwerpproces in deze Handreiking gaat er vanuit dat deze onderdelen in de volgende stappen worden gedimensioneerd, daarom wordt voor de dimensionering ervan verwezen naar de volgende paragrafen.

Zoals in de vorige paragraaf berekend, is het mogelijk om betonzuilen of basaltzuilen toe te passen op het onderbeloop. Voor de betonzuilen geldt dat in principe de lichtste zuil (met standaard: dichtheid beton 2300 kg/m³) de voorkeur heeft. De reden is dat deze zuilen bij zuilhoogte 25-30 centimeter het goedkoopst zijn. Een tweede overweging voor deze keuze is, dat het tijdens de uitvoering makkelijker is om de zuilen op de juiste plaats te laten komen door te sturen op basis van verschillende zuilhoogte dan op basis van verschillend soortelijk gewicht. Dit vanwege het ontbreken van visueel onderscheid tussen zuilen met verschillende dichtheid. De gekozen zuiltypen voor het onderbeloop staan in Tabel 6-6.:

Tabel 6-6: Mogelijke zuiltypen en zuilhoogten onderbeloop

profiel [km]	traject [km]	rekenwaarde helling	type zuil
39,7	39,15–40,10	1:2,9	0,30 / 2300: beton (m / kg/m ³)
39,7	39,15–40,10	1:2,9	0,22 / 0,25: basalt (zuilhoogte rekenwaarde/ bestekswaarde)

Voor de berm zijn de volgende bekledingstypen mogelijk (zie voor dimensionering §6.3.2 Berm):

Tabel 6-7: Mogelijke zuiltypen en zuilhoogten berm

Profiel [km]	traject [km]	type betonzuil [m] / [kg/m ³]	hoogte basaltzuil [m]
38,1	38,0 – 38,14	0,40 / 2300	0,24
39,07	38,15 – 39,20	0,35 / 2300	0,23
39,7	39,20 – 40,10	0,30 / 2300	0,18

Voor het bovenbeloop zijn de volgende bekledingstypen mogelijk (voor dimensionering van het buitentalud boven het ontwerppeil, zie §6.3.3):

Tabel 6-8: Mogelijke betontypen bovenbeloop

profiel [km]	Traject [km]	helling [cot]	rekenwaarde helling [cot]	H _s [m]	T _p [s]	type betonzuil [m] / [kg/m ³]
38,1	38,00 – 38,14	3,0	2,8	1,03	6,11	0,30 / 2300
38,7	38,14 – 39,00	3,0	2,8	1,03	6,11	0,30 / 2300
39,7	39,00 – 40,10	3,1	2,9	1,03	6,11	0,30 / 2300

Beschikbaarheid van toplaagelementen

Er is een relatief kleine hoeveelheid basaltzuilen beschikbaar, die mede vanwege het handmatige zetwerk, uitermate geschikt zijn om toe te passen in kleine vakken tussen te handhaven basaltglooiingen.

De locatie tussen km 38,0 en 38,14 is zo'n vak. Dit betreft een vrijwel horizontaal gedeelte op de berm. Een andere locatie is het onderbeloop van km 39,15 – 40,10 op het traject voor de herprofilering van de verhoogde berm. Hierbij is de overgang van bermhoogte ter plaatse van km 39,15 inbegrepen. Het restant van de basaltzuilen kan in depot worden gezet voor toepassing in een later stadium voor de verbeteringswerkzaamheden Urk – Ketelbrug.

Samenstellen van dwarsprofielen

Geverifieerd dient te worden of de zuilen op het onderbeloop voortgezet kunnen worden op de berm. Het is onpraktisch om op de berm een lichtere zuil toe te passen dan op het onderbeloop. Omgekeerd echter, wanneer alleen op de berm een zwaardere zuil moet worden toegepast, wordt de zwaardere zuil niet over het hele onderbeloop toegepast uit oogpunt van kosten.

In Tabel 6-9 zijn de mogelijke bekledingen per profiel gepresenteerd.

Tabel 6-9: Mogelijke bekledingen per profiel

profiel [km]	traject [km]	bekleding		
		onderbeloop [m]	berm [m]	bovenbeloop [m] / [kg/m ³]
38,1	38,00 – 38,14	n.v.t.	basalt min. 0,26	betonzuilen 0,30 / 2300
38,7	38,14 – 39,00	n.v.t.	n.v.t.	betonzuilen 0,30 / 2300
39,07	39,00 – 39,15	n.v.t.	n.v.t.	betonzuilen 0,30 / 2300
nvt	39,15 – 39,20	basalt min. 0,25	basalt min. 0,25	betonzuilen 0,30 / 2300
39,7	39,20 – 40,10	basalt min. 0,25	idem onderbeloop	betonzuilen 0,30 / 2300

6.2.5

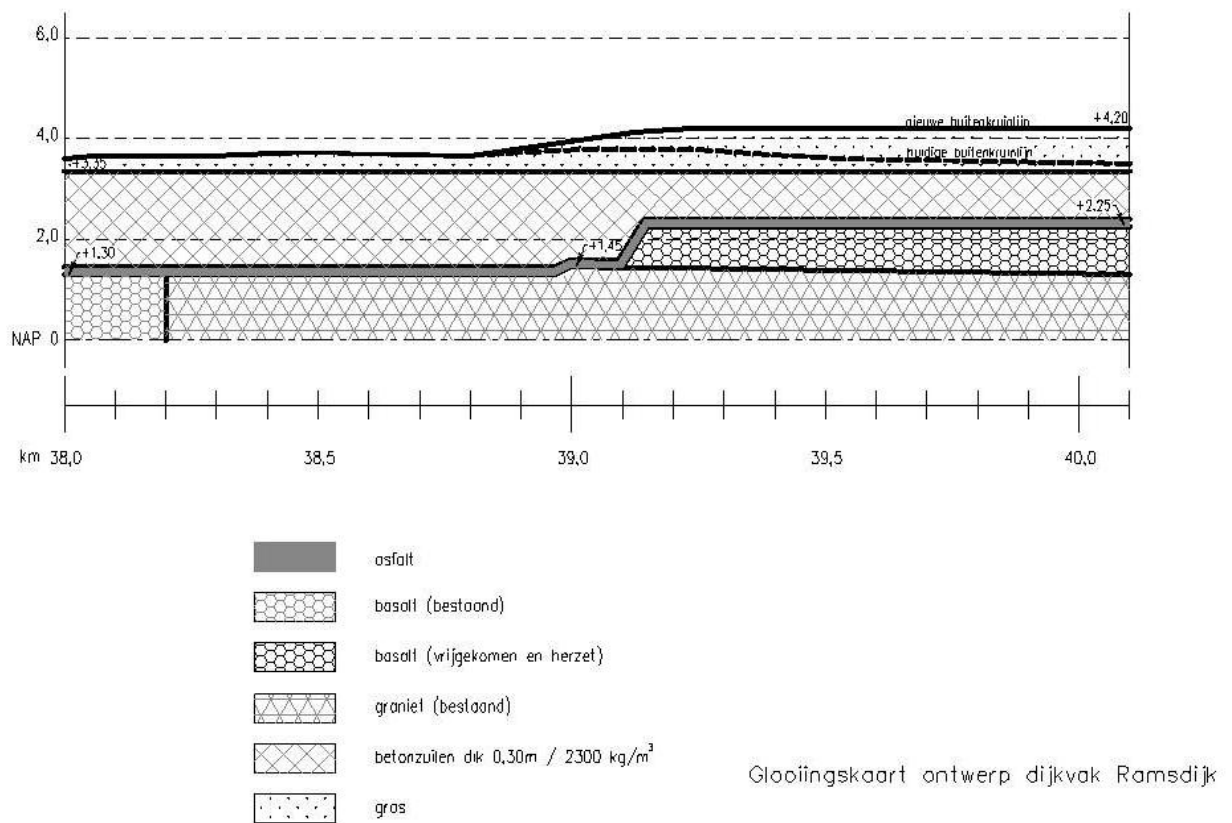
Weerstand tegen afschuiven

Aangezien op het gehele onderbeloop sprake is van aanwezigheid van de keileemkade tot aan bermniveau, is de weerstand tegen afschuiving gewaarborgd. Daar waar bermophoging moet plaatsvinden, moet worden aangevuld met klei opdat ook hier de weerstand tegen afschuiving gewaarborgd is.

Uit STEENTOETS blijkt dat bij deze waarden de dikte van de kleilaag ruim voldoende is. Er wordt uitgegaan van een minimum kleilaagdikte van 0,57 meter omdat deze lokaal is aangetroffen. Indien toch wordt aangevuld (wat op andere trajecten het geval is), wordt gekozen voor een laagdikte van 0,80 meter in verband met uitvoeringsaspecten en de waterafdichtende functie van de kleilaag.

6.2.6 Afweging en keuze bekleding per vak

Lopende het ontwerpproces zijn al keuzes gemaakt, waardoor bij de samenstelling van de varianten rekening is gehouden met de wensen. De varianten zijn getoetst op afschuiving en voldoen. Daarom wordt gekozen voor de bekleding zoals aangegeven in de voorgaande tabel. In Figuur 6-2 staat het aanzicht van het ontwerp met de indeling van de bekledingstypen.



Figuur 6-2: Glooiingskaart Ramsdijk

6.3 Ontwerp overige onderdelen

6.3.1 Overgangs- en aansluitingsconstructies

Horizontale overgangen komen voor tussen basalt en nieuw aan te brengen betonzuilen. Voor het machinaal zetten van betonzuilen is een rechte basislijn vereist. Daarom worden boven de basaltzetting perkoenpalen en betonbanden aangebracht. De naad tussen de basaltzuilen en de overgangsconstructie alsmede de overgangsconstructie zelf worden ingegoten met gietasfalt of colloïdaal beton. Dit gebeurt voordat de bekleding ingewassen wordt. Gekozen wordt voor gietasfalt omdat gietasfalt duurzamer is. De reden van de ingieting is dat de betonband tegen perkoenpalen staat, waardoor de basaltzuilen niet geklemd worden. De ingieting compenseert dit.

Aansluitend op de gezette bekleding van het onderbeloop wordt op de berm een onderhoudspad aangebracht. De overgang wordt uitgevoerd met een ronding, waarvan de bochtstraal (R) 10 meter is. Boven de afronding wordt de bekleding nog circa 1 meter doorgezet op de berm. Omdat het funderingsmateriaal uit hydraulische fosforslakken bestaat, kan het asfalt direct tegen de gezette steenbekleding

aangestort worden: de hydraulische slakken zullen samenkiten, waardoor de waterdrukken zich niet kunnen voortplanten vanuit de uitvullaag onder de steenzetting tot onder het asfalt.

Omdat de beheerder de wens heeft uitgesproken voor een aansluitende betonband tussen de glooiingselementen en de onderhoudsstrook, wordt deze aangebracht. De naad tussen de bovenste rij elementen en de betonband wordt gepenetreerd met bijvoorbeeld gietasfalt. Aan de binnenzijde van de onderhoudsweg wordt op verzoek van de beheerder een afgeschuinde betonband geplaatst. De steenzetting van het bovenbeloop kan daar tegenaan worden geplaatst.

Verticale overgangen tussen basalt en betonzuilen moeten handmatig dichtgezet worden. Hier zijn dus geen overgangsconstructies nodig.

In het geval dat gekozen wordt voor betonzuilen van het type Basalton dienen bij de aansluiting tussen basalt en beton de pakketten betonzuilen intact te blijven. De resterende oppervlakten moeten met basalt of losse betonzuilen dichtgezet worden.

6.3.2

Berm

Het bermniveau is van groot belang voor de technische toepasbaarheid van gezette steenbekledingen op de berm. Vaak is de belasting hoger en de inklemming kleiner. Daarom moeten bekledingen op bermen vaak zwaarder uitgevoerd worden dan bekledingen lager op het talud. In het IJsselmeergebied is per verticale zone een constante set van golfhoogte en golfperiode geldig (zie ook Tabel 6-1). Voor elke waterstand binnen die zone kan dus één en dezelfde golfhoogte en –periode gebruikt worden. Dit vereenvoudigt de werkwijze enigszins.

Steenzettingen op een berm worden berekend door de steenzetting te berekenen als geplaatst op een fictieve taludhelling die het gewogen gemiddelde is van het talud boven en onder de berm. Vervolgens wordt de gevonden elementdikte of zuilhoogte vermenigvuldigd met de bermfactor.

Voor de fictieve helling kan als eerste benadering de steilste van alle hellingen van het onder- en bovenbeloop aangehouden worden. Die benadering is echter te conservatief. Een andere methode kan zijn om de fictieve helling te bepalen uit de steilste helling van afzonderlijk boven- en onderbeloop in een bepaald traject. Omdat deze hellingen echter meestal niet samen voorkomen in één profiel is ook dit een te conservatieve benadering. De hier gebruikte methode is dat per traject voor elk profiel (met tussenafstanden van 100 meter) de fictieve helling bepaald wordt. De steilste fictieve helling is per traject als maatgevend beschouwd.

Een waterstand lager dan de ontwerpwaterstand kan de maximale belasting op de berm veroorzaken. Als de maximale bermfactor en de steilste taludhelling van het dwarsprofiel niet samenvallen, is niet op voorhand duidelijk welke waterstand de maatgevende is. Aan de hand van enkele stabiliteitsommen moet de maatgevende waterstand bepaald worden. Dit is geldig voor enkele dwarsprofielen. Daarom zijn per traject de mogelijke situaties uitgerekend om de maatgevende situaties te vinden. In de volgende tabel staat de berekening voor een deel van het traject, namelijk van km 38,0 – 38,14. De vetgedrukte waarden geven combinaties van waarden aan die mogelijk maatgevend kunnen zijn.

Tabel 6-10: Fictieve taludhellingen berm

traject 38,0 – 38,14					
profiel [km]	helling onderbeloop [cot]		helling bovenbeloop [cot]		
38,0	1,8		4,4		
38,1	3,3		3,0		

H _s [m]	T _d [s]	S _{ob} [-]	1,5*H _s [m]	bermniveau [m+NAP]	ontwerppeil [m+NAP]
1,03	6,11	0,02	1,55	1,35	2,80

waterstand [m+NAP]	d _B /H _s [-]	f [-]	fictieve helling per profiel [cot]	
			km 38,0	km 38,1
1,55	0,19	0,6	2,1	3,3
1,75	0,39	0,7	2,5	3,2
1,90	0,53	0,8	2,7	3,2
2,10	0,73	1,1	3,1	3,2
2,30	0,92	1,25	3,4	3,1
2,50	1,12	1,33	3,7	3,1
2,80	1,41	1,33	4,1	3,0

Ter illustratie: de combinatie f=1,1 en cot=3,1 kan niet maatgevend zijn omdat de combinatie f=1,33 en cot=3,0 zeker ongunstiger is. De gebruikte figuren voor de bermfactor zijn die bij een golfsteilheid S_{op} = 0,035 en taludhelling 1:4 en 1:3.

De berekening van de fictieve helling bij waterstand NAP + 2,5 meter voor profiel 38,0 gaat als volgt:

- Niveau Y = 2,50 – 1,55 = NAP +0,95 meter
- De berm ligt boven Y, dus P = 1,15 en Q = 0,40
- De fictieve helling wordt dan $\alpha_{berm} = 1 / (1,15*4,4 + 0,4*1,8) / 1,55 = 1:3,7$

De bermfactoren voor de verschillende trajecten zijn vermeld in onderstaande tabel. Voor de rekenwaarde van de helling is 0,2 in mindering gebracht vanwege uitvoeringstolerantie. Het betreft hier alleen een aanpassing van het bovenste deel van het talud, daarom wordt in dit geval geen extra mindering van 0,2 voor de tonrondte in rekening gebracht.

Tabel 6-11: Maatgevende belastingsituaties voor bekleding op berm

profiel [km]	traject [km]	fictieve helling [cot]	rekenwaarde helling [cot]	bermfactor [-]	H _s [m]	T _p [s]
38,1	38,0–38,14	2,1	1,9	0,6	1,03	6,11
		2,5	2,3	0,7	1,03	6,11
		2,7	2,5	0,8	1,03	6,11
		3,0	2,8	1,33	1,03	6,11
39,07	39,15–39,20	3,2	3,0	1,33	1,03	6,11
39,7	39,20–40,10	3,1	2,9	0,95	1,03	6,11

Op basis van deze waarden zijn de benodigde zuilhoogtes van betonzuilen en basalt berekend. De resultaten staan in de volgende tabel. De zuilhoogtes zonder bermfactor zijn hierbij niet afgerond op 5 centimeter, dat gebeurt pas na toepassing van de bermfactor. Per traject staat vet gedrukt welk zuiltype of welke zuilhoogte de voorkeur heeft.

Tabel 6-12: Zuiltypen en zuilhoogten berm

profiel [km]	traject [km]	type beton- zuil zonder bermfactor [m] / [kg/m ³]	type beton- zuil met bermfactor [m] / [kg/m ³]	hoogte basaltzuil zonder bermfactor [m]	hoogte basaltzuil met bermfactor [m]
38,1	38,0 – 38,14	0,35 / 2300	0,25 / 2300	0,23	0,14
		0,31 / 2500	0,20 / 2500		
	0,27 / 2700				
	0,31 / 2300	0,25 / 2300	0,20	0,14	
	0,27 / 2500	0,20 / 2500			
	0,24 / 2700				
	0,30 / 2300	0,25 / 2300	0,19	0,16	
39,1	39,00 – 39,15	0,26 / 2300	0,35 / 2300	0,17	0,23
		0,20 / 2700	0,30 / 2700		
	0,27 / 2300	0,30 / 2300	0,18	0,18	
	0,23 / 2500	0,25 / 2500			
	0,21 / 2700	0,20 / 2700			
39,7	39,15 – 40,10	0,27 / 2300	0,30 / 2300	0,18	0,18
		0,23 / 2500	0,25 / 2500		
		0,21 / 2700	0,20 / 2700		

Voor het ontwerp van de onderhoudsstrook met asfaltbeton is in eerste instantie de uitvoeringsfase maatgevend. De breedte van de onderhoudsstrook is minimaal 3,0 meter en loopt door tot de binnenknik. De strook is opgebouwd uit een materiaal dat samenkit om te voorkomen dat waterdrukken, die zich voortplanten vanuit de granulaire laag van de steenzetting, het asfalt opdrukken. In dit geval is gekozen voor fosforslakken met een laagdikte van 0,4 meter. De sortering is 0 / 40 mm en de laag komt te liggen op geokunststof type 2. De strook wordt afgewerkt met 60 mm dik steenslagasfaltbeton.

6.3.3

Buitentalud boven ontwerppeil

Op het traject van km 38,0 – 40,10 heeft de bekleding op het bovenbeloop de score 'onvoldoende' en dient daarom vervangen te worden. Als het bermniveau lager ligt dan of gelijk is aan ontwerppeil – H_s , dan moet de bekleding ontworpen worden als een glooiing, dus met STEENTOETS. Voor het traject zijn aparte berekeningen uitgevoerd. Voor de hellingen zijn de steilste van het betreffende traject genomen. Alleen de versteiling van 0,2 in verband met uitvoeringstolerantie wordt verdisconteerd omdat het bovenbeloop niet met tonrondte wordt uitgevoerd. De resultaten staan in Tabel 6-13.

Gekozen is om over het hele traject 0,30 meter/ 2300 kg/m³ toe te passen. De bekleding dient doorgezet te worden tot ontwerppeil + $\frac{1}{2} H_s$, oftewel tot NAP + 3,35m.

In Figuur 6-3 is het dwarsprofiel van km 39,7 gegeven in de nieuwe situatie.

Tabel 6-13: Mogelijke betontypen bovenbeloop

profiel [km]	traject [km]	helling [cot]	rekenwaarde helling [cot]	H _s [m]	T _p [s]	type betonzuil [m] / [kg/m ³]
38,1	38,00 – 38,14	3,0	2,8	1,03	6,11	0,30 / 2300
						0,25 / 2400
						0,20 / 2800
38,7	38,14 – 39,00	3,0	2,8	1,03	6,11	0,30 / 2300
						0,25 / 2400
						0,20 / 2800
39,7	39,00 – 40,10	3,1	2,9	1,03	6,11	0,30 / 2300
						0,25 / 2400
						0,20 / 2800

6.4 Opmerkingen bij het voorbeeld

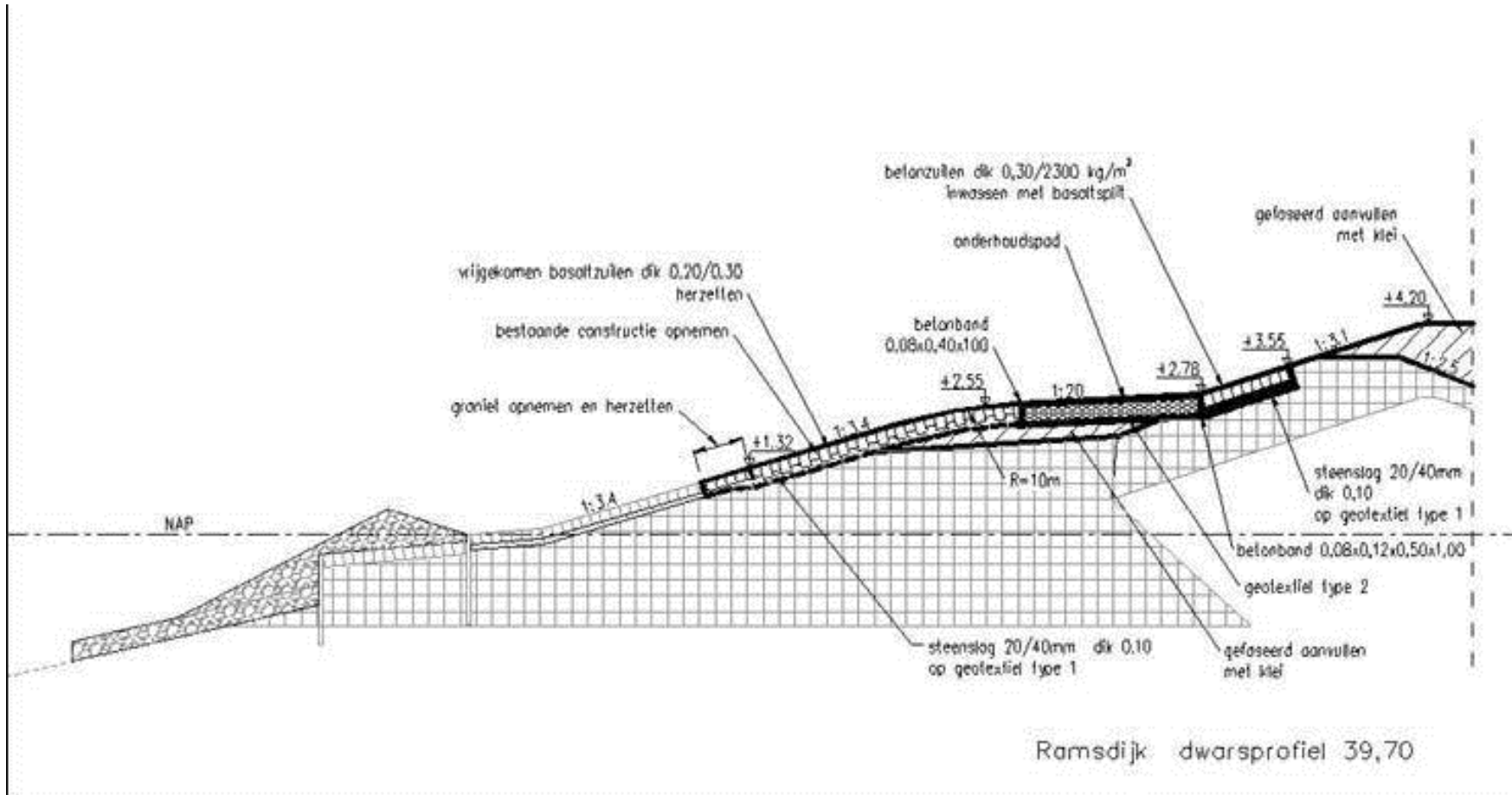
Meestal is het zinvol het ontwerp na te lopen om te zien of er nog winst te behalen valt ten opzichte van de dimensionering door het ontwerp op enkele plekken te verfijnen.

Optimalisatie bermhoogte

In bepaalde gevallen is het zinvol de bermhoogte te optimaliseren. Het verhogen van de berm tot ontwerppeil leidt ertoe dat op de berm geen zwaardere zuilen toegepast hoeven te worden. Daarbij reduceert een hogere berm de golfoploop beter, waardoor mogelijk geen ophoging van de kruinhoogte of aanpassing van het binnentalud nodig is. De bermhoogte is echter in dit voorbeeld in de projectnota m.e.r. vastgesteld en geldt daarom als uitgangspunt voor dit ontwerp.

Optimalisatie randvoorwaarden

Bij de dimensionering is gebruikgemaakt van de zwaarste randvoorwaarden per traject. In sommige gevallen is het mogelijk een glooiing op te delen in stroken op basis van verschillende randvoorwaarden. Afhankelijk van de randvoorwaarden kan dan lager op de glooiing een lichter type elementen (goedkoper) toegepast worden. De golftrandvoorwaarden op de lagere strook zijn echter weinig kleiner dan de gebruikte randvoorwaarden (zie Tabel 6-1), er valt dan ook geen winst te behalen. Een ander belangrijk aspect is of de strook een redelijke afmeting heeft. Bij stroken die zeer smal zijn of een beperkte lengte hebben, is het praktischer om gewoon hetzelfde type elementen over de hele glooiing aan te brengen. Een eventueel kostenvoordeel op het materiaal zou teniet worden gedaan door meerkosten voor uitvoering en beheer.



Figuur 6-3: Dwarsdoorsnede van het ontwerp voor km 39,15 – 40,10

KATERN II: TOETSING

7 Toetsing

7.1 Inleiding

Het toetsen van een waterkering (inclusief bekleding) in het kader van de door de Waterwet voorgeschreven 'periodieke toetsing' op veiligheid dient uitgevoerd te worden op basis van het vigerende Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV⁷) [15] en onderliggende specialistische documenten (onder andere deze Handreiking). Het VTV beschrijft het toetsproces en geeft de beoordelings- en rapportageverplichtingen. De toetsystematiek maakt onderscheid tussen het Technisch oordeel, op basis van toetsregels, en het Beheerdersoordeel. De toetsing volgens toetsregels bestaat uit maximaal drie stappen: de eenvoudige, gedetailleerde en geavanceerde toets:

- De eenvoudige toets is voor de verschillende toetssporen uitgewerkt in het VTV.
- Dit katern bevat de uitwerking van de gedetailleerde toets en handreikingen voor het uitvoeren van een geavanceerde toets voor de beoordeling van steenzettingen.

In de beoordeling van een bekleding worden in grote lijnen drie stappen onderscheiden:

1. Gegevensverzameling;
2. Vaststellen vakindeling;
3. Toetsing.

Stap 1 en 2 horen tot de voorbereiding en staan in paragraaf 7.3 en 7.4. De gedetailleerde toetsing wordt behandeld in paragraaf 7.5 en de geavanceerde analyse wordt behandeld in paragraaf 7.6.

De beoordeling van de stabiliteit van steenzettingen vindt plaats op verschillende beoordelingssporen:

- Toplaaginstabiliteit onder golfaanval ZTG;
- Afschuiving ZAF;
- Materiaaltransport vanuit de onderlaag ZMO;
- Materiaaltransport vanuit de granulaire laag ZMG;
- Erosie van de onderlagen ZEO;
- Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie ZOB.

De gedetailleerde toets kan meestal uitgevoerd worden met behulp van STEENTOETS. De wijze waarop deze toetsing moet plaatsvinden staat beschreven in paragraaf 7.5.

De geavanceerde toets kan bijvoorbeeld bestaan uit het aanscherpen van de standaard-rekenregels aan de hand van lokale omstandigheden, het nader beschouwen van randvoorwaarden of het toepassen van nauwkeuriger rekenmethodes. In paragraaf 7.6 is per beoordelingsspoor weergegeven wat de aandachtspunten zijn voor de geavanceerde toets.

⁷ In 2013 is de vigerende VTV het VTV2006

7.2 Twee werkwijzen: lineair en iteratief

Voor de drie stappen van het toetsingsproces (gegevensverzameling, vakindeling en toetsing) geldt dat ze meer of minder gedetailleerd kunnen worden uitgevoerd:

- Bij gegevensverzameling kan worden volstaan met de al beschikbare of makkelijk te bepalen gegevens, maar er kan ook uitgebreid veldonderzoek worden verricht. Overigens kan dit ook gelden voor de hydraulische randvoorwaarden: er kan worden volstaan met de golfrandvoorwaarden op diep water, maar het is soms ook mogelijk om de reducerende invloed van het voorland te berekenen;
- Bij de toetsvakindeling kan worden volstaan met een grove indeling met weinig vakken, maar er kan ook worden gewerkt met een zeer gedetailleerde indeling; in paragraaf 7.4 wordt dit nader uitgewerkt;
- Bij de toetsing kan worden gewerkt met eenvoudige, gedetailleerde of geavanceerde methoden.

Er bestaat een verband tussen de gedetailleerdheid van gegevens, vakindeling en toetsregels enerzijds en de nauwkeurigheid van de toetsscore anderzijds: voor alle drie de stappen geldt dat een laag detailniveau in eerste instantie minder inspanning kost, maar leidt tot conservatieve toetsresultaten. Dit is geen probleem als de gehele bekleding desondanks een score 'goed' heeft: met minder conservatieve aannamen zou de score dan ook 'goed' zijn. Bij slechtere scores is dat niet zo: toetsing met minder conservatieve aannamen kan leiden tot een gunstiger resultaat. Grofweg kunnen twee manieren worden onderscheiden waarop het toetsingsproces kan worden doorlopen:

- Een lineair proces zonder terugkoppelingen;
- Een iteratief proces waarbij voor alle drie stappen van grof naar fijn wordt gewerkt.

Een lineair proces houdt in dat wordt geprobeerd om direct alle gegevens te verzamelen die misschien in het toetsingsproces nodig zullen zijn en dat een relatief gedetailleerde toetsvakindeling wordt gekozen. Bij de tweede methode, volgens een iteratief proces, wordt in eerste instantie gewerkt met de gegevens die al beschikbaar zijn of die eenvoudig kunnen worden bepaald, en met een grove toetsvakindeling. Op grond van de bijbehorende toetsresultaten wordt besloten of meer diepgaande gegevens nodig zijn en of de toetsvakindeling moet worden verfijnd.

Het werken volgens een lineair proces heeft als nadeel dat inspanningen worden geleverd die (gedeeltelijk) achteraf voor de toetsing niet nodig blijken te zijn. Bovendien is het mogelijk dat uit de toetsing blijkt dat alsnog meer gegevens nodig zijn. Maar het heeft ook voordelen om te werken volgens een lineair proces:

- De totale doorlooptijd tot aan het toetsresultaat is korter;
- Eén grote inventarisatie is efficiënter dan een aantal kleine inventarisaties;
- De beheerder verkrijgt gegevens die ook nuttig kunnen zijn als eenvoudige toetsing wel volstaat (ten behoeve van verbeteringswerken of legger/beheersregister).

De afweging tussen de twee methoden zal per geval moeten worden gemaakt en is afhankelijk van de beschikbare doorlooptijd voor de toetsing en een inschatting of de resultaten over het algemeen ruimschoots 'goed' of 'onvoldoende' zullen zijn. Daarbij geldt als criterium dat werken volgens een iteratief proces meer voor de hand ligt als later in het proces voldoende tijd beschikbaar is voor een tweede ronde van gegevensverzameling en toetsing, of als vooraf wordt ingeschat dat eenvoudige toetsing met globale gegevens snel tot een eindscore leidt.

Toetsing volgens lineair proces

Als wordt gekozen om de toetsing uit te voeren volgens een lineair proces, worden in één slag zoveel gegevens verzameld dat op basis daarvan een zeer fijne vakindeling mogelijk is en minimaal een gedetailleerde toetsing kan worden uitgevoerd.

Toetsing volgens iteratief proces

Bij toetsing volgens een iteratief proces wordt begonnen met het doorlopen van de drie stappen, waarbij een laag detailniveau wordt gehanteerd. Deze eerste iteratie komt in veel gevallen ongeveer overeen met de toetsing uit de eerste toetsingsronde (1998 – 2000). Iteratie A:

- Stap 1: Alle reeds beschikbare gegevens worden bijeengebracht en eventueel worden 'oppervlakkige' gegevens verzameld;
- Stap 2: Op basis van de beschikbare gegevens wordt een praktische, relatief grove vakindeling vastgesteld;
- Stap 3: De toetsing wordt uitgevoerd tot het niveau dat haalbaar is met de beschikbare gegevens (eenvoudig of gedetailleerd).

Doordat in alle drie de stappen wordt gewerkt op een relatief laag detailniveau zijn de toetsresultaten conservatief. De verdere werkwijze per toetsvak hangt af van het toetsresultaat:

- Als het toetsresultaat 'goed' is, ondanks de conservatieve benadering, is verdere detaillering van het betreffende toetsvak niet nodig;
- Als het toetsresultaat 'onvoldoende' is, kan het zinvol zijn de toetsvakindeling te detailleren om het 'onvoldoende' deel van de steenzetting als het ware te isoleren (zie ook paragraaf 3.4). Hiervoor zijn gegevens nodig van hetzelfde niveau als in Iteratie A, maar met een grotere meetdichtheid ('verfijning').

Met het verzamelen van aanvullende gegevens begint Iteratie B, die ook weer uit drie stappen bestaat. Met behulp van de verfijnde en/of verdiepte gegevens worden nieuwe toetsvakken vastgesteld en wordt de toetsing opnieuw uitgevoerd, tot het maximale niveau dat haalbaar is en dat nodig is om een eindscore te bereiken. Vervolgens wordt op basis van de toetsresultaten opnieuw per toetsvak besloten of het nodig is de gegevens te verdiepen of te verfijnen.

Het cyclische proces moet in elk geval doorgaan totdat er geen toetsvakken meer zijn met een score 'twijfelachtig'. Voor toetsvakken met een score 'onvoldoende' moet per iteratie worden besloten of verdere verfijning van de vakindeling zinvol is (zie §7.4.4).

7.3

Verzamelen van gegevens

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan het soort gegevens dat ter plaatse van een meetpunt kan worden verzameld. Het gaat dus om de diepgang van de gegevens. De ruimtelijke verdeling van de gegevens houdt direct verband met de vakindeling; dit wordt afzonderlijk behandeld.

Voor gedetailleerde toetsing zijn meestal al metingen van constructieparameters in het veld nodig. Een geavanceerde analyse vraagt nog meer gegevens, bijvoorbeeld resultaten van proeven die in het laboratorium of op de dijk worden uitgevoerd. Er worden vijf praktische fases van gegevensverzameling onderscheiden:

1. Inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens en gebruik van standaardwaarden;
2. Niet-destructieve inspectie op de dijk;
3. Openbreken van de bekleding;
4. Laboratoriumonderzoek;
5. Gegevens voor geavanceerde toetsing.

Het overschakelen naar een nauwkeuriger fase van gegevensverzameling wordt aangeduid als 'verdieping'. In de praktijk wordt overigens vaak gewerkt met gegevensinwinformulieren.

Fase 1: inventarisatie van archief- en beheerdersgegevens

Het kenmerk van de eerste fase is dat de gegevens kunnen worden verzameld zonder veldwerk. Het is mogelijk dat op deze wijze alle benodigde gegevens kunnen worden verzameld, als de beschikbare gegevens een goed beeld geven van de actuele toestand. Als meetresultaten beschikbaar zijn, moeten ze recent zijn en de meetdichtheid moet voldoende zijn. Voor revisiegegevens gelden dezelfde voorwaarden. Contractgegevens kunnen in sommige gevallen dienen als een conservatieve benadering van de werkelijke waarden, maar dan moet aangetoond zijn dat het werk conform de contracteisen is uitgevoerd. Voor veel parameters zijn veilige standaardwaarden beschikbaar, die in eerste instantie kunnen worden gebruikt voor de toetsing. Overigens moet voorzichtig worden omgegaan met de gegevens uit fase 1; aanbevolen wordt om in ieder geval een steekproefsgewijze controle uit te voeren in het veld (fase 2 of nauwkeuriger).

Fase 2: niet-destructieve inspectie in het veld

Normaal gesproken wordt niet-destructieve veldinspectie voor elk toetsingsproject uitgevoerd in aanvulling op gegevensverzameling van fase 1. Niet-destructieve inspectie op de dijk levert in de praktijk alleen gegevens op ten behoeve van de eenvoudige toetsing. Er worden in de eerste plaats gegevens over de toplaag verzameld en verder wordt een beeld verkregen van de onderhoudstoestand en de kwaliteit van het zetswerk. Verder dient deze inspectie ter verificatie van de archiefgegevens over vakgrenzen en bekledingstypen. Bij open bekledingen kan de toplaagdikte soms worden gemeten in de open ruimte (bijvoorbeeld met een rolmaat, een staafje of een laselektrode). Als om die reden toch een bezoek wordt gebracht aan de dijk, ligt het voor de hand om direct ook andere gegevens te verzamelen die vanaf de oppervlakte zichtbaar zijn: kwalitatieve gegevens over inwassing, dichtslibbing, inklemming en penetratie. Het inmeten van taludhellingen en vakgrenzen valt hier ook onder. Onder niet-destructieve inspectie vallen ook deflectiemetingen en grondradarmetingen.

Als er sprake is van een met gietasfalt ingegoten steenzetting dan is het gebruikelijk om Valgewicht-deflectiemetingen (VGD-metingen) uit te voeren.

Fase 3: openbreken van de bekleding

Een belangrijk omslagpunt in de afweging is het openbreken van de bekleding. Als de toplaagdikte (nodig voor eenvoudige toetsing) alleen kan worden bepaald door het openbreken van de bekleding, ligt het voor de hand om direct ook andere gegevens te verzamelen die pas bij gedetailleerde toetsing of later nodig zijn: dikte en opbouw van de granulaire laag, doorlatendheid, eigenschappen van een eventueel geokunststof, laagdikte en aard van het basismateriaal. Het kan dus nuttig zijn om alvast gegevens te verzamelen ten behoeve van het laboratoriumonderzoek van fase 4.

Fase 4: laboratoriumonderzoek

Een volgend omslagpunt is laboratoriumonderzoek, inclusief het verzamelen van monsters. Dit kan nodig zijn ter verificatie van standaardwaarden, van bijvoorbeeld dichtheid van toplaagelementen en eigenschappen van granulair materiaal. In het algemeen wordt dit niveau van gegevensverzameling gebruikt voor gedetailleerde of geavanceerde toetsing. Specifiek is laboratoriumonderzoek nodig ter bepaling van de

eigenschappen van klei, nodig bij een eventuele toetsing op erosie van de onderlagen (reststerkte).

Fase 5: gegevens voor geavanceerde toetsing

De gegevensbehoefte voor geavanceerde toetsing is zeer lokaal en specifiek: deze gegevens worden in principe pas verzameld als geavanceerde toetsing nodig is. Vaak worden hiervoor proeven op de dijk uitgevoerd (trekproeven, doorlatendheidsmetingen, metingen van de waterspanningen in de granulaire laag gedurende een getij of een storm). Daarnaast worden de constructieparameters in meer detail en lokaal bepaald, waarbij gebruikgemaakt wordt van de methodes van fase 2, 3 en 4.

7.4 Vaststellen vakindeling

Bij de toetsing van een steenzetting wordt vaak een dijkgedeelte beschouwd dat verschillende typen, parameterwaarden en omstandigheden kent. De toetsing van zo'n dijkgedeelte wordt uitgevoerd per toetsvak: een gedeelte van de bekleding met bij benadering constante kenmerken en randvoorwaarden. Hiervoor kan ook de term bekledingsvak worden gebruikt. Deze paragraaf bevat (kwalitatieve) richtlijnen voor de benodigde mate van detaillering.

7.4.1 *Toetsvakindeling op basis van beschikbare gegevens*

Een toetsvak is gedefinieerd als een gedeelte van de bekleding waarvoor in de toetsing wordt aangenomen dat de kenmerken en randvoorwaarden (bij benadering) constant zijn. Binnen één toetsvak wordt dus voor elke toetsparameter één waarde vastgesteld, op basis van de beschikbare en verzamelde gegevens. De waarden van de parameters moeten zodanig worden gekozen dat de toetsing geldig is voor het meest kritieke deel van het toetsvak. In de praktijk betekent dit dat voor elke toetsparameter wordt gerekend met de meest ongunstige waarde die in het toetsvak bekend is. Daaruit volgt dat het nuttig is om de toetsvakindeling met zorg te bepalen. Als alternatief voor deze methode kan elke 100 meter een dwarsprofiel genomen worden en een afzonderlijke toetsing worden uitgevoerd voor elk dwarsprofiel. Maar ook als gekozen wordt voor deze aanpak moet er, als er lokaal sprake is van afwijkingen van de naastliggende profielen, eventueel nog een extra profiel worden beoordeeld.

De optimale indeling in toetsvakken wordt dus bepaald door de mate van variatie van de toetsparameters én de vraag of de bekleding ruimschoots 'goed' is of niet. Het is niet mogelijk hiervoor concrete, getalsmatige richtlijnen te geven: voor elke combinatie van bekleding, taludhelling en belasting geldt een andere optimale toetsvakindeling. Wel is het mogelijk richtlijnen te geven voor het maken van een praktische toetsvakindeling, uitgaand van de gegevens die beschikbaar zijn. Dit is een belangrijk uitgangspunt voor de richtlijnen in dit hoofdstuk.

Het heeft geen zin te werken met een toetsvakindeling die gedetailleerder is dan de dichtheid van de gegevens (dat wil zeggen het aantal meetpunten). In het algemeen wordt gewerkt met een vakindeling die een slag grover is dan de dichtheid van de gegevens. Binnen elk toetsvak liggen meerdere meetpunten. Op elk meetpunt heeft elke gemeten parameter een rekenwaarde. Als binnen één vak meerdere meetpunten liggen, moet de rekenwaarde van het ongunstigste meetpunt worden gebruikt.

Verwezen wordt naar het iteratieve proces in paragraaf 7.2: op grond van de toetsresultaten na de eerste iteratie kan worden besloten de meetdichtheid te vergroten (verfijning) en/of een nauwkeuriger fase van gegevensverzameling toe te passen: verdieping. Een grotere meetdichtheid leidt tot betere informatie over de

parameters en kan daardoor een meer gedetailleerde toetsvakindeling mogelijk maken.

7.4.2 *Globale toetsvakindeling*

Bij het maken van een eerste globale vakindeling moet in elk geval rekening worden gehouden met drie kenmerken: het bekledingstype, de hydraulische randvoorwaarden (in lengterichting) en de aanwezigheid van een berm. In principe moet elke begrenzing van deze drie kenmerken ook de begrenzing van een toetsvak zijn. Het betreft eenvoudig te bepalen kenmerken, te bepalen met gegevensverzameling van fase 1 (reeds beschikbare gegevens) of 2 (niet-destructieve inspectie op de dijk).

Vanzelfsprekend moeten de toetsvakken zo worden gekozen dat binnen één toetsvak slechts één bekledingstype voorkomt. Daarbij gaat het niet alleen om het top laagtype (inclusief dikte en dichtheid), maar ook om de aard van de lagen daaronder (al dan niet een granulaire laag, enkele of dubbele granulaire laag, al dan niet een geokunststof of vlijlaag). Een vlijlaag werd in het verleden toegepast, in de huidige ontwerpmethodiek wordt in plaats daarvan een geotextiel toegepast. Het bekledingstype is bepalend voor de vakindeling, omdat voor verschillende bekledingstypen soms verschillende rekenmethoden gelden en omdat de waarden van de toetsparameters bijna altijd verschillen.

De hydraulische randvoorwaarden worden aangeleverd in de vorm van tabellen, of worden berekend met de Hydra-programmatuur. In beide gevallen volgt uit de aangeleverde gegevens een vakindeling in lengterichting. De bijbehorende vakgrenzen zijn vaak logische punten zoals bochten in de dijk of overgangen in het voorland. Ook bij lange eenvormige stukken wordt gewerkt met vakken, met een lengte van enkele kilometers. In zo'n geval wordt de vakgrens halverwege de uitvoerpunten van de golfberekening gelegd. Als de vakgrens ter plaatse van een bocht of een andere overgang ligt, moet worden gekozen welke randvoorwaarden in de bocht zelf worden toegepast. In eerste instantie moet voor een bocht of overgang de zwaardere van de twee aangrenzende randvoorwaarden worden gebruikt.

Als in het buitentalud een berm aanwezig is, kunnen al bij de globale toetsvakindeling drie vakken worden onderscheiden: onder de berm, de berm zelf en boven de berm.

7.4.3 *Nut of noodzaak verdere detaillering van de toetsvakindeling*

In een aantal gevallen kan nodig of zinnig zijn om de toetsvakindeling, in lengte- en/of in hoogterichting, verder te detailleren:

- Als het toetsresultaat 'goed' is, ondanks de conservatieve benadering, is verdere detaillering van het betreffende toetsvak niet nodig.
- Als het toetsresultaat 'onvoldoende' is, kan het zinnig zijn de toetsvakindeling te detailleren om de 'onvoldoende' steenzetting als het ware te isoleren. Bij de meetlocatie blijft de score 'onvoldoende', maar in de rest van het toetsvak kan de constructie in werkelijkheid gunstiger zijn. Deze detaillering is vooral zinnig als de parameterwaarden naar schatting sterk variëren (bijvoorbeeld bij oude constructies of een top laag van natuursteen) en als het toetsresultaat net 'onvoldoende' is;
- Als het toetsresultaat 'twijfelachtig' is, moeten toetsregels van een hoger niveau worden gebruikt, waarvoor meestal ook nauwkeuriger gegevensverzameling nodig is (zie de fasen in paragraaf 7.3). Daarnaast kan het ook bij een score 'twijfelachtig' zinnig zijn de toetsvakindeling te detailleren teneinde de 'twijfelachtige' steenzetting te isoleren en daarmee het nader te onderzoeken vak te verkleinen. Dit is vooral zinnig als het weinig moeite kost de vakindeling te detailleren (gegevensverzameling van een lage fase), terwijl gegevensverzameling

en toetsing van een hogere fase juist veel moeite kost (laboratoriumonderzoek, geavanceerde toetsing).

7.4.4 *Detallering toetsvakindeling*

Verdere detaillering van de toetsvakindeling kan worden gebaseerd op de variaties in bekledingskenmerken, taludhelling en golfrandvoorwaarden.

Bekledingskenmerken

Binnen een vak met één bekledingstype kunnen bekledingskenmerken variëren, zowel in lengte- als in hoogterichting. Hiermee worden variaties bedoeld die niet kunnen worden gevonden in het contract of in oppervlakkige gegevensverzameling (fase 1 en fase 2), maar die volgen uit metingen van de aanwezige bekleding (fase 3 en nauwkeuriger). In het algemeen zullen deze variaties vooral van belang zijn bij oudere constructies en bij toplaagelementen van natuursteen: binnen een sortering van bijvoorbeeld 20/30 centimeter kunnen toplaagdikte en –dichtheid sterk variëren, bijvoorbeeld per partij die tijdens de uitvoering aangevoerd is. Ook voor de granulaire laag kunnen verschillende partijen zijn gebruikt en verder is de aanwezigheid van een vlijlaag van belang. Verder komt het voor dat lokale oneffenheden van de ondergrond zijn uitgevuld met granulair materiaal. Los van contract en uitvoering kunnen er ook variaties zijn door natuurlijke omstandigheden, zoals lokale inzanding/inslibbing vanaf het voorland.

Voor variatie in verticale richting gelden de aandachtspunten als hierboven genoemd, maar enkele punten zijn speciaal van belang voor de verticale richting:

- Inzanding/inslibbing vanaf het voorland reikt slechts tot een bepaalde hoogte (bijvoorbeeld gemiddeld hoogwater). Het is verstandig een dergelijk ingezande bekleding als aparte strook te toetsen. Alhoewel in de eenvoudige en gedetailleerde toetsing normaliter verondersteld wordt dat de inzanding niet-duurzaam aanwezig is, kan in een toets op maat er wellicht toch sterkte aan worden ontleend;
- De dikte van de granulaire laag is onderin de bekleding vaak groter dan bovenin. Een mogelijke oorzaak is dat tijdens de uitvoering onderin de bekleding met opzet extra granulair materiaal is aangebracht om de taludhelling te verflauwen;
- De opbouw van basismateriaal en onderlagen kan in verticale richting variëren, bijvoorbeeld als gevolg van de ontstaansgeschiedenis van de dijk (zoals wanneer een dijk oorspronkelijk een lage kleidijk is, die later is verhoogd en verbreed met zand).

Taludhelling

Bij een eerste globale vakindeling kan worden gewerkt met één waarde voor de taludhelling per dwarsprofiel. In werkelijkheid varieert de taludhelling vaak in verticale richting. Vaak kan bij oude dijken een duidelijke knik in het talud worden onderscheiden: het talud onder de knik (soms ondertafel genoemd) is relatief steil, het talud erboven (ook wel boventafel genoemd) is later aangelegd en duidelijk flauwer. In veel gevallen ligt op de knik een overgangsconstructie. In zo'n geval zal het vaak zinvol zijn aparte toetsstroken te onderscheiden. Ook bij minder duidelijke variatie kan op basis van inmetingen worden besloten verschillende toetsvakken te onderscheiden, zowel in lengte- als in hoogterichting.

Golfrandvoorwaarden

Hier worden detaillering in horizontale en in verticale richting apart besproken.

Ter plaatse van een overgang tussen twee vakken van de golfrandvoorwaarden (horizontaal) wordt in eerste instantie getoetst met de ongunstigste van de twee sets

randvoorwaarden. Als het toetsresultaat daarmee 'goed' is, is verdere detaillering niet nodig. Als de score niet 'goed' is, wordt ten eerste nagegaan of toepassing van de gunstigste van de twee sets golfrandvoorwaarden tot een positiever toetsresultaat leidt. Als dat zo is, mogen de lichtere golfrandvoorwaarden natuurlijk niet zonder meer worden toegepast: in zo'n geval kan een nadere detaillering van de golfrandvoorwaarden plaatsvinden door specialistische studie. Dit kan resulteren in een afzonderlijk toetsvak bij de overgang. Voor deze detaillering zijn gegevens van fase 5 nodig.

De hydraulische belasting kan aanleiding zijn voor detaillering in verticale richting. Dit geldt in twee opzichten:

- In ieder geval is het zinvol het gedeelte van de bekleding boven toetspeil als een aparte strook te beschouwen (voor toetspeil en H_s ; zie Deel 1: Algemeen [30] van deze Handreiking). Dit gedeelte ligt in de golfploopzone en wordt anders belast dan de bekleding in de golfklapzone. Als het toetspeil niet wordt aangehouden als strookgrens, dan wordt het gedeelte erboven getoetst alsof het in de golfklapzone ligt, hetgeen tot een 'onterecht' slecht toetsingsresultaat kan leiden.
- Onder toetspeil (in de golfklapzone) kan de maatgevende golfbelasting geleidelijk met de hoogteligging verlopen: vooral bij de hogere dijken in het getijgebied horen bij lagere waterstanden lagere golven. In die situatie gelden voor elk niveau formeel dus andere golfrandwaarden, maar normaal gesproken is het niet zinvol om voor elk toplaagelement met andere waarden te toetsen. In de praktijk is er vaak al een verticale vakindeling op basis van bekledingstypen, taludhelling en bekledingskenmerken. Als die vakindeling toetsvakken oplevert met grote hoogte (bijvoorbeeld meer dan 2 meter verticaal gemeten) kan het zinvol zijn de verticale indeling verder te verfijnen, afhankelijk van de verticale variatie van de golfrandvoorwaarden. Als de bekleding een grensgeval is tussen 'goed' en 'onvoldoende', is optimalisatie mogelijk: de verticale vakgrens kan dan met iteratieve berekeningen zodanig worden gekozen dat de score 'onvoldoende' alleen wordt toegekend aan de bekleding die werkelijk 'onvoldoende' is.

7.5 Gedetailleerde toets met STEENTOETS

Alle beoordelingssporen van de gedetailleerde toets kunnen worden uitgevoerd door gebruik van het rekenmodel STEENTOETS. Voor het gedetailleerd kunnen toetsen met STEENTOETS dient de beheerder alle parameters van zowel de toplaag als alle onderliggende lagen te inventariseren. Eventuele bronnen voor deze gegevens zijn ontwerptekeningen, revisietekeningen en andere contractdocumenten. Indien niet alle benodigde parameters beschikbaar zijn, dient de beheerder de waarde van de ontbrekende parameters in het veld te vast te stellen. Voor de definitie en standaardwaarden van de relevante parameters wordt verwezen naar de handleiding van STEENTOETS [21].

De opzet van STEENTOETS is zodanig dat naarmate er meer informatie wordt ingevoerd, de toetsing nauwkeuriger (minder conservatief) zal worden uitgevoerd. Dit sluit aan op de gegevensinwinning in fasen zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Sommige informatie is echter essentieel om überhaupt een berekening te kunnen uitvoeren, zoals de golfcondities, het niveau van de overgangsconstructies (begrenzing van de te toetsen steenzetting), het type steenzetting en de toplaagdikte.

Als bepaalde informatie niet wordt ingevoerd (een bepaalde cel blijft blanco), dan zal STEENTOETS rekenen met een conservatieve waarde. Deze waarden staan vermeld in de handleiding, maar sommige staan ook in het werkblad 'Info'.

Bij een aantal toetssporen wordt gevraagd om het gedrag uit het verleden weer te geven. Bij Materiaaltransport vanuit de onderlaag (ZMO) en Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) mag alleen aangegeven worden dat er sprake is van goed gedrag als in het verleden een aanmerkelijke hydraulische belasting is opgetreden en daarbij geen uitspoeling of verzakking is opgetreden. Bedenk dat bij een score 'goed' of 'onvoldoende' voor deze toetssporen STEENTOETS geen berekeningen maakt en direct tot een eindscore komt.

Materiaaltransport vanuit de ondergrond en vanuit de granulaire laag wordt zichtbaar door holtes onder de toplaag of door verzakking van de toplaagelementen. Als holtes onder de toplaag worden geconstateerd, kan direct worden gesteld dat het gedrag niet goed is. Ten aanzien van verzakking van toplaagelementen is het zinvol om te kijken naar individuele elementen en naar grotere oppervlakten. Als een individueel element meer dan ongeveer 5 centimeter is verzakt ten opzichte van naastgelegen elementen, kan een tussenscore 'twijfelachtig' worden gegeven voor gedrag. Als de individuele zakking meer dan orde 10 centimeter bedraagt, is het gedrag zeker niet goed. Overigens is het mogelijk dat materiaaltransport niet de oorzaak is van deze zakking; in het kader van de maatregelen die de beheerder gaat nemen, moet uiteraard eerst worden nagegaan wat de oorzaak is.

Bij grotere oppervlakten (orde 3 bij 3 meter), moet eerst worden nagegaan of de eventuele verzakking wordt veroorzaakt door grondmechanische zettingen. Bijvoorbeeld doordat de dijk op een oude geul of kreek staat. Als dat niet het geval is, moet een globale zakking van orde 5 centimeter al worden gezien als een indicatie van materiaaltransport (tussenscore 'twijfelachtig' voor gedrag), terwijl vanaf orde 10 centimeter het gedrag zeker niet goed is.

De score voor gedrag bij Materiaaltransport vanuit de onderlaag (ZMO) en Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG) wordt als volgt bepaald:

- Als de genoemde verschijnselen worden geconstateerd, kan direct een eindscore 'onvoldoende' worden gegeven.
- Bij twijfel over het gedrag is de tussenscore 'twijfelachtig' en gaat STEENTOETS op basis van de ingevoerde gegevens het mechanisme doorrekenen.
- Als verzakking van de toplaagelementen of holtes onder de toplaag niet worden geconstateerd (dus het gedrag is goed), is dit alleen aanleiding voor een score 'goed' voor gedrag als de bekleding een aantal keren hydraulische belasting heeft ondergaan. Dit moet per geval bekeken worden, maar het geldt in ieder geval voor bekledingen op zeedijken die al minimaal vijf jaar aanwezig zijn en die lager liggen dan GHW. Als het gedrag goed is maar de bekleding is niet regelmatig belast, is de score ten aanzien van het gedrag 'twijfelachtig'.

Voor Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS) en Afschuiving (ZAF) wordt ook gevraagd naar het gedrag. Als hier 'onvoldoende' wordt ingevoerd, resulteert direct een 'onvoldoende' als eindscore. In andere gevallen zal STEENTOETS de score berekenen op basis van de ingevoerde gegevens.

STEENTOETS levert uiteindelijk een score op alle relevante toetssporen zoals vermeld in paragraaf 7.5, behalve Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie (ZOB). Voor Bezwijken van de overgangsconstructies (ZOB) geldt dat slechts de eerste stap van de eenvoudige toetsing wordt doorlopen (beoordeling op basis van het gedrag). Teen- en aansluitingsconstructies worden niet beoordeeld.

Op basis van de scores wordt een eindscore van de rekenkundige toetsing bepaald.

7.6 Geavanceerde toets

In de volgende paragrafen staan per beoordelingsspoor de aandachtspunten weergegeven voor het uitvoeren van een geavanceerde analyse.

7.6.1 *Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)*

Voor de beoordeling in het kader van de geavanceerde toets kan men gebruikmaken van kennis die na uitkomen van deze Handreiking is opgedaan. Neem hiervoor contact op met de helpdesk Water (www.helpdeskwater.nl).

Kruin en binnentalud

Als de kruin van een dijk of dam minimaal de golfoploophoogte $z_{2\%}$ hoger ligt dan ontwerppeil of toetspeil is de golfoverslag zodanig beperkt dat elke steenzetting volstaat. Bij een lagere kruin kunnen wel zware belastingen optreden. De ontwerp- en toetsregels zijn gebaseerd op onderzoek van Deltares en zijn opgenomen in STEENTOETS.

7.6.2 *Toplaaginstabiliteit onder langsstroming (ZTS)*

Bij een 'twijfelachtig' oordeel in de eenvoudige toetsing is een geavanceerde analyse nodig om tot een definitief oordeel voor de toetsing op langsstroming te komen.

Er kunnen drie methoden worden onderscheiden om toch een uitspraak mogelijk te maken:

- Aanscherping van de standaardrekenregels aan de hand van de lokale omstandigheden;
- Toepassing van nauwkeuriger rekenmethodes;
- Beschouwing van bewezen sterkte;
- Reststerkte.

In de praktijk bestaat de geavanceerde analyse vaak uit een combinatie van deze drie methoden en wordt uitgevoerd door specialisten. Voor elk van de methoden worden in de volgende subparagrafen aandachtspunten gegeven, met name gebaseerd op de praktijk bij Projectbureau Zeeweringen in Zeeland. In het algemeen geldt voor de geavanceerde analyse dat vooraf altijd een afweging moet worden gemaakt tussen de kosten van het onderzoek, de kans dat alsnog tot goedkeuren kan worden gekomen en de eventueel daaruit volgende besparing op de kosten van het verbeteringswerk.

Toepassing van nauwkeuriger rekenmethodes

De ingevoerde rekenregels in STEENTOETS zijn zodanig opgesteld dat ze breed toepasbaar zijn. Het onderliggend modelonderzoek is uitgevoerd voor een groot aantal verschillende gevallen. Uit dit modelonderzoek zijn regels afgeleid die voor al deze gevallen veilig kunnen worden toegepast. De rekenregels bevatten daardoor conservatieve benaderingen voor bepaalde eigenschappen van de steenzetting. Als de lokale omstandigheden van een steenzetting bekend zijn, is het soms mogelijk om de achterliggende formules aan te scherpen waardoor minder conservatief kan worden gerekend. Het is ook mogelijk dat de constructieve parameters in de geavanceerde analyse kunnen worden aangescherpt, vooral als in eerdere stadia is gewerkt met standaardwaarden. Verder is lokaal onderzoek nodig als aangetoond moet worden dat inzanding/ inslibbing ook in maatgevende omstandigheden aanwezig blijft. Er is nog onderzoek nodig om hiervoor een methode te ontwikkelen. Behalve lokaal onderzoek is het ook mogelijk om de constructie na te bouwen in een grootschalige modelproef, bijvoorbeeld in de Deltagoot van Deltares.

Belangrijke parameters in de nauwkeurige rekenmethodes zijn:

- de leklengte Λ ;

- de invloedsfactoren Γ ;
- de waterdoorlatendheid van de toplaag;
- de mate van klemming;
- het stijghoogteverschil over de toplaag.

De lek lengte Δ en de invloedsfactoren Γ worden niet rechtstreeks ingevoerd door de ontwerper of toetsers, maar worden door STEENTOETS berekend aan de hand van de ingevoerde waarden voor de golfparameters en constructieve eigenschappen als laagdikte, spleetbreedte tussen toplaagelementen en materiaaleigenschappen. Bepaalde parameters kunnen echter (met enige moeite en onzekerheid) ook rechtstreeks worden gemeten, waardoor een deel van de conservatieve aannamen in de berekening niet meer nodig is. Dit geldt met name voor de waterdoorlatendheid van de toplaag in combinatie met de wrijving/klemming tussen de toplaagelementen.

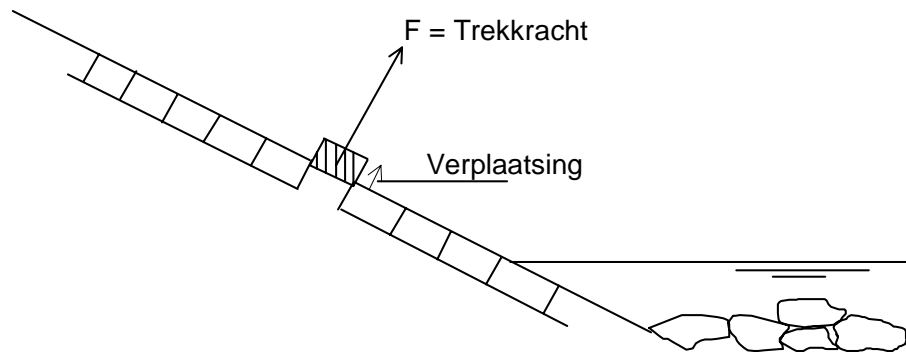
De waterdoorlatendheid van de toplaag wordt door STEENTOETS bepaald aan de hand van met name de spleetbreedte tussen de toplaagelementen en de toplaagdikte. De werkelijk aanwezige waterdoorlatendheid kan bijvoorbeeld worden geschat door de zaksnelheid van het water in een op het talud geplaatste bak te meten. Het is daarbij van belang om een parallelle stroming te veroorzaken; dit kan worden bereikt door te werken met een binnenbak (waarin de meting plaatsvindt) en een buitenbak, waarin het water even snel moet zakken als in de binnenbak. Een voorbeeld van de opstelling staat in Figuur 7-1. Deze werkwijze is in de praktijk alleen bruikbaar als de toplaag relatief ondoorlatend is en als de granulaire laag juist wel een grote doorlatendheid heeft. De vastgestelde waarde kan niet rechtstreeks worden ingevuld in STEENTOETS, maar eventueel wel via een omweg. De geavanceerde analyse kan verder worden uitgevoerd met de achtergrondformules van STEENTOETS, of door de inzet van specialisten.



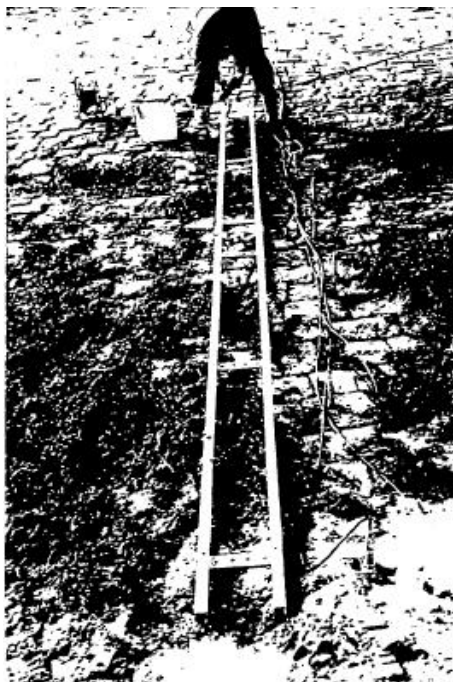
Figuur 7-1: Meting toplaagdoorlatendheid

De mate van klemming kan worden bepaald met behulp van trekproeven. Daarbij wordt één toplaagelement uit de bekleding getrokken met behulp van een speciaal ontwikkelde trekkar; hierbij wordt de kracht gemeten waarbij een verplaatsing van maximaal 25 mm loodrecht op het talud mag optreden. Per bekledingsvlak zijn meerdere proeven nodig omdat met statistische methoden de minimale klemming moet worden bepaald en bovendien omdat de resultaten sterk afhankelijk kunnen zijn van het niveau op het talud. Het benodigde aantal proeven is groter als de wrijving / klemming groter is. De opstelling is geschetst in Figuur 7-2. In het verleden werden de resultaten vergeleken met een landelijk gegevensbestand, maar die werkwijze wordt

niet meer gevolgd omdat een golfbelasting (belasting over meerdere topplagelementen tegelijk) anders is dan de belasting bij een trekproef (belasting op één topplagelement).



Figuur 7-2: Trekproef



Figuur 7-3: Getijmeting

Het stijghoogteverschil over de topplag is in STEENTOETS het resultaat van berekeningen waarin bijna alle parameters worden betrokken (waaronder de waterdoorlatendheid van de topplag, zie boven). Het werkelijke stijghoogteverschil kan in de praktijk vanzelfsprekend niet gemeten worden bij de maatgevende omstandigheden, maar wel bij omstandigheden die zich vaker voordoen. Met behulp van drukopnemers in de bekleding kan worden bepaald hoe de waterdruk binnen in de bekleding (onder de topplag) varieert als functie van de waterbeweging op het talud. Door de meting na te rekenen kan een 'best fit' worden verkregen; deze geeft informatie over de doorlatendheden in het prototype. Deze informatie kan worden gebruikt om met behulp van geavanceerde rekenprogramma's te extrapoleren tot aan de maatgevende omstandigheden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie soorten

prototype-doorlatendheidsmetingen: getijmetingen, inpompproeven en stormmetingen. Voor het gebruik van de geavanceerde rekenprogramma's dient contact opgenomen te worden met specialisten.

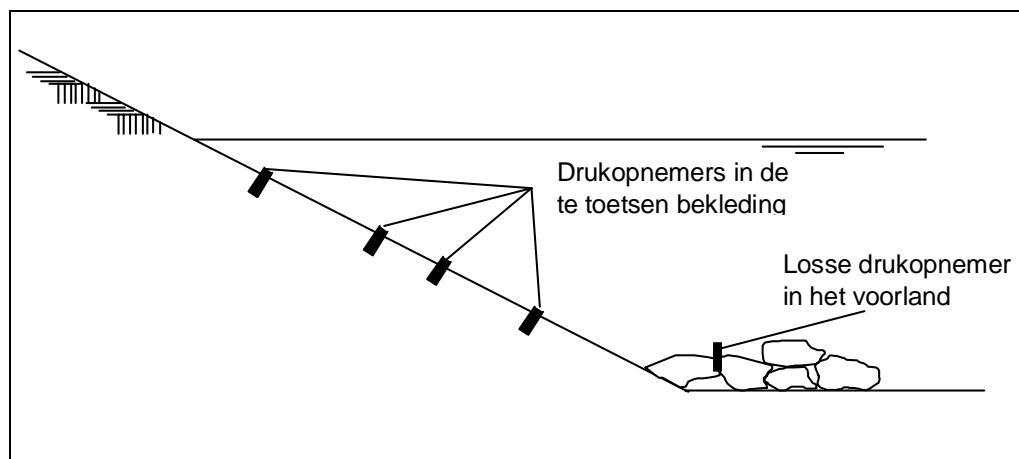
Getijmetingen kunnen in de eerste plaats zinnig zijn voor gepenetreerde steenzettingen, maar zijn ook wel uitgevoerd voor ingezande bekledingen. Bij deze proef wordt het laagfrequente drukverloop in de granulaire laag gemeten dat ontstaat door het stijgen en dalen van de waterspiegel gedurende één getij. Hiertoe worden in de granulaire laag op verschillende hoogtes waterspanningsmeters geplaatst en wordt bij de teen een drukopnemer geplaatst die de getijwaterstand registreert (zie Figuur 7-3 en Figuur 7-4). Om de benodigde extrapolatie naar maatgevende omstandigheden zoveel mogelijk te beperken is het belangrijk om bij een zo hoog mogelijk getij te meten.

Op basis van de doorlatendheden van toplaag en filterlaag, die bepaald kunnen worden uit simulatie van de getijmeting met een niet-stationair grondwaterstromingsmodel, kan voor maatgevende omstandigheden worden berekend hoe groot naar verwachting de statische overdruk onder de bekleding kan worden. In theorie is deze waarde:

$$\phi_{opw} = c \cdot (h_{boven} - h_{onder})$$

met:

ϕ_{opw}	=	maximaal opwaarts stijghoogteverschil over de toplaag	[m]
c	=	coëfficiënt	[-]
h_{boven}	=	bovengrens van de bekleding	[m+NAP]
h_{onder}	=	ondergrens van de bekleding	[m+NAP]



Figuur 7-4: Opstelling getijmeting

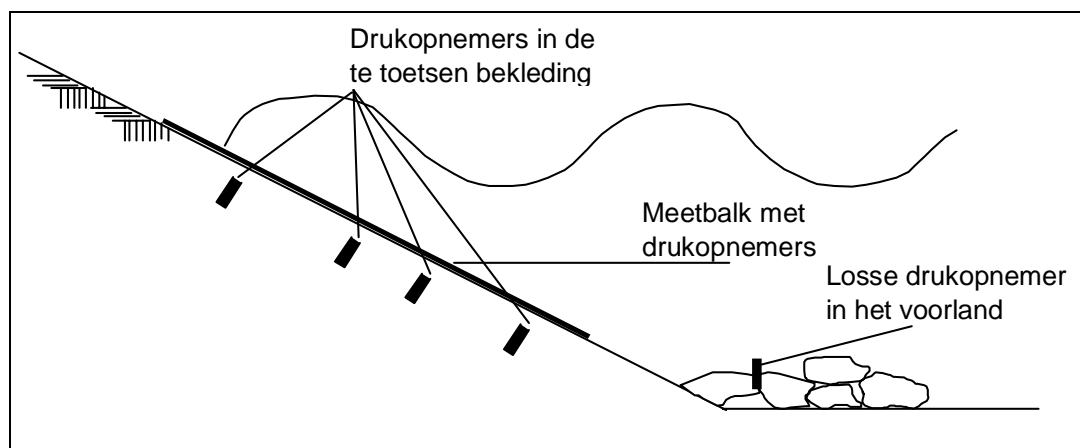
Indien er verder niets bekend is wordt voor c de waarde 1 aangehouden. Dit betekent dat er over de volledige hoogte waarover de bekleding aanwezig is, een hydrostatische waterdruk wordt aangenomen. Uit de in de praktijk uitgevoerde getijmetingen volgt dat c meestal waarden tussen 0,3 en 0,8 heeft. In een enkel geval wordt zelfs vrijwel geen waterdruk gevonden, bijvoorbeeld als de ondergrond betrekkelijk doorlatend is, waardoor water dat via de toplaag in de granulaire laag komt makkelijk in de ondergrond draineert. Er kan dan geen hoge freatische lijn in de granulaire laag ontstaan.

Om statische wateroverdrukken te simuleren kan ook een infiltratiemeting worden uitgevoerd. Hierbij wordt doelbewust zoveel mogelijk water in de granulaire laag geïnfilteerd zodat er wateroverdrukken onder de gepenetreerde toplaag ontstaan. Er worden als het ware 'maatgevende' omstandigheden gecreëerd, waarmee het gedrag van de constructie onder die omstandigheden wordt gemeten. In 2001 is bij Kruiningen voor het eerst zo'n proef uitgevoerd (zie Figuur 7-5). Dit is in 2002 op twee andere locaties herhaald.



Figuur 7-5: Infiltratiemeting in Kruiningen

Het principe van de infiltratieproef is eenvoudig. Aan de bovenzijde van de te beproeven gepenetreerde bekleding wordt een infiltratiesleuf van 50 meter lang gegraven. In de sleuf wordt water gepompt dat in de granulaire laag verdwijnt. Gedurende tenminste één getij wordt het gedrag van de bekleding gemonitord.



Figuur 7-6: Opstelling stormmeting

Bij een stormmeting wordt juist het hoogfrequente verloop (meetfrequentie 25 à 50 Hz) gemeten van golfdrukken op het talud en de reactie daarop van waterdrukken in de granulaire laag. Op het talud is een meetbalk met drukopnemers gemonteerd die op verschillende hoogtes de golfdrukken registreert (zie Figuur 7-6 en 7-7). In de granulaire laag zijn ook op verschillende hoogtes waterspanningsmeters aangebracht. Gedurende verschillende tijdstippen van een storm worden drukken en

waterspanningen simultaan gemeten, door de meting te simuleren met geavanceerde rekenprogramma's.

Ook hier geldt dat de meting het liefst wordt uitgevoerd bij condities die zo dicht mogelijk bij de maatgevende omstandigheden liggen. Stormmetingen leveren een redelijk resultaat bij windkrachten vanaf minimaal 7 Bft, maar bij voorkeur tenminste 8 Bft. Vanwege de veiligheid bij uitvoering ligt de bovengrens op 9 à 10 Bft. Een voor de hand liggend nadeel van de stormmeting is dat deze maar één of enkele keren in een jaar uitgevoerd kan worden. Verder blijft de informatie grotendeels beperkt tot de getijzone plus iets daarboven, tenzij de storm toevallig ook een zeer hoge waterstand veroorzaakt.



Figuur 7-7: Voorbeeld van een stormmeting

Geavanceerde rekenmethoden

Voor het uitvoeren van een geavanceerde analyse is in de eerste plaats soms mogelijk om rechtstreeks gebruik te maken van de resultaten van modelproeven die aan de basis staan van STEENTOETS. Vanzelfsprekend is dit alleen mogelijk voor steenzettingen waarvan sterkte en belasting voldoende overeenstemmen met sterkte en belasting in de modelproef.

Een andere mogelijkheid is het gebruikmaken van specialistische rekenprogramma's. Hiermee kan het verloop van de stijghoogte in de bekleding nauwkeurig worden gesimuleerd.

Ten derde is het mogelijk om de randvoorwaarden ter plaatse van de teen nauwkeuriger te berekenen met een specialistisch rekenprogramma als TRITON.

Beschouwing van bewezen sterkte

In sommige gevallen kan worden beredeneerd dat de maatgevende omstandigheden zich al hebben voorgedaan; als de bekleding in die omstandigheden geen schade heeft opgelopen kan alsnog een score 'goed' worden gegeven. Als kan worden aangetoond dat de opgetreden waterdruk in de bekleding gelijk is aan de waterdruk in maatgevende omstandigheden en de bekleding is niet beschadigd, dan heeft de bekleding haar sterkte bewezen. In de praktijk is het zeer moeilijk om voor een concreet bekledingsvak aan te tonen dat het veilig is op basis van bewezen sterkte; daarvoor moet worden aangetoond dat alle parameters op éénzelfde moment in het verleden dezelfde of een ongunstiger waarde hebben gehad dan de ontwerp- of toetswaarden.

De kans op succes is groter voor een andere vorm van bewezen sterkte: voor specifieke bekledingstypen die op een bepaalde locatie een zware, maar niet maatgevende belasting hebben ondergaan, is aangetoond dat ze een zekere sterkte kunnen leveren. Op basis daarvan kan worden aangetoond dat het betreffende bekledingstype toepasbaar is op een andere locatie met minder zware randvoorwaarden. Specifiek kan dit bijvoorbeeld gelden voor ingezande en ingeslibde basaltzuilen. Ook bij deze werkwijze moet worden aangetoond dat alle relevante parameters in het praktijkgeval niet gunstiger waren dan de rekenwaarden van het bekledingsvak dat wordt getoetst. Er is nader onderzoek nodig om hiervoor een methode te ontwikkelen.

7.6.3 Afschuiving (ZAF)

Voor een aantal situaties worden in deze paragraaf handreikingen gegeven voor het uitvoeren van een geavanceerde analyse voor het beoordelingsspoor Afschuiving. Bij steile taluds en bij potentieel opdrijven van de bekleding hoger op het talud is een geavanceerde analyse altijd nodig.

Brede waterkering of bekleding op zandscheg: analyse statische waterdrukken

Bij een ongewoon brede waterkering of bij een zandscheg is een geavanceerde analyse van de bekleding nodig omdat wordt verondersteld dat er grote statische overdrukken hoger op het talud kunnen ontstaan. Deze veronderstelling wordt echter niet getoetst in de gedetailleerde toetsing, met name omdat de statische waterdruk zich niet met een eenvoudige regel laat kwantificeren.

De maatgevende buitenwaterstand zal vrijwel altijd beduidend hoger zijn dan de grondwaterstand, waardoor er bij de zwaarste golfaanval geen statische overdrukken zijn en er weinig gevaar voor afschuiven is. In sommige gevallen zijn er zelfs geen dynamische overdrukken, omdat de golven zich niet terugtrekken tot onder de grondwaterstand. In dat geval kan de bekleding niet afschuiven. Door in de beoordeling het verloop van de statische waterdruk te betrekken, wordt de toetsing nauwkeuriger en kan vooral hoog op het talud (vlak onder het toetspeil) de bekleding vaak alsnog goedgekeurd worden.

De toetsing zou als volgt uitgevoerd kunnen worden:

1. Voer peilbuismetingen uit bij extreme omstandigheden (neerslag en hoog water);
2. Bereken op basis hiervan het verloop van de grondwaterstand en de statische overdrukken tijdens de maatgevende storm;
3. Bepaal voor het te toetsen punt de maximale statische overdruk en de bijbehorende golfbelasting;
4. Vel een definitief toetsoordeel:
 - a. Als er geen statische en geen dynamische overdrukken zijn, wordt de bekleding goedgekeurd;
 - b. Als de statische overdruk ongeveer gelijk is aan nul (onderlaag van zand) of kleiner is dan het opdrijfgewicht van de bekleding (onderlaag van klei): gebruik dan de gedetailleerde rekenregels;
 - c. Als de statische overdruk groter is dan het eigen gewicht van de bekleding kan de ventielwerking beoordeeld worden. Zo zal ventielwerking veel sneller leiden tot nivellering van de statische overdrukken bij een zandscheg dan bij een ongewoon brede waterkering. Als er veel ventielwerking verwacht wordt, kunnen de gedetailleerde rekenregels toegepast worden. Als er getwijfeld wordt aan de ventielwerking kan gebruikgemaakt worden van bewezen sterkte.

Talud steiler dan 1:2,5: beschouwing krachtenevenwicht

Bij steile taluds kan de geavanceerde analyse zich richten op het krachtenevenwicht rond de teenconstructie. De kracht die de steenzetting uitoefent, moet door de teenconstructie opgenomen kunnen worden zonder grote vervormingen.

Als het steile talud resulteert in problemen ten aanzien van afschuiving kan in een geavanceerde analyse de lengte van het steile talud meegewogen worden.

Specifieke situaties: kwalitatieve analyse

In sommige gevallen wordt mogelijk niet voldaan aan de criteria, maar blijkt bij nadere beschouwing dat de criteria ook niet voor die gevallen bedoeld zijn. Een oordeel op basis van argumenten (kwalitatieve analyse) kan dan uitkomst bieden. Voorbeelden zijn een steil talud juist boven de teen of een bekleding juist boven een berm die onder het toetspeil ligt.

Een steil taluddeel juist boven de teen zit feitelijk opgesloten en kan dus moeilijk afschuiven.

Bij een bekleding boven een lage berm geldt hetzelfde en is bovendien de golfterugtrekking begrensd. Daarom kunnen eventueel de gedetailleerde regels toegepast worden met een gereduceerde golfhoogte (H_s).

7.6.4 *Materiaaltransport vanuit de ondergrond (ZMO)*

Op dit moment is er geen geavanceerde analyse beschikbaar voor dit faalmechanisme.

7.6.5 *Materiaaltransport vanuit de granulaire laag (ZMG)*

De geavanceerde analyse voor dit beoordelingsspoor bestaat uit een nauwkeurige analyse van de bestaande situatie en vergelijking daarvan met de meetresultaten uit het Deltagootonderzoek. Geavanceerde analyse zal niet vaak nodig zijn omdat de standaardsorteringen die in de praktijk voor de granulaire laag worden toegepast, voldoen aan de rekenregel voor hydraulisch-dicht.

7.6.6 *Erosie van de onderlagen (ZEO)*

Een geavanceerde analyse voor Erosie van de onderlagen kan de moeite lonen als de dijk relatief breed is, er relatief veel klei aanwezig is in de dijk of als de golfhoogte relatief klein is.

Er wordt dan doorgaans gestart met een uitgebreid onderzoek naar de dikte en eigenschappen van de kleilaag en de eigenschappen van de kern van de dijk. Tevens wordt aandacht besteed aan de verwachte belastingduur en het waterstandverloop gedurende de toetsstorm.

Vervolgens zal op basis van de meest recente onderzoeksresultaten op het gebied van reststerkte een probabilistische analyse van de kans op een doorbraak uitgevoerd kunnen worden. Hiervoor is de hulp van specialisten onontbeerlijk.

7.6.7 *Invloed van overgang op toplaaginstabiliteit (ZOI) en Bezwijken van de overgangs-, teen- of aansluitingsconstructie (ZOB)*

De geavanceerde analyse bestaat met name uit de analyse van de lokale omstandigheden. Geschat wordt dat het uitvoeren van berekeningen van de stabiliteit van de overgangsconstructies zelf meestal niet zinnig is. Voor de invloed van overgangsconstructies op de stabiliteit is het wel mogelijk om berekeningen te maken: met geavanceerde rekenprogramma's kan de invloed van overgangsconstructies

worden gekwantificeerd. Voor het gebruik van geavanceerde rekenprogramma's dient contact opgenomen te worden met specialisten.

7.7

Overgangen en aansluitingen

Op dit moment is er geen geavanceerde analyse beschreven voor het toetsen van deze onderdelen van de bekleding.

8 Toetsing Voorbeeld: Steenzetting in getijdegebied

8.1 Projectomschrijving

8.1.1 Inleiding

Voor de steenzetting van de dijk van polder Zuidwatering zijn voor de toetsing verschillende slagen gemaakt: eerst een eerste toetsing in 1999, daarna een geavanceerde toetsing van bepaalde vlakken in 2001 en vervolgens een hertoetsing van alle vlakken op basis van nadere inventarisatie in 2001. Uiteindelijk is er een toetsing van gedetailleerd/ geavanceerd niveau gedaan met de rekenregels van STEENTOETS 3.20 (oudere regels dan in deze Handreiking). Ten behoeve van dit voorbeeld is de toetsing omgeschreven conform de stappen beschreven in hoofdstuk 7. Het betreffende traject is overigens gereconstrueerd in de jaren 2002-2003.



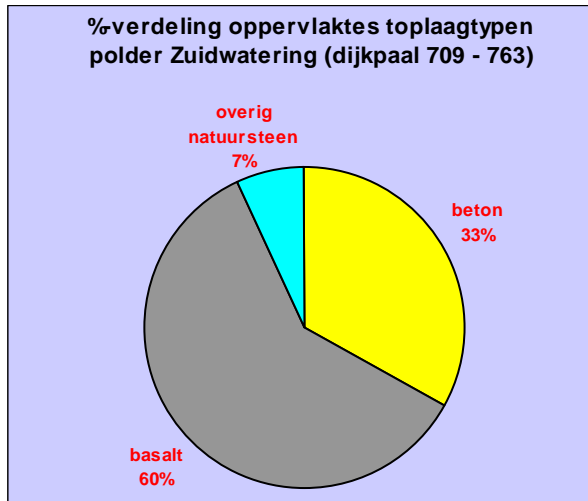
Figuur 8-1: Overzicht projectgebied

8.1.2 Beschrijving dijktraject

De waterkering van polder Zuidwatering betreft het traject tussen dijkpaal 709 (oostgrens) en 763 (westgrens). Het dijkgedeelte ligt aan de noordoever van de Westerschelde. Het voorland van de dijk varieert van schor met breed slijk (aan de oostgrens, in de Sloehaven) tot een geul met een diepte van zo'n 50 meter (de Honte, ten westen van dijkpaal 733).

De huidige bekleding bestaat grotendeels uit basaltzuilen en betonblokken. Een enkel glooiingsvlak is gepenetreerd met beton. Verder is een beperkt aantal basalttafels gedeeltelijk ingegoten met asfalt, vooral waar vroeger paalrijen aanwezig waren. Ter hoogte van dijkpaal 719 en 721 liggen respectievelijk de westelijke Sloehavendam en

de nol nabij Fort Rammekens. De nol is niet getoetst omdat bij uitvoering van werken de waterkering waarschijnlijk achter langs de nol zal worden versterkt. De westelijke havendam is apart hertoetst, dat wordt in dit voorbeeld niet behandeld.



Figuur 8-2: procentuele verdeling toplaagtypen

In Figuur 8-2 wordt een overzicht gegeven van de procentuele verdeling van de oppervlaktes van de aanwezige bekledingstypen van polder Zuidwatering (tussen dijkpaal 709 en 763). Het traject bestaat hoofdzakelijk uit betonblokken (hoofdzakelijk oostelijke deel) en basaltzuilen (vanaf dijkpaal 728). Ongeveer 7% van het traject bestaat uit natuursteenvlakken van het type Doornikse steen (gekanteld), Graniet en Vilvoordse steen.

Slechts een zeer beperkt gedeelte (ongeveer 1%) van het traject tussen dijkpaal 709 en 741 is geopenetreerd met asphalt of beton.

8.2 Voorbereiding

8.2.1 *Gegevens verzamelen*

De volgende fasen zijn doorlopen:

Fase 1: inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens.

Fase 2: niet-destructieve inspectie op de dijk. Dit omvatte het nauwkeurig in kaart brengen van de locaties van de steenzettingen, inspectie van de toplaag en het inmeten van profielen. Dit laatste gebeurde nadat een globale vakindeling was gemaakt. De geometrie is vastgelegd in een driedimensionaal vlakkenbestand.

Fase 3: openbreking van de bekleding. Per ingemeten profiel en per bekledingstype is de bekleding op enkele plekken opengebroken om de dikte en kwaliteit van de toplaag vast te stellen, de samenstelling en dikte van de granulaire laag te onderzoeken en de dikte van de onderliggende kleilaag te meten. Dit is beperkt tot bekledingen waarvan de eindscore niet bij voorbaat vaststond.

Uiteindelijk zijn de volgende gegevens verzameld ten behoeve van de toetsing:

Tabel 8-1: Gegevensverzameling

Type gegevens / constructie onderdeel	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Lay-out dijk	<ul style="list-style-type: none"> • Type bekleding; • Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling). 	<ul style="list-style-type: none"> • Type bekleding; • Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling). 	
Toplaag	<ul style="list-style-type: none"> • Type steenzetting; • Dichtheid (op basis van standaardwaarden); • Open ruimte (op basis van standaardwaarden). 	<ul style="list-style-type: none"> • Type steenzetting; • Breedte steenzetting; • Oppervlakte van de gaten; • Waterdicht ingegoten? • Goed inklemd? • Dichtgeslibd? • Ingewassen? 	<ul style="list-style-type: none"> • Dikte van de bekleding; • Dichtgeslibd?
Uitvullaag = bovenste filterlaag			<ul style="list-style-type: none"> • Type; • Dikte; • Korrelgrootte D₁₅; • Dichtgeslibd?
Granulaire laag = tweede filterlaag			
Onderlaag			<ul style="list-style-type: none"> • Opbouw; • Laagdikte klei.
Ervaringsgegevens – gedrag van de dijk	<ul style="list-style-type: none"> • Afschuiving geconstateerd? • Materiaaltransport opgetreden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Afschuiving geconstateerd? • Materiaaltransport opgetreden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimte tussen toplaag en filter?

Veldinventarisatie

In verschillende fasen van de toetsing is veldinventarisatie gedaan. In latere fasen zijn de in een eerdere fase geïnventariseerde gegevens gecontroleerd. Dit is gebeurd op basis van verificatie in het veld, controle van de invoerformulieren en het oplossen van tegenstrijdigheden en onvolkomenheden. Voor de geometrie is uitgegaan van het digitale geometrische bestand.

Ten behoeve van de geavanceerde toetsing is de glooiing op meerdere plaatsen opengebrouwen. Hierbij is naar voren gekomen dat de karakteristieken van de basalttafel onder en boven GHW van elkaar verschillen. Zodoende zijn de tafels in de toetsing gesplitst bij GHW (voor dit traject komt dit overeen met NAP+2 meter). In de volgende tabel worden de gebruikte karakteristieken van de geavanceerde toetsing weergegeven.

Tabel 8-2: Karakteristieken geavanceerde toetsing

Basalttafels	Strook	
	> GHW	< GHW
Aspect		
Toplaag dichtgeslibd	Nee	Ja
Filterlaag dichtgeslibd	Nee	Ja
Filterlaag dikte (cm)	25	15
Korrel diameter filterlaag D ₁₅ (mm)	40	10

Als vervolg op de geavanceerde toetsing zijn de basalttafels onder GHW om de 50 meter opengebroken. Deze gegevens zijn in de uiteindelijke toetsing gebruikt om de minimale toplaagdikte met meer zekerheid vast te kunnen stellen.

8.2.2 *Hydraulische randvoorwaarden*

De hydraulische randvoorwaarden zijn afgegeven door Rijkswaterstaat. Zij zijn gebaseerd op berekeningen met een ontwerp-bodemligging voor over 50 jaar. De waarden van de waterstanden en golfparameters staan verderop in dit voorbeeld.

De randvoorwaarden zijn voor bepaalde onderdelen gebaseerd op conservatieve aannamen:

- Op het traject tussen de dijkpalen 709 en 719 wordt reductie van de golf randvoorwaarden verwacht door de aanwezigheid van de Sloehavendammen en voorliggend slik en schor. De huidige randvoorwaarden zijn gegeven in de havenmond. Het beheerdersoordeel voor de vlakken met een eindscore 'onvoldoende' luidt op dit gedeelte dan ook 'geavanceerd'.
- Ook de aanwezigheid van de Rammekensnol en het duingebied resulteert waarschijnlijk in gereduceerde randvoorwaarden voor de steenbekledingen ter plaatse.

De noodzaak voor eventuele nadere studie om minder conservatieve randvoorwaarden te berekenen, hangt af van de toetsingsresultaten, de mate van eventueel sterkte tekort en een inschatting van de haalbare reductie.

8.2.3 *Vaststellen vakindeling*

Het te toetsen traject is opgesplitst in dijkvakken die in langsrichting begrensd worden door vakgrenzen. De lengte van een dijkvak varieert in het algemeen tussen 50 en 100 meter. De opsplitsing is gebaseerd op geometrie en bekledingstypen. Binnen een dijkvak is één maatgevend dwarsprofiel geselecteerd en gegenereerd.

8.3 Toetsproces

Er worden 5 hoofdsporen onderscheiden: toplaaginstabiliteit onder golfaanval, toplaaginstabiliteit onder langsstroming, afschuiving, materiaaltransport vanuit ondergrond en materiaaltransport vanuit granulaire laag. Op welke sporen er getoetst moet worden, hangt af van de locatie van een vlak. Voor de vlakken boven toetspeil is alleen de score op het beoordelingsspoor toplaaginstabiliteit berekend. Voor de vlakken onder toetspeil is op de beoordelingsspooren toplaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport getoetst. In de toetsing is geen rekening gehouden met reststerkte (erosie van de onderlagen), omdat op voorhand is ingeschat dat de bijdrage onvoldoende zou zijn.

Ten behoeve van het voorbeeld zijn twee bekledingsvlakken nader uitgewerkt: vlak 1, met betonblokken boven GHW en vlak 2, met basaltzuilen onder GHW. In de buurt van vlak 1 is een vlak in de bermzone nog apart op toplaaginstabiliteit getoetst (bekledingsvlak 1a). Daarnaast worden de resultaten voor de gehele dijk globaal beschreven. De parameters van de drie bekledingsvlakken zijn als volgt:

Bekledingsvlak 1 (talud boven GHW)

Vlakcode / volgnummer		71901 / 87
Bekledingstype:		Betonblokken
Begrenzing:		71,90 km tot 72,00 km
Hoogte:		NAP+4,3 m tot NAP+5,4 m
Taludhelling (tan hoek):		1 : 3,5 (0,284)
Toplaag	Dikte (D):	0,250 m
	Dichtheid:	2300 kg / m ²
	Spleet:	1 mm
	ξ_{op} :	1,859
	$H_s/\Delta D$:	9,49
Granulaire laag		
Vlijlaag:		Afwezig
Klei	Dikte (b_k):	0,8 m
Randvoorwaarden:		
Toetspeil:		NAP+5,50 m
Maatgevende waterstand:		NAP+5,50 m
Golfhoogte (H_s):		2,45 m
Golfperiode (T_p):		7,50 s

Bekledingsvlak 1a (berm)

Vlakcode / volgnummer		71904 / 103
Bekledingstype:		Vilvoordse steen
Begrenzing:		71,90 km tot 72,10 km
Hoogte:		NAP+4,1 m tot NAP+4,3 m
Bermbreedte		7,2 m
Taludhelling (tan hoek):		1 : 36 (0,028)
Toplaag	Dikte (D):	0,225 m
	Dichtheid:	2500 kg/m ²
	Spleet:	10 mm
	$H_s/\Delta D$:	7,878
Granulaire laag	Dikte (b_f):	0,10 m
(puin)	D_{f15} :	40 mm
	Porositeit (n):	0,40 (standaardwaarde)
Vlijlaag:		Afwezig
Klei	Dikte (b_k):	0,3 m
Randvoorwaarden:		
Toetspeil:		NAP+5,50 m
Maatgevende waterstand:		NAP+5,50 m
Golfhoogte (H_s):		2,45 m
Golfperiode (T_p):		7,50 s

Bekledingsvlak 2 (talud onder GHW)

Vlakcode / Volnummer:		74932,1 / 153
Bekledingstype:		Basalt, gezet
Begrenzing:		75,20 km tot 75,30 km
Hoogte:		NAP-0,11 m tot NAP+2,0 m
Taludhelling (tan hoek):		1 : 3,6 (0,280)
Toplaag	Dikte (D):	0,280 m
	Dichtheid:	2900 kg/m ²
	Open opp.:	10 %
	ξ_{op} :	1,787
	$H_g/\Delta D$:	4,061
Granulaire laag (steenslag)	Dikte (b_r):	0,150 m
	D_{r15} :	10 mm
	Porositeit (n):	0,35 (standaardwaarde)
Vlijlaag:		Afwezig
Klei	Dikte (b_k):	0,3 m
Randvoorwaarden:		
Toetspeil:		NAP + 5,50 m
Maatgevende waterstand:		NAP+3,602 m
Golfhoogte (H_g):		2,080 m
Golfperiode (T_p):		7,36 s

8.3.1 *Toplaaginstabiliteit onder golfaanval (ZTG)*

De toetsing op toplaaginstabiliteit onder golfaanval wordt alleen uitgevoerd voor de vlakken die zich onder toetspeil bevinden.

Stap 1: Gedrag	<p>Voor de beoordeling van het gedrag van de toplaag spelen ervaringen uit het verleden een grote rol. Indien de score op het gedrag 'onvoldoende' is, heeft dit tot gevolg dat het vlak de eindscore 'onvoldoende' heeft.</p> <p>Bekledingsvlakken 1/1a en 2: Vanuit ervaring zijn geen specifieke gegevens bekend geworden over het oplichten van toplaagelementen. Hierdoor wordt geconcludeerd dat er geen reden is om op basis van het gedrag 'onvoldoende' te geven, waardoor er wordt verder gegaan met stap 2.1.</p> <p>Alle bekledingsvlakken: Er was geen reden om op basis van gedrag 'onvoldoende' te geven.</p>
Stap 2: Berekeningen uitvoeren met behulp van STEENTOETS	<p><i>2.1 Berekeningen</i> De berekeningen worden uitgevoerd met behulp van het programma STEENTOETS. De parameters worden in dit programma ingevoerd.</p> <p>De resultaten van de berekeningen zijn als volgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 31% van de vlakken (21 vlakken) scoort 'goed'; - 43% van de vlakken (28 vlakken) scoort '(nog) geen oordeel' (in STEENTOETS: 'twijfelachtig' of 'geavanceerd'); - 26% van de vlakken (18 vlakken) scoort 'onvoldoende'.

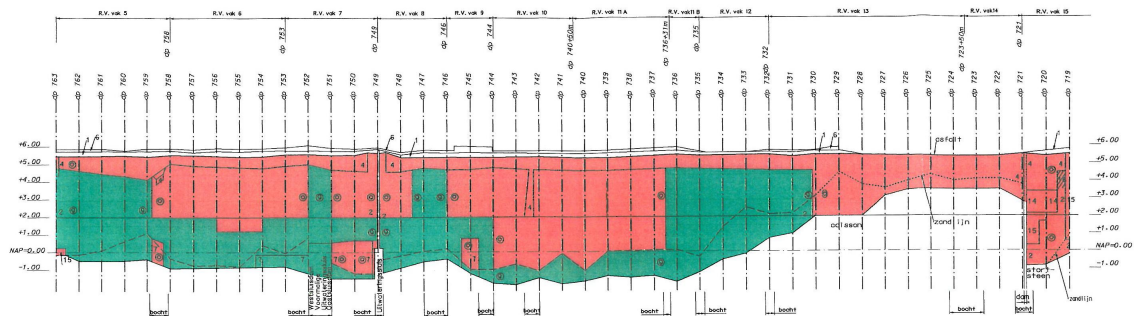
8.4 Omgaan met de resultaten

De beheerder heeft de toetsing zelf uitgevoerd (met uitzondering van een gedeelte dat geavanceerd is getoetst); het oordeel op basis van ervaringen en inschatting van de beheerder wijkt in een aantal gevallen af van de berekende score en geeft bij een berekende score 'twijfelachtig' / 'geen oordeel' vaak de doorslag naar een score 'voldoende' of 'onvoldoende'. Het beheerdersoordeel is dus niet altijd gelijk aan de rekenscore.

Een deel van de vlakken heeft een score 'geen oordeel', dit is veroorzaakt door de toetsing op toplaaginstabiliteit en afschuiving. Mede op basis van ervaring met de zeer beperkte mogelijkheden en onvoldoende kennis om deze onderdelen nauwkeuriger te kunnen toetsen, zijn deze vakken beoordeeld als onvoldoende. Ook gezien omvang en toestand van de omringende vakken.

Uiteindelijk is de toetsing als volgt samen te vatten:

- tussen dijkpaal 719 en 730 onder- en boventafel verbeteren;
- tussen dijkpaal 730 en 759 boventafel verbeteren en handhaven van de bestaande constructie in de ondertafel, met uitzondering van de ondertafel tussen dijkpaal 736 en 745 en dijkpaal 749 en 751, deze moet wel worden verbeterd;
- tussen dijkpaal 759 en 763 boventafel verbeteren en handhaven van de bestaande constructie in de ondertafel.



Figuur 8-3: overzicht toetsresultaat.

9 Toetsing Voorbeeld: Steenzetting op een meerdijk

9.1 Projectomschrijving

Eind jaren '90 wordt in opdracht van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied een globale volledige toetsing van de dijken langs het Markermeer uitgevoerd in het kader van het project "Versterking Markermeerdijken". Uit die eenvoudige toetsing, uitgevoerd volgens de 'groene' LTV (1996), blijkt dat voor het dijkvak Oostvaardersdijk-Noord (figuur 9-1) de kruinhoogte te laag is.



Figuur 9-1: Overzicht projectgebied

Oorspronkelijk zou deze dijk slechts aan één zijde waterkerend zijn, omdat aan het binnentalud van de dijk de Markerwaard gepland was en aan het buitentalud een kanaal, het Oostvaardersdiep. Het ontwerp is op deze ligging gebaseerd.

Het oorspronkelijk als binnentalud bedoelde talud fungeert nu als waterkerende zijde. Het talud is aan deze kant lokaal zeer steil (variërend van 1:1,8 tot 1:25) en is over bijna de gehele lengte bekleed met steenzettingen. Een klein deel bestaat uit gras en asphalt; daar wordt in dit voorbeeld niet op ingegaan.

Om deze dijk te verhogen, wordt een aantal alternatieven uitgewerkt. Om tot een goede afweging van de alternatieven te komen, is het essentieel te bepalen of de huidige steenzettingen gehandhaafd kunnen worden. Daarom worden de steenzettingen getoetst aan de op dat moment geldende leidraad (LTV '99). Het gedeelte uit die LTV dat de steenzetting behandelt, is grotendeels in lijn met de toetsprocedure uit het Technisch Rapport Steenzettingen. De toetsing van de steenzettingen wordt eerst op een eenvoudig niveau en waar noodzakelijk op een gedetailleerd niveau uitgevoerd. Dit voorbeeld volgt het proces beschreven in het VTV2006 [15] en de toetsregels beschreven in hoofdstuk 7 van deze handreiking.

De kenmerkende parameters van de dijk zijn:

- Lengte: circa 16 km
- Kruinhoogte: NAP +2,6 meter tot NAP +3,1 meter

- Buitentalud: 1:1,8 tot 1:25, bijna volledig bekleed met steenzettingen bestaande uit basaltzuilen, betonzuilen (type basalt), zeshoekige betonblokken, klinkers en Belgische bloksteen. Onder vrijwel alle steenzettingen, behalve de betonzuilen en de klinkers, is een vlijlaag aanwezig. Op de meeste trajecten is onder de steenzetting een uitvullaag aanwezig.
- Opbouw van de dijk: zanddijk tussen keileemkades afgewerkt met een keileemlaag.

9.2 Voorbereiding

De voorbereiding van de toetsing bestaat conform het proces in sectie 2 uit twee delen:

- Gegevens verzamelen en;
- Vaststellen vakindeling

9.2.1 *Gegevens verzamelen*

Uitgangspunt bij het verzamelen van de gegevens is dat het, als dat noodzakelijk blijkt, mogelijk moet zijn om een gedetailleerde toetsing te verrichten. Bij een globale inventarisatie blijkt het vaak niet eens mogelijk om op basis van de vooraf beschikbare informatie een eenvoudige toetsing uit te voeren. Het verzamelen van gegevens vormt dus een essentieel onderdeel van het werk. Besloten wordt om tot en met fase 3 informatie te verzamelen. Dit betekent dat de volgende fasen doorlopen worden:

Fase 1: inventarisatie van beschikbare archief- en beheerdersgegevens. Er blijken alleen bestektekeningen van een aantal verbeteringswerken beschikbaar te zijn. Verder wordt in de loop van het project veel contact onderhouden met de beheerder omdat ook informatie die niet op schrift staat waardevol kan zijn voor de toetsing;

Fase 2: niet-destructieve inspectie op de dijk. Dit omvat het nauwkeurig in kaart brengen van de locaties van de steenzettingen, inspectie van de topklaag en het inmeten van profielen. Dit laatste gebeurt nadat een globale vakindeling is gemaakt;

Fase 3: openbreken van de bekleding. Per ingemeten profiel en per bekledingstype wordt de bekleding op twee plekken opengebrouwen om de dikte en kwaliteit van de topklaag vast te stellen, de samenstelling en dikte van de granulaire laag te onderzoeken en de dikte van de onderliggende kleilaag te meten.

Uiteindelijk worden de volgende gegevens verzameld ten behoeve van de toetsing:

Tabel 9-1: Gegevensverzameling

Type gegevens / constructie-onderdeel	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Lay-out dijk	<ul style="list-style-type: none"> • Type bekleding; • Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling). 	<ul style="list-style-type: none"> • Type bekleding; • Profiel van de dijk (hoogte, taludhelling en vakindeling); 	
Toplaag	<ul style="list-style-type: none"> • Type steenzetting; • Dichtheid (op basis van standaardwaarden); • Open ruimte (op basis van standaardwaarden). 	<ul style="list-style-type: none"> • Type steenzetting; • Breedte steenzetting; • Oppervlakte van de gaten; • Waterdicht ingegoten? • Mate van inklemming; • Eventuele aanwezigheid van slib; • Eventuele aanwezigheid van inwasmateriaal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dikte van de bekleding; • Eventuele aanwezigheid van slib.
Uitvullaag			<ul style="list-style-type: none"> • Type; • Dikte; • Korrelgrootte D_{15}.
Granulaire laag	<ul style="list-style-type: none"> • Algemene indicatie van verloop laagdikte (op basis van mondelinge info); • Porositeit (op basis van een standaardwaarde). 		<ul style="list-style-type: none"> • Opbouw; • Dikte; • D_{15}-D_{50}; • Eventuele aanwezigheid van slib.
Onderlaag			<ul style="list-style-type: none"> • Opbouw; • Laagdikte kleileem.
Ervaringsgegevens – gedrag van de dijk	<ul style="list-style-type: none"> • Afschuiving geconstateerd? • Materiaal transport opgetreden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Afschuiving geconstateerd? • Materiaal transport opgetreden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimte tussen toplaag en filter?

Het verzamelen van sommige gegevens wordt in meerdere fasen dubbel vermeld. Dit speelt vooral in de fasen 1 en 2. Veel gegevens die in fase 2 verzameld worden, kunnen namelijk voor een ander voorbeeld bij een andere beheerder redelijkerwijs vastgelegd zijn in documenten. Figuur 9-2 is een voorbeeld van een inwinformulier voor gegevensverzameling van fase 3, waarbij de bekleding wordt opgebroken.

algemeen										
naam in meter:									foto nr.:	
locatie [wegkilometer / dijkpaal]:									datum:	
niveau [globaal t.o.v. boven/onderkant/berm]:									tijd:	
toplaag										
type toplaagelementen:										
ingewassen of gestopt?	ing. / gest. / n.v.t.	losliggende toplaagelementen?							ja / nee	
ingegoten	ja / nee	ingietmateriaal beton of asfalt?								
meting steenhoogte in cm: (nauwkeurigheid 0,5 cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
granulaire laag										
dikte bovenste gran. laag in cm (nauwk. 1 cm)										
type granulair materiaal:										
meting korrelgrootte in mm: (nauwkeurigheid 1 mm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
overig										
2 ^e granulaire laag aanwezig?	nee / ja	materiaal:								
		laagdikte [cm]:								
vlijlaag aanwezig?	nee / ja	aantal lagen:								
		goede staat?		ja / nee						
geotextiel aanwezig in breekgat? kleilaagdikte in m (nauwkeurigheid 0,05 m) opmerkingen:	nee / ja	soort:								

Figuur 9-2: Voorbeeld van een gegevensinwinformulier

Een belangrijk onderdeel van de toetsing zijn de hydraulische randvoorwaarden waaraan de dijkvakken getoetst moeten worden. Per dijkvak zijn de volgende randvoorwaarden nodig:

- Toetspeil;
- Significante golfhoogte;
- Piekperiode;
- Maatgevende hoek van inval.

In dit project zijn de randvoorwaarden door de opdrachtgever aangeleverd. De opdrachtgever heeft deze bepaald met behulp van van het programma HYDRA_M. Voor negen vakken wordt een combinatie van golfhoogte H_s en golfperiode T_p vastgesteld. Deze ene combinatie van golfhoogte en -periode geldt in dit geval niet alleen als randvoorwaarde bij de maatgevende waterstand, maar ook bij lagere waterstanden.

9.2.2 Vaststellen vakindeling

De vakindeling heeft als doel tot eenheden te komen waarvan de relevante parameters voor dat vak een constante waarde hebben. In dit voorbeeld komt dat neer op een profiel dat bij benadering hetzelfde is, een belasting die bij benadering hetzelfde is en een bekledingsopbouw die ongeveer hetzelfde is.

In eerste instantie wordt een verdeling gemaakt op bekledingstype en in belastingvakken. Dit leidt tot een vakindeling in lengterichting van 26 vakken, in lengte variërend van 40 meter tot 2,3 km. Vervolgens wordt elk 'lengtevak'

onderverdeeld in stroken op basis van de ingemeten profielen en bekledingskenmerken.

Tot slot wordt een onderverdeling gemaakt in vakken onder en boven toetspeil. De vakken boven toetspeil hoeven slechts op topaaginstabiliteit getoetst te worden, met een andere methode dan onder toetspeil.

Uiteindelijk resulteert dit in 173 vakken. Voor ieder vak is de belasting constant, het bekledingstype gelijk en de taludhelling ongeveer constant. De 173 vakken worden ieder afzonderlijk getoetst.

9.3 Toetsing

De toetsing is uitgevoerd met behulp van het programma STEENTOETS.

Er worden vijf hoofdsporen onderscheiden: topaaginstabiliteit onder golfaanval, topaaginstabiliteit onder langsstroming, afschuiving, materiaaltransport vanuit ondergrond en materiaaltransport vanuit granulaire laag. Op welke sporen er getoetst moet worden hangt af van de locatie van een vak. Voor de vakken boven toetspeil wordt, conform het stroomschema van Figuur 8-2.1 van het VTV2006 [15] alleen de score op het beoordelingsspoor topaaginstabiliteit berekend. Voor de vakken onder toetspeil wordt op de beoordelingsspooren topaaginstabiliteit, afschuiving en materiaaltransport getoetst.

In de toetsing wordt geen rekening gehouden met reststerkte (erosie van de onderlagen), omdat op voorhand wordt ingeschat dat de bekleding niet dik genoeg is om een score 'voldoende' te halen. Indien de resultaten van de toetsing in eerdere stappen dusdanig zijn dat een toetsing op erosie van de onderlagen noodzakelijk is, dan resulteert dit in een eindscore 'onvoldoende'.

In deze paragraaf wordt, aan de hand van de stappen uit de stroomschema's, het verloop van de toetsing van de Markermeerdijken besproken. Hiervoor wordt één bekledingsvak nader uitgewerkt en worden de resultaten voor de gehele dijk in het algemeen uitgewerkt. Het nader uitgewerkte bekledingsvak heeft de volgende parameters:

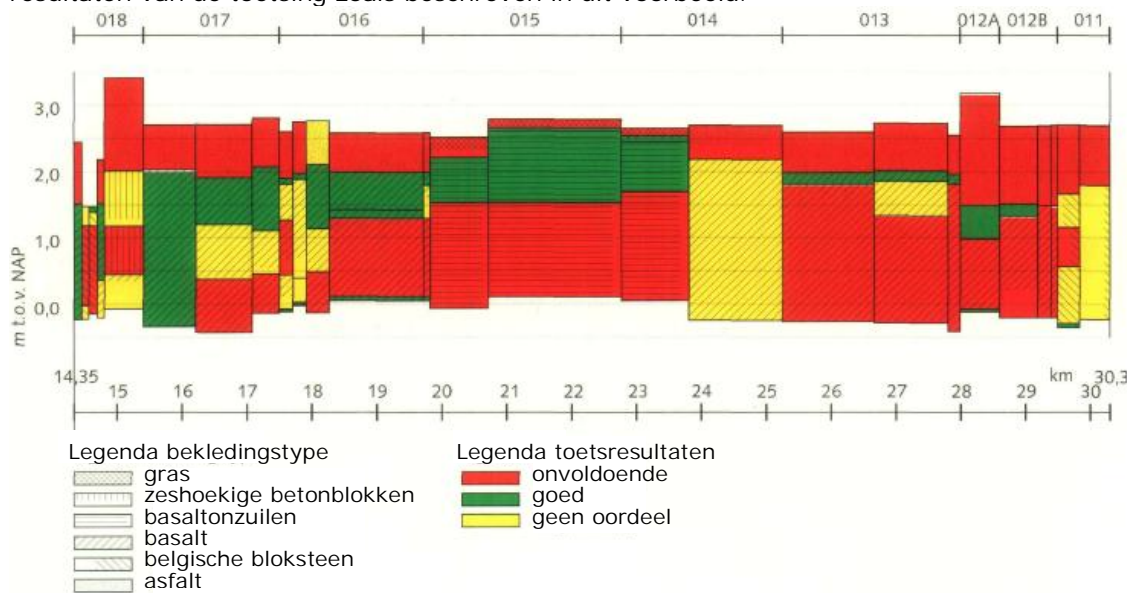
Volgnummer:		115-2
Bekledingstype:		Basalt
Begrenzing:		23,8 km tot 25,25 km
Hoogte:		NAP-0,2 m tot NAP+0,6 m
Taludhelling (tan hoek):		1 : 2,9 (0,336345)
Toplaag	Dikte (D):	0,247 m
	Dichtheid:	2900 kg/m ²
	Open ruimte:	12 %
	ξ_{op} :	1,72077
	$H_s/\Delta D$:	4,32633
Granulaire laag	Dikte (b_f):	0,16 m
	D_{f15} :	14,6 mm
	Porositeit (n):	0,40
Vlijlaag:		Aanwezig
Klei	Dikte (b_k):	1,310 m
Randvoorwaarden:		
Toetspeil:		NAP+0,71 m

Golfhoogte (H_s): 2,03 m
 Golfperiode (T_p): 5,84 s

Deze gegevens zijn ingevoerd in STEENTOETS en alle faalmechanismen zijn doorgerekend.

9.3.1 Resultaten

De toetsresultaten staan in Figuur 9-3 Dit zijn de gesommeerde resultaten. De slechtste score op de behandelde toetssporen geldt als eindscore. De figuur geeft de toetsresultaten van het werkelijke project en komt niet geheel overeen met de resultaten van de toetsing zoals beschreven in dit voorbeeld.



Figuur 9-3: Toetsresultaten uitgesplitst per dijkvak

Een deel van de vakken heeft een score 'geen oordeel', veroorzaakt door de toetsing op topaaginstabiliteit en afschuiving. De volgende stap zou normaal gesproken bestaan uit geavanceerde toetsing, waaruit een eindscore 'goed', 'voldoende' of 'onvoldoende' volgt. Deze geavanceerde toetsing wordt in werkelijkheid niet uitgevoerd. In het bredere kader van het dijkversterkingsproject is besloten dat het buitentalud vernieuwd wordt. De ongunstige score na gedetailleerde toetsing is één van de redenen voor dit besluit.

9.4 Omgaan met de resultaten

De beheerder is nauw betrokken geweest bij het toetsingsproces; het oordeel op basis van ervaringen en inschatting van de beheerder wijkt niet af van de berekende score. Het beheerdersoordeel is dus gelijk aan de rekenscore.

Een groot deel van de getoetste steenzetting heeft een score 'geen oordeel' en 'onvoldoende', waardoor beheersmaatregelen nodig zijn. Zoals eerder aangegeven is in het bredere kader van het dijkversterkingsproject besloten om de gehele dijk te verbeteren. De buitenteen wordt op de huidige plaats gehandhaafd, maar komt op een hoger niveau. Vanaf dat punt wordt een nieuwe dijk opgebouwd met flauwere taluds en een hogere kruin. De gehele bekleding van het buitentalud moet daardoor worden vervangen door een nieuwe bekleding. Daarom is het niet zinvol om geavanceerde toetsing uit te voeren voor de vakken met de score 'geen oordeel'.

KATERN III: UITVOERING, INSPECTIE, BEHEER EN ONDERHOUD

10 Overdracht naar contract, uitvoering en beheer

10.1 Samenwerking ontwerpers, contractschrijvers en directie

Na afronding van het ontwerpproces wordt het resultaat vaak overgedragen aan andere personen of afdelingen: eerst aan de contractschrijvers, daarna aan directie en toezichhouders van de dijkversterking. Het is zeer belangrijk dat ook in dat stadium de ontwerper betrokken blijft bij het proces om te voorkomen dat het ontwerp verkeerd wordt geïnterpreteerd en dat onbedoelde en ongewenste wijzigingen worden aangebracht.

Aandachtspunten en aanbevelingen zijn:

- Laat de ontwerper, als het contract niet door hem wordt gemaakt, controleren of het concept-contract, inclusief de tekeningen, het ontwerp goed weergeeft.
- Laat de ontwerper voor de start van de uitvoering een toelichting op het ontwerp geven aan de directie en de toezichhouders.
- Bespreek afwijkingen in de bestaande situatie en aanpassingen van het ontwerp tijdens de uitvoering met de ontwerper.
- Betrek de ontwerper bij de (technische) beoordeling van de alternatieven die bij de aanbesteding worden ingediend.

10.2 Specifieke aandachtspunten in de uitvoering

In de praktijk blijkt dat het zinnig is om bij de overdracht naar de uitvoering speciale aandacht te besteden aan de volgende onderdelen van het ontwerp:

De granulaire laag:

- Bij de meeste ontwerpen van steenzettingen is het belangrijk dat de dikte van de granulaire laag zo klein mogelijk is (omdat het faalmechanisme topplaaginstabiliteit kritischer is dan het faalmechanisme afschuiving). In de uitvoering wordt soms gedacht dat juist een dikke granulaire laag constructief gunstig is.

Het geokunststof:

- Veel steenzettingen bevatten een geokunststof tussen de ondergrond van klei en de granulaire laag. Dit geokunststof kan een uitvoeringstechnische functie hebben, maar heeft in elk geval een filterfunctie en moet dus gronddicht zijn. Het is dus niet toegestaan om het geokunststof bijvoorbeeld vast te leggen door er piketpaaltjes doorheen te slaan.

De taludhelling:

- In de praktijk wordt vaak een tonronde aangebracht: het talud krijgt dan een bolronde (convexe) vorm, waardoor de bekleding bovenin iets flauwer en onderin iets steiler is. In het ontwerp moet hiermee rekening worden gehouden, maar gecontroleerd moet worden of de uiteindelijk aangelegde taludhelling overeenkomt met de aannamen. De manier waarop de tonronde wordt aangebracht verschilt per regio. In paragraaf 4.6.4 wordt aandacht besteed aan de meest voorkomende vorm in Zeeland en in het IJsselmeergebied.

Ingieten:

- Ingieten met asfalt is een bijzondere voorziening die vooral wordt toegepast om de negatieve invloed van overgangsconstructies te compenseren. Deze maatregel werkt alleen gunstig als het asfalt ook volledig doordringt in de granulaire laag en werkt zelfs ongunstig als alleen de toplaag waterdicht wordt. Het ingieten moet plaatsvinden voordat de toplaag wordt ingewassen en voordat de bekleding door golfwerking ingezand raakt. De penetratiemortel moet worden afgestemd op de te penetreren spleetbreedte.

Teenbestortingen:

- Onder teenbestortingen wordt in het algemeen een geokunststof toegepast om uitspoeling van het basismateriaal te voorkomen en de bestorting goed aan te kunnen brengen. Bij het aanbrengen van de breuksteen kan het onderliggende geokunststof worden beschadigd; het is belangrijk dat voorzieningen worden getroffen om dat te voorkomen: extra bescherming in de vorm van een rietmat, zorgvuldig aanbrengen van de breuksteen, en bij zwaardere breuksteensorteringen kan tussen toplaag en geokunststof een beschermingslaag van een lichtere sortering worden aangebracht.

Uitvoeringsperiode:

- Het is een algemeen erkende beheersregel dat bekledingen op het buitentalud alleen mogen worden opengeboken buiten het stormseizoen. De precieze duur van dit seizoen verschilt per regio.
- Het is ook belangrijk om bij de planning van de uitvoering rekening te houden met het broedseizoen van eventueel aanwezige (bijzondere) vogels. Overigens zal dit vaak een eis zijn in het kader van de milieueffectrapportage. Daarnaast is het wenselijk om bij een recreatieve functie van het projectgebied rekening te houden met het toeristenseizoen.

Archeologie en cultuurhistorie:

- In het contract dient de mogelijke inpassing van aanwezige archeologische en cultuurhistorische elementen nader omschreven te worden en hoe dit uit te voeren. Daarnaast dient te worden bekeken welke bijzondere maatregelen eventueel nodig zijn om de elementen niet te beschadigen.

Transportroutes en depotlocaties:

- Tijdens de contractfase dient toestemming te worden gevraagd aan de (particuliere) eigenaren van het wegennet wanneer deze als transportroute moeten dienen. Bij de vaststelling van transportroutes dient rekening gehouden te worden met broedlocaties of hoogwatervluchtplaatsen van bepaalde vogelsoorten.
- Samen met de transportroutes dient in de contractfase gekeken te worden naar de depotruimte in de buurt van het werk. Mogelijk moeten hiervoor ook vergunningen worden aangevraagd.

10.3 Aandachtspunten bekledingstypen

In paragraaf 10.2 staan een aantal aandachtspunten op hoofdlijnen beschreven. Deze paragraaf geeft een opsomming van allerhande aandachtspunten voor de bekledingstypen:

Overlagingen:

- Bij het aanleggen van vol en zat gepenetreerde breuksteen moet voorkomen worden dat de gietasfalt kort voor en tijdens het aanbrengen te veel afkoelt. Als de bekleding van een ruwe toplaag moet worden voorzien, dan moet direct na het ingieten van de breuksteen een sortering lavasteen 60-150 mm te worden uitgestrooid over het warme asfalt. Aan de bovenrand en aan de verticale randen dient een afdichting te worden aangebracht.
- Op de gedeelten waar de breuksteen met een strokenpatroon ingegoten wordt met gietasfalt, moet gezorgd worden dat de bekleding aan de onderzijde niet ondoorlatend wordt door het teveel uitvloeien van gietasfalt. Wel dienen alle elementen door het ingieten gefixeerd te worden.
- Alvorens een nieuwe laag waterbouwasfaltbeton wordt aangebracht op een bestaande laag afgekeurde waterbouwasfaltbeton dient een controle te worden uitgevoerd op mogelijke erosie van de ondergrond. Uitspoeling van zand en de aanwezige scheuren dienen te worden hersteld. De bestaande laag waterbouwasfaltbeton moet bovendien worden ontdaan van de slijtlaag.
- Voorafgaande aan het aanbrengen van de overlagingen van ingegoten breuksteen moeten de onderliggende lagen worden schoongemaakt. Er mogen geen algen en geen zand - en slibresten aanwezig zijn. Er moet rekening gehouden worden met de invloed van de getijbeweging op de kwaliteit van het ingieten. Aanvoer van sediment heeft, indien voorafgaand aan het ingieten, een verminderde sterkte tot gevolg door de slechtere hechting van het ingegoten asfalt aan de breuksteen en de onderlaag. Het heeft de voorkeur de breuksteen aan te brengen en in te gieten tijdens hetzelfde laagwater. Wanneer dit niet mogelijk is, dient een pomp met spuitlans aanwezig te zijn zodat de breuksteen voorafgaand aan het ingieten schoon kan worden gespoten.
- Doordat door het aanbrengen van een extra laag bekleding de doorlaatbaarheid nooit groter kan worden dan de huidige situatie, is de kans op het verhogen van de grondwaterstand in de nieuwe situatie ter plaatse van het dijklichaam aanwezig. In de contractfase zal nader onderzocht moeten worden wat de aanwezige grondwaterstand in het achterliggende terrein gemiddeld is en welke grondwaterstanden in het dijklichaam kunnen optreden. Indien deze significant hoger zijn dan eerder verondersteld, dan moet bekeken worden of die oplossing volstaat, of dat middels verdere detaillering de doorlatendheid plaatselijk nog vergroot moet worden.
- Betonblokken en haringmanblokken die worden overlaagd, moeten worden gebroken, voordat de overlaging wordt aangebracht. Zo wordt voorkomen dat een eventuele holte onder de blokken die is ontstaan door de uitspoeling van klei, onopgemerkt blijft en niet wordt opgevuld.

Overgangsconstructies:

- Indien bekledingstypen verschillen dient net als bij overige overgangen een afdichting te worden aangebracht. Bij het werken aan de overlagingen moet de kwaliteit van de te handhaven bekledingen worden gewaarborgd.
- Ter hoogte van de aansluiting van een nieuwe bekleding van betonzuilen op een bestaande, goedgetoetste bekleding van basaltzuilen, zal een deel van de goedgetoetste basaltzuilen moeten worden herzet. Alleen zuilen met een hoogte van minimaal 0,24 meter mogen worden herzet.
- Op de plaatsen waar de nollen/dammen aansluiten op de dijk, dienen de nieuwe bekledingen onder de nollen/dammen te worden doorgezet. Dat wil zeggen dat verborgen bekledingen van ingegoten breuksteen of betonzuilen moeten worden aangelegd. Een andere optie is om geen verborgen constructie aan te brengen maar de glooiing over circa 50 meter aan weerszijde op een dam door te trekken zodat schade aan de dam niet direct leidt tot schade aan de dijk.

- De palen achter de overgangsconstructie moeten van FSC-hout zijn dat voldoet aan Levensduursklasse 1.

Teenconstructies:

- Het materiaal waaruit het teenschot moet worden vervaardigd, wordt niet meer voorgeschreven en ook aan de levensduur van het teenschot worden geen eisen meer gesteld. Om het toekomstig verzakken van de bekleding bij het vergaan van het teenschot zoveel mogelijk te beperken, mag het teenschot niet dikker zijn dan 2 centimeter. De palen achter het teenschot moeten nog steeds van FSC-hout zijn dat voldoet aan Levensduursklasse 1.
- De teenbestorting wordt aangebracht op het kraagstuk van de vooroeververdediging. De aanwezige bestorting dient voorafgaand aan het aanbrenge van de teenbestorting tijdelijk te worden opzij gezet.

Onderlagen:

- In het gehele dijkvak dienen onder de basalt en open steenasfaltbekledingen de afmetingen van deze onderlagen met behulp van een aantal extra kleiboringen nauwkeuriger te worden vastgesteld. Als deze onvoldoende dik zijn, moet een nieuwe onderlaag van fosforslakken, klei of mijnsteen worden aangebracht met een minimale dikte van 0,8 meter. Mijnsteen, fosforslakken en klei moeten gescheiden verwerkt worden. Vermenging is niet toegestaan.
- Vrijkomende mijnsteen dient binnen de grenzen van het werk opnieuw verwerkt te worden.
- De aan te brengen fosforslakken en klei dienen verdicht te worden.
- Tijdens de contractfase moeten aanvullende kleiboringen onder de glooiingsconstructie worden uitgevoerd.
- In het algemeen dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van kabels en leidingen.

10.4 Overdracht van uitvoering naar beheer

Tijdens de uitvoering van het werk moeten constructiegegevens worden verzameld en worden vastgelegd. Vaak worden deze verwerkt in revisietekeningen. Bij de oplevering van een werk kan slechts de buitenkant van de constructie worden beoordeeld, daarom is het essentieel dat gedurende de bouwfases de nodige relevante gegevens worden verzameld. Niet alle uitvoeringsgegevens zijn voor de beoordeling van de sterkte van de constructie even relevant. Zo is de hoeveelheid verwerkt filtermateriaal in het werk veel minder relevant dan de verdeling van dit materiaal over het werk. Die verdeling bepaalt immers de maximale filterlaagdikte en die is mede van invloed op de toplaagstabiliteit.

In Zeeland is het praktijk om op basis van alle gegevens verzameld in het beheerregister een toetsing uit te voeren teneinde na te gaan of alle benodigde gegevens voor de overdracht naar het beheer aanwezig zijn.

11 Beheer en onderhoud

11.1 Inleiding

De steenzetting moet zo worden ontworpen en aangelegd dat de beheerder haar goed kan beheren. Van belang hierbij zijn bereikbaarheid en begaanbaarheid van de constructie en waarneembaarheid en repareerbaarheid van schade. Bovendien kan het voorkomen van schade door vandalisme een aandachtspunt zijn.

Het beheer en onderhoud van steenzettingen behelst de volgende aspecten:

- Visuele inspectie na elke storm;
- Reguliere visuele inspectie (bijvoorbeeld eenmaal per jaar), inspectie in het kader van de wettelijk voorgeschreven toetsing;
- Prioritering van onderhoud op basis van middelen en geconstateerde schades;
- Reparatie van schades;
- Beheersen van vegetatie.

Alvorens wordt ingegaan op de inspectie en onderhoud wordt eerst de toegankelijkheid van het buitentalud behandeld.

11.2 Toegankelijkheid buitentalud

- De bereikbaarheid van de steenzetting kan worden gewaarborgd door hier en daar een dijkovergang over de kruin van de dijk te maken. Hierdoor kan de beheerder met een onderhoudsvoertuig op het buitentalud komen. Is het buitentalud zo kort dat het hele talud kan worden bereikt met een hydraulische kraan terwijl de kraan op de kruin staat, dan is dit niet noodzakelijk. Uiteraard moet de kruin dan bereikbaar en voldoende breed zijn voor onderhoudsvoertuigen.
- Daarnaast is de begaanbaarheid van belang, enerzijds voor een visuele inspectie (lopend) en anderzijds voor onderhoudsvoertuigen. Voor de gangbare steenzettingen geldt dat het oppervlak hiervoor voldoende vlak is. Soms wordt de steenzetting echter zo aangelegd dat er extra ruwheid ontstaat voor het beperken van golfoploop of worden stenen gebruikt met uitsteeksels, waardoor de begaanbaarheid sterk wordt beperkt. Er dient dan een plan te worden uitgewerkt en eventueel maatregelen te worden genomen om de mogelijkheid van onderhoud en inspectie te waarborgen.
- Al tijdens de aanleg van een steenzetting is bereikbaarheid een belangrijk punt. De afstand van de kruin tot de teen en de breedte van de kruin kan ervoor zorgen dat het nodig is om halverwege het talud een berm aan te leggen tijdens de uitvoering. Steenzettingen moeten namelijk kunnen worden aangelegd met een hydraulische kraan die in staat moet zijn het hele werk te beslaan. Het kan voordelen hebben om een dergelijke berm ook na de aanleg te behouden. Hierdoor kunnen onderhoud en reparaties eenvoudig met alle soorten materieel worden uitgevoerd, maar alleen als het niveau van deze berm ongeveer op toetspeil/ontwerppeil ligt. Als de berm ruim onder het toetspeil ligt heeft het een negatieve invloed op de stabiliteit van de steenzetting en slechts een kleine invloed op de golfoploop/overslag.

11.3 Inspectie en onderhoud

- Bij de visuele inspectie wordt eventuele schade aan de bekleding gesignaleerd. Daarbij worden de volgende schades onderscheiden:

- o ontbreken van toplaagelementen (veroorzaakt door storm, ijsgang, aanvaringen of vandalisme);
- o afgebroken koppen van zuilen;
- o verzakkingen en vervormingen;
- o het uitspoelen van inwasmateriaal;
- o gebreken aan de eventuele ingieting met gietasfalt;
- o begroeiing door houtvormende gewassen.

In geval van twijfel kan de visuele inspectie worden aangevuld met specifieke metingen (hier en daar een steen uit de steenzetting lichten, radarmetingen, VGD-metingen, trekproeven, et cetera).

- Eén enkel toplaagelement of zelfs vele vierkante meters aan toplaagelementen kunnen ontbreken als gevolg van stormbelastingen, ijsgang, aanvaringen of vandalisme. (Nood-)reparaties zijn bij dit soort schades veelal dringend gewenst. Vandalisme blijft meestal beperkt tot steenzettingen met een geringe toplaagdikte (kleiner dan 20 centimeter).
- Afgebroken koppen verminderen de toplaagdikte, maar deze schade is alleen relevant als hij op zodanige schaal optreedt dat hij over een oppervlak van een enkele vierkante meter de gemiddelde toplaagdikte significant reduceert. Afgebroken koppen kunnen het gevolg zijn van zonnebrand (basalt), lokaal te hoge normaalkrachten in een zetting of door het stoken van een kampvuur op de bekleding (vandalisme).
- Lokale verzakkingen of verplaatsingen van de zettingselementen kunnen veroorzaakt zijn door het slecht functioneren van het filter of geotextiel, door uitspoeling van de granulaire laag door de toplaag, door een instabiele toplaag bij golfaanval of door zetting van de ondergrond. Als het taludoppervlak een golvende vorm heeft aangenomen, is nader onderzoek noodzakelijk om de oorzaak te achterhalen.
- Als naast elkaar gelegen stenen meer dan 20% van de toplaagdikte ten opzichte van elkaar verzakt zijn, is analyse van de oorzaak en reparatie op korte termijn noodzakelijk.
- Bij een bekleding van interlock-blokken, of anderszins zeer goed geklemde blokken, is het signaleren van verzakkingen in de ondergrond door visuele inspectie soms lastig. Er moet aandacht zijn voor veel kleinere deformaties. Ook eventueel onderhoud kan lastig zijn, omdat kapotte blokken moeilijker zijn te vervangen.
- Specifieke aandacht verdienen de overgangsconstructies en teenconstructie. Bij die overgangen manifesteren schades zich vaak het eerst. Bij de overgangsconstructies moet visueel gecontroleerd worden of er uitspoeling van de ondergrond of granulairelaag mogelijk is of zelfs al is opgetreden en of de stenen nog goed geklemd liggen. Het onderhoud kan bestaan uit het opvullen van onstane spleten met gietasfalt of asfaltmastiek.
- Als de teenbestorting niet goed functioneert kan de teenconstructie en/of het teenschot verplaatsen/vervormen, waardoor de steenzetting langs het talud naar beneden zakt. Doorgaans zal dit niet met klein onderhoud verholpen kunnen worden.

- Op sommige locaties heeft het inwasmateriaal de neiging om geleidelijk uit te spoelen. Het aanvullen van het inwasmateriaal is nodig zodra over een oppervlakte van meer dan 1 m² de spleten voor minder dan de helft van de spleethoogte zijn gevuld met inwasmateriaal.
- Bij ingegoten bekledingen gaat het om de mate waarin het gietasfalt zorgt voor een grote samenhang tussen de stenen. Dat betekent dat het gietasfalt mag eroderen van de koppen van de stenen en bovendien mogen er enkele gaatjes of slecht gevulde spleten per vierkante meter aanwezig zijn. Bij inspectie moet er op gelet worden dat een groot deel van de omtrek van elke steen met gietasfalt vastzit.
- Op den duur (na 20 à 30 jaar) is het te verwachten dat het gietasfalt wordt aangetast, waardoor de stabiliteit van de ingegoten steenzetting minder wordt. De verminderde kwaliteit kan vastgesteld worden met VGD-metingen (zie toetsing).
- Niet houtvormende vegetatie kan op de bekleding uitstekend toegelaten worden. Vaak wordt dit zelfs toegejuicht vanwege het fraaie uiterlijk. Het is echter essentieel dat struiken en bomen (houtvormende gewassen) direct verwijderd worden. Het hout van deze gewassen drukt namelijk de stenen opzij en omhoog, waardoor het verband verbroken wordt. Om te voorkomen dat het geotextiel aangetast wordt, is het van belang dat de houtvormende gewassen tijdig verwijderd worden.
- Ten aanzien van de hoeveelheid onderhoud die nodig is op een steenzetting, is er weinig verschil tussen de bestaande typen steenbekleding. In alle gevallen is er betrekkelijk weinig onderhoud nodig.

KATERN IV: ALGEMENE INFORMATIE

12 Functies van een steenzetting

12.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt eerst de primaire functie van een steenzetting beschreven: bescherming van het dijklichaam tegen erosie. Daarna volgen de andere functies die een steenzetting kan vervullen: een ecologische, een landschappelijke, een cultuurhistorische en een recreatieve. Tenslotte wordt de relatie tussen de primaire functie en de overige functies besproken.

12.2 Primaire functie: veiligheid door bescherming tegen erosie

De primaire functie van een steenzetting is het leveren van veiligheid tegen overstromen door het beschermen van een dijk, dam of oever tegen erosie van gronddeeltjes door golf- en/of stromingsbelasting. Erosie van het buitentalud is een belangrijk faalmechanisme voor waterkerende grondlichamen. In de meeste gevallen moet erosie worden voorkomen uit het oogpunt van veiligheid tegen overstromen, dus niet zozeer uit economisch oogpunt (schadebeperking). Als de afmetingen van het grondlichaam afgestemd zijn op een dynamisch proces (zoals bij sommige grindoevers en bij duinen) is enige vervorming toelaatbaar. Als dat niet zo is (zoals doorgaans bij dijken en dammen), moet afslag worden voorkomen door een stabiele bekleding.

Bekledingen voorkomen dat het onderliggende grondlichaam rechtstreeks wordt belast door golven en stroming. Dit werkt alleen als de bekleding zelf stabiel is onder de belasting. Bekledingen ontleen hun stabiliteit aan het gewicht en/of aan de samenhang van de bekleding. Deze twee principes (gewicht en samenhang) zorgen voor de sterkte van bekledingen; de verhouding tussen de bijdrage van gewicht en van samenhang is voor elk type bekleding verschillend.

Bij harde bekledingen is het ene uiterste de bekleding van losgestorte materialen (gewicht overheerst) en het andere uiterste de monolietbekleding van beton of asfalt (samenhang overheerst). Steenzettingen zijn een tussenvorm: de samenhang tussen de elementen draagt bij aan de stabiliteit, en tegelijkertijd is de bekleding flexibel en open.

12.3 Overige functies van een steenzetting

De overige functies van een steenzetting, buiten de bescherming tegen erosie, hebben te maken met de omgeving. Deze functies kunnen een belangrijke rol spelen in de keuze van het bekledingstype. Ze worden hier kort aangeduid.

12.3.1 *Begroeibaarheid*

Een steenzetting kan mogelijkheden bieden voor bijzondere flora en fauna. Ten eerste heeft de zone rond de waterlijn, waar een steenzetting zich bevindt, in het algemeen een bijzonder ecologisch karakter. Daarnaast kan ook het harde substraat van een steenzetting zorgen voor bijzondere omstandigheden, vergelijkbaar met de Atlantische rotskusten.

De ecologische potentie van elke steenzetting hangt af van allerlei factoren: externe omstandigheden (zoals getijwerking, golfklimaat, sedimentatie, waterkwaliteit, zoet of

zout water), maar ook bekledingseigenschappen (zoals oppervlakteruwheid, aanwezigheid van holten en spleten, en watervasthoudend vermogen). Sommige constructiematerialen kunnen het milieu belasten (bijvoorbeeld restproducten als koperslabblokken of mijnsteen); in zo'n geval kan een steenzetting een rechtstreeks nadelig effect hebben op de organismen op de dijk of dam (en daarnaast op de bredere omgeving).

Als we naar de flora en fauna op de steenbekledingen kijken, dan zien we twee duidelijk verschillende zones op de zeedijk. Namelijk de zone onder gemiddeld hoogwater (GHW) en de zone boven gemiddeld hoogwater. De zone onder GHW komt bij iedere vloed onder water te staan. In deze zone vinden we voornamelijk wieren, algen, schelp- en weekdieren. De zone boven GHW komt alleen bij springvloed en stormcondities onder water. In deze zone vinden we voornamelijk vaatplanten en korstmossen. Beide zones worden hieronder nader toegelicht.

Voor achtergronden over de begroeibaarheid van steenzettingen wordt verwezen naar de rapporten: 'Ontwerp en benutting van harde infrastructuur in de getijzone voor ecologische en recreatieve waarden' [19], 'Planten en wiergemeenschappen op de Westerscheldedijken' [26] en 'Project Ecozuilen Eindrapport monitoring 2001-2002' [12].

Zone onder gemiddeld hoogwater

Deze zone staat twee keer per dag bij vloed onder water en valt bij eb grotendeels droog. Deze zone kan begroeid raken met verschillende wieren, algen, schelp- en weekdieren. Het geheel aan soorten die voor kunnen komen, wordt vaak aangeduid als wiergemeenschappen. Het voorkomen van deze wiergemeenschappen is voornamelijk beperkt tot harde substraten. Het voorkomen van harde substraten in Nederland is weer voornamelijk beperkt tot zeekeringen. De wiergemeenschappen zijn dus in hun verspreiding in Nederland voornamelijk afhankelijk van de zeedijken. Het al dan niet voorkomen van wiergemeenschappen en hun samenstelling is afhankelijk van veel factoren die elkaar onderling ook weer beïnvloeden. Hieronder worden de belangrijkste kort genoemd.

Expositie ten opzichte van windrichting

De wiergemeenschappen kunnen zich het beste ontwikkelen onder rustige omstandigheden. De expositie van de dijk ten opzichte van de wind bepaald hoe vaak en hoe hoog de golfaanval is op de dijk. Is dit te frequent en te zwaar dan spoelen de wieren los van de glooiing, het voorland speelt hier ook een rol. Een grote open watervlakte zorgt voor een lange strijklengte waardoor de golven hoger zullen zijn. Een hoge zandplaat vlak voor de dijk (niet er tegenaan) zorgt voor beschutting waardoor er betere mogelijkheden zijn voor wiergemeenschappen om zich te vestigen.

Voorland

Het type voorland is ook belangrijk, wiergemeenschappen gedijen het beste bij een voorland van diep of ondiep water. Een laag gelegen slik is vaak ook nog geen probleem. Hoe hoger het voorland wordt hoe minder de wiergemeenschappen een kans krijgen omdat de zone waar ze op voor kunnen komen steeds kleiner wordt. Als er een schor als voorland is, zullen er over het algemeen geen wiergemeenschappen aanwezig zijn op de dijk.

Helderheid van het water

Wiergemeenschappen gedijen het beste bij helder water, hoe troebeler het water hoe meer sediment er vaak ook op de dijk neerslaat. Dit belemmert de groei en vestiging van wiergemeenschappen.

Tabel 12-1: Substraattypen steenbekledingen onder gemiddeld hoogwater

Betonblokken	Betonblokken zijn redelijk goed begroeibaar het materiaal is vrij ruw heeft een lichte kleur en houdt redelijk vochtvast. Bij een glooiing van betonblokken zijn echter weinig tot geen holten en spleten omdat ze strak tegen elkaar gelegd worden. Of het om vlakke betonblokken of haringmanblokken gaat maakt niet uit. Ook een toepassing liggend of op z'n kant geeft geen verschil.
Betonzuilen	Betonzuilen zijn redelijk goed begroeibaar. Het materiaal is vrij ruw en heeft een lichte kleur en houdt redelijk vocht vast. Door de vorm van de zuilen (zowel bij hydroblocks als bij basalt) ontstaan redelijke spleten.
Betonzuilen met ecotoplaag	Door de betonzuilen uit te voeren met een ecotoplaag met een poreuze ruwe eigenschap wordt deze goed begroeibaar door het ruwe oppervlak en goede vochtvasthoudend vermogen. De hoeveelheid spleten is gelijk aan gewone betonzuilen. Het is belangrijk dat de ecotoplaag uit een ruwe poreuze steen bestaat, zoals bijvoorbeeld lavasteen.
Basalt	Basalt is een harde natuursteen met een donkere kleur die slecht vocht vasthoudt. Het is dan ook matig begroeibaar. Onder rustige omstandigheden kan zich een goede wiergemeenschap ontwikkelen. Door de onregelmatige vorm ontstaan er veel holtes en spleten waardoor er veel anemonen, schelpdieren en alikruiken op voor kunnen komen. Het zeldzame groefwier lijkt in de Oosterschelde een voorkeur te hebben voor basalt.
Doornikse steen	Doornikse steen is een harde gelaagde natuursteen die donker van kleur is en slecht vocht vasthoudt. Door de vrij grote redelijk rechte blokken zijn er niet veel spleten en holtes tussen de blokken. Het is dan ook een matige begroeibaar.
Overlaging met beton	Beton is vrij ruw en houdt redelijk vocht vast en kan dus ook redelijk begroeien. Doordat het een vlakke aaneengesloten plaatconstructie wordt, zijn er geen spleten en holten aanwezig.
Vilvoordse steen	Vilvoordse steen is een poreuze natuursteen met een lichte kleur die goed vocht vasthoudt. Het is dan ook goed begroeibaar. Door de onregelmatige vorm zijn er veel speten aanwezig. Momenteel komen de meeste soortenrijke wiergemeenschappen voor op Vilvoordse steen.

Substraattypen

- Zeer belangrijk is het type substraat waar de dijk uit bestaat. Wiergemeenschappen zijn gebaat bij een ruw substraat. Is het substraat te glad, dan kunnen de wieren niet goed hechten en zullen ze snel van het materiaal afspoelen. Verder moet het substraattypen een redelijk vochtvasthoudend vermogen hebben, hierdoor kunnen de wieren vooral in de zomer de laagwaterperiode goed overleven. Deze eigenschap is vooral voor de vestiging van belang. Een eenmaal gesloten wervegetatie heeft zelf een goed vochtvasthoudend vermogen. Ook de kleur van de bekleding speelt vooral bij de vestiging een rol. Een donkere bekleding wordt sneller warm, waardoor vooral in de zomer aangehechte organismen het niet overleven. De aanwezigheid van holtes en

- spleten is bevorderlijk voor de aanwezigheid van organismen als anemonen, schelpdieren en alikruiken. Ze bieden een veilige en beschutte groeiplaats;
- Het substraattypen is een van de weinige factoren die we kunnen beïnvloeden en die bij werkzaamheden ook vaak beïnvloed wordt. In Tabel 12-1 worden de gangbare steenbekledingen met een toelichting genoemd en wordt aangegeven hoe geschikt deze zijn voor wierbegroeiingen. Het gaat in deze tekst alleen om gezette steenbekledingen, substraattypen met asfalt worden hier niet behandeld;
 - In Tabel 12-2 worden de bekledingen ingedeeld in begroeibaarheid. Voor een goede vergelijking worden hier ook asfaltconstructies genoemd. De bekledingen staan op volgorde van begroeibaarheid beginnend bij slecht en eindigend bij goed. De lijst is zeker niet compleet, maar geeft een goed beeld van de meest beschikbare steenbekledingen en hun begroeibaarheid. Ontbrekende steenbekledingen kunnen op basis van hun eigenschappen toegevoegd worden.

Tabel 12-2: Begroeibaarheid steenbekledingen onder gemiddeld hoogwater

Substraattypen	Begroeibaarheid
Asfalt	Slecht
Overlaging met asfalt gepenetreerd "vol en zat"	Slecht
Open steenasfalt/elastocoast	Matig slecht
Doornikse steen	Matig
Basalt	Matig
Overlaging met beton	Redelijk
Betonblokken	Redelijk goed
Overlaging asfalt afgestrooid met lavasteen	Redelijk goed
Betonzuilen	Redelijk goed
Betonzuilen met ecotops	Goed
Vilvoordse steen	Goed

Waarschuwing

Bij het ingebruiknemen van zuilen worden deze vaak ingewassen met steenslag. Als dit overmatig gebeurt dan verzamelt het overtollig materiaal zich aan de voet van de dijk. Door de golfwerking worden dit over de glooiing geschuurd waardoor wieren zich niet kunnen vestigen. Dit kan zelfs het gebruik van ecotops nutteloos maken. Het is dus zaak om vanwege de sterkte voldoende, maar vanwege de begroeibaarheid niet te veel, steenslag te gebruiken. Eventueel overtollig materiaal te verwijderen kan de begroeibaarheid verbeteren.

Zone boven gemiddeld hoogwater

Deze zone staat niet, of alleen bij spring- en stormvloed onder water. De zone kan begroeit raken met vaatplanten en korstmossen. Bij de vaatplanten is er in deze zone nog een tweedeling. In het gedeelte dat nog wel onder invloed staat van opspattend zoutwater en springvloed komen voornamelijk zout en zouttolerante planten soorten voor. In de zone die niet onder deze invloed staat, komen voornamelijk zoete soorten voor. Het zijn vooral de zout en zouttolerante soorten die de begroeiing van deze zone bijzonder maken. Het gaat dan om specifieke rots- en vloedmerksorten zoals: zeevenkel, zeekool, strandbiet, gelobde melde en gele hoornpapaver. Deze soorten zijn in hun verspreiding in Nederland bijna volledig toegewezen op de zeedijken. Daarnaast zien we hier ook specifieke schorplanten zoals: zeeveegbree, lamsoor, zeeaster, engels gras, gewone zoutmelde, et cetera. voor deze soorten vormen de dijken een toevluchtsoord en verbindingszone tussen de steeds verder afnemende schorren langs onze kust.

Het voorkomen van een zoute vegetatie op de dijk is afhankelijk van verschillende factoren. Hieronder worden de belangrijkste genoemd.

Expositie van de dijk

De expositie van de dijk bepaalt vaak de hoeveelheid zout spatwater. Als een dijk heel rustig ligt, is er maar een hele smalle zone waar zoutplanten voor kunnen komen. Wordt de dijk echter blootgesteld aan grote golven, dan kan dit ook weer te dynamisch zijn waardoor er nauwelijks planten kunnen groeien.

Type voorland

Het voorland is ook van invloed op de hoeveelheid spatwater. Achter een hoog schor komt nauwelijks zout water tegen de dijk en zal voornamelijk zoete vegetatie staan. Een hoge slik of een lage schor zijn meestal het gunstigste in verband met aanvoer van sediment en aanwezigheid van zaden. Bij diep open water als voorland kan een mooie zoutvegetatie ontstaan zolang de expositie gunstig is.

Aanvoer van sediment

Als er op de dijk sediment wordt aangevoerd, hetzij slib via het water of zand via de wind (in de buurt van het strand), levert dit vaak meer vegetatie op. De holtes tussen de stenen worden dan opgevuld met sediment waar de vegetatie goed in kan wortelen.

Aanvoer van organisch materiaal (veek)

Door de aanvoer van organisch materiaal komen er voedingsstoffen op de dijk voor de planten. Vooral de vloedmerk- en rotskustsoorten zijn hier van afhankelijk. Als er een schor in de buurt is, levert dit vaak zaden op waardoor planten zich sneller kunnen vestigen.

Type substraat

- Het type substraat is erg belangrijk. Er moet ruimte zijn voor de planten om in te wortelen en er moet voldoende vocht beschikbaar blijven tijdens droge periodes. De ruimte tussen de steenbekleding moet ook weer niet te groot zijn, zoals bij stortsteen, omdat dan de kleinere planten geen houvast hebben en snel wegspoelen. Een lichte kleur van de bekleding zorgt dat de stenen niet te snel opwarmen waardoor de vegetatie zou kunnen "verbranden";
- Omdat het substraattype een van de weinige factoren is die we kunnen beïnvloeden en die bij werkzaamheden ook vaak beïnvloed wordt, worden in Tabel 12-3 de gangbare steenbekledingen genoemd met een toelichting hoe geschikt deze zijn voor wierbegroeiingen. Het gaat in deze tekst alleen om gezette steenbekledingen, substraatypen met asfalt worden hier niet behandeld.
- In Tabel 12-4 worden de bekledingen ingedeeld in begroeibaarheid. Voor een goede vergelijking worden hier ook asfaltconstructies genoemd. De bekledingen staan op volgorde van begroeibaarheid beginnend bij slecht en eindigend bij goed. De lijst is zeker niet compleet, maar geeft een goed beeld van de meest beschikbare steenbekledingen en hun begroeibaarheid. Ontbrekende steenbekledingen kunnen op basis van hun eigenschappen toegevoegd worden.

Tabel 12-3: Substraattypen steenbekledingen boven gemiddeld hoogwater

Betonblokken (liggend geplaatst)	Betonblokken zijn redelijk begroeibaar. Het materiaal heeft een lichte kleur en houdt redelijk vocht vast. Het substraatype is tussen de blokken goed doorwortelbaar. Bij een glooiing van betonblokken zijn er smalle spleten omdat ze strak tegen elkaar gelegd worden. Het zijn vooral de kleinere plantensoorten die hier goed tussen kunnen groeien.
Betonblokken (gekanteld geplaatst)	Betonblokken op z'n kant zijn redelijk goed begroeibaar. Het materiaal heeft een lichte kleur en houdt redelijk vocht vast. Het substraatype is tussen de blokken goed doorwortelbaar. Bij een glooiing van betonblokken op z'n kant zijn meer naden dan bij betonblokken die liggend geplaatst zijn en vaak liggen ze ook iets minder strak tegen elkaar. Hierdoor is dit substraatype beter begroeibaar dan de liggende blokken.
Betonzuilen	Betonzuilen zijn goed begroeibaar. Het materiaal heeft een lichte kleur en houdt redelijk vocht vast. Door de vorm van de zuilen (zowel bij hydroblocks als bij basalt) ontstaan redelijke spleten die goed doorwortelbaar zijn. In deze spleten verzamelt zich vaak sediment en veek waardoor hier allerlei plantensoorten zich prima kunnen vestigen.
Betonzuilen met ecotoplaag	Hiervoor geldt hetzelfde als gewone betonzuilen. De ecotoplaag heeft alleen meerwaarde voor wieren en niet voor vaatplanten. Dit blijkt uit een onderzoek in 2002, waarbij verschillende glooiingen onderzocht zijn (Jentink, 2003).
Basalt	Basalt is een harde natuursteen met een donkere kleur die slecht vocht vasthoudt. Het is dan ook slechts redelijk begroeibaar. Door de onregelmatige vorm ontstaan er veel holtes en spleten waardoor er een goede doorworteling is en er goede vestigingsmogelijkheden zijn.
Vilvoordse steen	Vilvoordse steen is een poreuze natuursteen met een lichte kleur die goed vocht vasthoudt. Het is dan ook goed begroeibaar. Door de onregelmatige vorm zijn er veel spleten aanwezig. Hierdoor kunnen planten zich prima vestigen en handhaven.
Doornikse steen	Doornikse steen is een harde gelaagde natuursteen die donker van kleur is en slecht vocht vasthoudt. Door de vrij grote redelijk rechte blokken zijn er niet veel spleten en holtes tussen de blokken. Het is dan ook matig begroeibaar.
Overlaging met beton	Overlaging met beton zorgt voor een gesloten bekleding. Hierdoor kunnen vaatplanten zich niet vestigen. Het is dan ook slecht begroeibaar. Alleen als er scheuren in het beton komen, kunnen hier zich enkele planten vestigen.

Tabel 12-4: Begroeibaarheid steenbekledingen boven gemiddeld hoogwater

Substraattyp	Begroeibaarheid
Asfalt	Slecht
Overlaging met asfalt gepenetreerd "vol en zat"	Slecht
Overlaging met beton	Slecht
Overlaging asfalt afgestrooid met lavasteen	Slecht
Doornikse steen	Matig
Open steenasfalt/elastocoast	Redelijk
Basalt	Redelijk
Betonblokken (liggend)	Redelijk
Betonblokken (gekanteld)	Redelijk goed
Betonzuilen	Goed
Betonzuilen met ecotops	Goed
Vilvoordse steen	Goed

Bevorderen van de begroeiing

Om de vestiging van planten te versnellen, wordt zo nu en dan gekozen om een nieuwe bekleding af te strooien met grond. Dit versnelt de vestiging van planten, maar het bevordert niet de samenstelling van de soorten. Het zijn vooral de algemenere soorten die hier van profiteren. Tevens is het risico dat er veel vreemde soorten aangevoerd worden met de grond. De maatregel is te gebruiken in gebieden waar het naar verwachting heel lang duurt voordat er zich planten zullen vestigen of als het echt noodzakelijk is dat er snel begroeiing komt. In andere gevallen is het beter als de vegetatie zich zelf vestigt. Veel bijzondere soorten, vooral de vloedmerk- en rotskustsoorten, profiteren niet van het afstrooien van een glooiing omdat ze dan te veel concurrentie krijgen.



Figuur 12-1: Begroeiing op bekleding van basalt

12.3.2 Visueel aspect van het landschap

Waterkeringen zijn een markant en vormend onderdeel van het Nederlandse landschap. Vooral zee- en meerdijken worden door mensen beleefd als duidelijke scheidingen tussen land en water, die veiligheid bieden aan het achterland. Ook de

steenzetting speelt een rol in die beleving. Belangrijk daarbij zijn de kleur en oppervlaktetextuur van de bekleding, de mate van eenvormigheid of juist diversiteit en de verdeling in stroken (verschillende typen boven elkaar) of vakken (verschillende typen naast elkaar). Op speciale locaties kan een bepaald bekledingstype gewenst zijn uit esthetisch oogpunt (bijvoorbeeld een basaltbekleding bij een oude sluis).



Figuur 12-2: Grens tussen land en water in Zeeuws-Vlaanderen



Figuur 12-3: Oude bekleding van Vilvoordse steen

12.3.3 *Cultuurhistorisch monument*

De oudste steenzettingen in Nederland dateren uit de 19e eeuw: vanaf die periode werden de bekledingen van rijsbeslag en gebakken steen vervangen door natuursteen

uit het buitenland. Vanaf de Tweede Wereldoorlog zijn op grote schaal allerlei typen betonblokken toegepast als steenzetting. In de huidige oude bekledingen zijn veel van de oorspronkelijke materialen nog aanwezig, maar vaak zijn deze later herzet, bijvoorbeeld na schade of bij dijkversterking (zoals na de Watersnoodramp van 1953 in Zeeland). Een oude steenzetting kan cultuurhistorische waarde hebben; in geval van herzette elementen kan het materiaal zelf cultuurhistorische waarde hebben. Hierbij kan de situatie ontstaan dat behoud van de bestaande situatie cultuurhistorisch gewenst is, terwijl dat veiligheidstechnisch niet mogelijk is.

12.3.4 *Omgeving voor recreatie*

De buitentaluds van zee- en meerdijken worden over het algemeen gebruikt voor extensieve recreatie. Op buitenbermen wordt vaak gefietst en gewandeld, het buitentalud zelf wordt gebruikt door vissers en op het voorland kan strandrecreatie plaatsvinden.



Figuur 12-4: Recreatie op het buitentalud

12.4 Primaire functie in relatie tot de overige functies

Traditioneel werd het ontwerp van een steenzetting volledig afgestemd op de erosiebeschermende functie. Als de steenzetting eenmaal op de dijk of dam lag, werd ze vanzelf onderdeel van de omgeving en ingepast in het gebruik. Nog steeds is bescherming tegen erosie de primaire functie, maar tegenwoordig wordt gestreefd naar optimalisatie van het ontwerp voor alle functies. De milieueffectrapportage is daarvoor een belangrijk instrument. Voorop staat nog steeds dat de bescherming tegen erosie verzekerd moet zijn, maar de maatschappij heeft er geld en moeite voor over om ook de andere functies zo goed mogelijk tot hun recht te laten komen.

13 Constructieonderdelen steenzetting

13.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft uit welke onderdelen een steenzetting bestaat. Uiteraard wordt hierbij uitgegaan van de steenzettingen die in aanmerking komen voor ontwerp. Paragraaf 13.2 geeft een overzicht van alle denkbare varianten van bekledingssystemen. In 13.3 wordt het bekledingssysteem van een steenzetting besproken. Achtereenvolgens komen de onderdelen van dit systeem aan de orde: de toplaag, het inwasmateriaal, de tussenlagen en het basismateriaal.

13.2 Varianten van bekledingssystemen

In deze paragraaf wordt een systematisch overzicht gegeven van alle denkbare en mogelijke varianten voor het bekledingssysteem. Geredeneerd vanuit de onderlaag (zand, klei of granulaire aanvulling) worden alle mogelijke combinaties van filter, uitvullaag en toplaag schematisch weergegeven in Tabel 13-1. In het ontwerpproces wordt op basis van dit schema de keuze van het bekledingstype gemaakt.

Tabel 13-1: Overzicht varianten bekledingssystemen

Ondergrond	Filter	Uitvullaag	Toplaag	Toepasbaarheidsklasse	
zand	granulair	=filterlaag	elk type s.e. (18x)	1	
			blokkenmat	2	
	geokunststof	geen	betonblokken (4x)	3	
klei	geen		blokkenmat	3	
			doorgroeistenen	3	
			betonblokken (4x)	2	
	geokunststof		blokkenmat	2	
		granulair	elk type s.e. (18x)	1	
granulaire aanvulling	geen	geen	betonblokken (4x)	2	
		granulair	elk type s.e. (18x)	1	
	granulair	=filterlaag	elk type s.e. (18x)	1	
			blokkenmat	2	
		geokunststof	geen	betonblokken (4x)	2
			blokkenmat	2	
bestaande steenzetting	geen	geen	elk type s.e. (18x)	1	
			overlaging met breuksteen	1	
			(herzetten en) penetreren	2	

Het schema bevat alle mogelijkheden, maar de afweging is in de praktijk vaak veel eenvoudiger doordat sommige bekledingssystemen alleen toepasbaar zijn in bijzondere omstandigheden. Vooruitlopend op de behandeling van de keuze van het bekledingstype in de sectie Ontwerpproces is daarom in de laatste kolom van het schema een indicatieve aanduiding opgenomen van de omstandigheden waarbij elke variant in aanmerking komt:

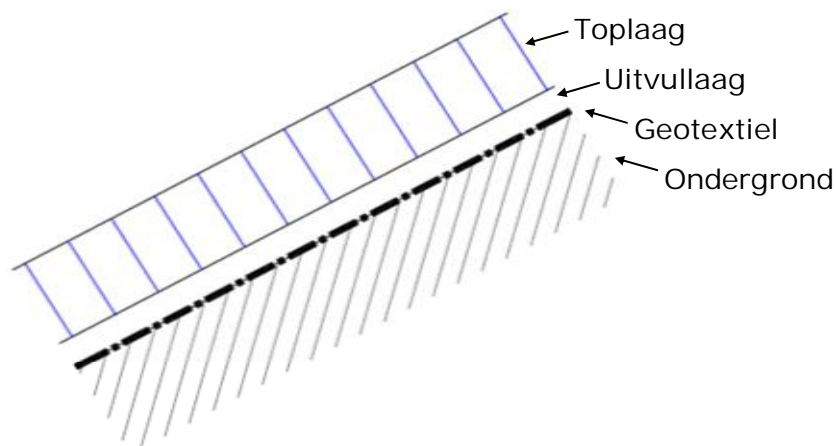
Klasse 1 komt in aanmerking voor zee- en meerdijken onder golfbelasting (zware belasting) en is natuurlijk ook toepasbaar bij lichtere belasting. Het betreft de bekledingssystemen van standaardelementen (afgekort tot s.e. in de tabel) met zowel een filterlaag als een uitvullaag en overlagingen met breuksteen.

Klasse 2 wordt alleen toegepast in bijzondere omstandigheden en kan dan in aanmerking komen voor zware en lichte belasting. Het betreft bekledingssystemen zonder uitvullaag, blokkenmatten met een filterlaag, ingieten met asfalt en steenzettingen met ruwheidselementen (niet apart in de tabel opgenomen).

Klasse 3 komt alleen in aanmerking bij lichtere belasting (rivierdijken, golfloopzone). Het betreft de bekledingssystemen zonder filterlaag en het toplaagtype doorgroeiëstenen.

13.3 Bekledingssysteem

Het bekledingssysteem van elke steenzetting bevat een toplaag en een ondergrond (basismateriaal of granulaire aanvulling). Afhankelijk van de eigenschappen van de toplaag en de ondergrond en van de hydraulische omstandigheden, worden tussen de toplaag en de ondergrond extra lagen toegepast: de uitvullaag en de filterconstructie. De uitvullaag bestaat uit granulair materiaal, de filterconstructie bestaat uit granulair materiaal of uit geokunststof (zie figuur 13-1). Normaal gesproken wordt zowel een uitvullaag als een filter toegepast. Alleen in bijzondere omstandigheden is dat niet nodig, afhankelijk van vooral de volgende twee aspecten: de vatbaarheid voor uitspoeling van de ondergrond én de vorm van de toplaagelementen.



Figuur 13-1: Schematische standaardopbouw bekledingssysteem (detail)

Primaire faalmechanismen

Een steenzetting kan falen als gevolg van drie mechanismen:

- Toplaaginstabiliteit: stabiliteitsverlies van individuele toplaagelementen;
- Afschuiving van de bekleding en/of de ondergrond;
- Materiaaltransport vanuit de ondergrond of vanuit de granulaire laag door toplaag.

De maatregelen tegen materiaaltransport vanuit de ondergrond zijn sterk afhankelijk van de vatbaarheid voor uitspoeling van de ondergrond (korrelgrootte, cohesie). Bij

een ondergrond van klei of keileem wordt materiaaltransport in het algemeen voorkomen door een geokunststof. Bij een ondergrond van zand kan worden gekozen tussen een granulaire filter en een geokunststof. Als een reeds aanwezige ondergrond van breed gegradeerd granulaire materiaal niet intern stabiel is, zijn soms ook maatregelen nodig. In zo'n geval kan worden gekozen tussen een granulaire filter en een geokunststof.

De maatregelen tegen materiaaltransport door de toplaag betreffen het grover maken van de granulaire laag onder de toplaag of het kleiner maken van de openingen in de toplaag.

(Bijna) altijd uitvullen

De vorm van de toplaagelementen heeft invloed op het ontwerp van de granulaire laag. Alleen bij zeer uniforme en vlakke toplaagelementen is uitvoeringstechnisch oogpunt een granulaire uitvullaag onder de toplaag niet noodzakelijk. In de praktijk kan alleen bij een toplaag van vlakke betonblokken boven/buiten de getijzone worden overwogen om geen uitvullaag toe te passen, maar dit is constructief ongunstig.

Bijzondere omstandigheden

- Er zijn situaties denkbaar waarbij de kans op materiaaltransport klein is én de eventuele gevolgen daarvan acceptabel zijn. De kans op materiaaltransport is klein in situaties met zeer lage golfaanval, waarbij de ondergrond uitspoelingsbestendig is en/of de open ruimte tussen de toplaagelementen klein is (zoals betonblokken op klei). De eventuele gevolgen kunnen acceptabel zijn als de bekleding geen belangrijke rol speelt in de veiligheid tegen overstroming (op een rivieroever of een niet-primaire waterkering of boven de maatgevende waterstand). Voor de duidelijkheid: een bekleding van betonblokken op klei is niet toelaatbaar op een zee- of meerdijk onder de maatgevende waterstand.
- Het kan nodig zijn om een granulaire laag aan te brengen om het faalmechanisme afschuiving tegen te gaan, terwijl dat niet nodig is uit het oogpunt van uitvoering of materiaaltransport.

Verborgene bekledingen

In deze Handreiking wordt niet apart aandacht besteed aan zogenaamde verborgene bekledingen: bekledingen op een talud dat om een bepaalde reden wordt afgedekt met grond. Verborgene bekledingen worden in de regel ontworpen alsof de afdekking met grond niet aanwezig is.

13.3.1 *Toplaag van standaardelementen*

Voor het ontwerp van de toplaag van een steenzetting komen twee groepen varianten in aanmerking: een groep standaardelementen en een groep aanverwante bekledingstypen. De eerste groep wordt hier besproken en de laatste in §13.4.1.

Een toplaag met standaardelementen is de meest gebruikelijke toplaag van een steenzetting. Normaliter wordt deze toplaag toegepast in de golfklapzone van zee- en meerdijken, en vaak ook op minder zwaar belaste taluds (rivierdijken, golfoploopzone).

Een belangrijk kenmerk van dit type is dat de elementen niet onderling verbonden zijn, maar dat ze extra stabiliteit ontleenen aan het onderlinge verband van de zetting. De mogelijke typen worden in hoofdlijnen onderscheiden door hun vorm en hun materiaal, zie Tabel 13- 2. In Figuur 13-2 afbeeldingen van de verschillende toplagen.

Tabel 13-2: Typen toplagen met standaardelementen

	Blokken	Zuilen	Nieuw/hergebruik
Beton	Betonblokken	Betonzuilen	Nieuw+hergebruik
Natuursteen	Granietblokken	Basaltzuilen	Alleen hergebruik
Restproducten	Koperslakblokken		Alleen hergebruik en alleen als aan milieueisen wordt voldaan



Figuur 13-2: Typen toplagen met standaardelementen

De vorm van toplaagelementen

Er is geen precieze definitie van blokken en zuilen. In Tabel 13-3 staan de kenmerkende verschillen tussen blokken en zuilen.

Tabel 13-3 Verschillen tussen blokken en zuilen

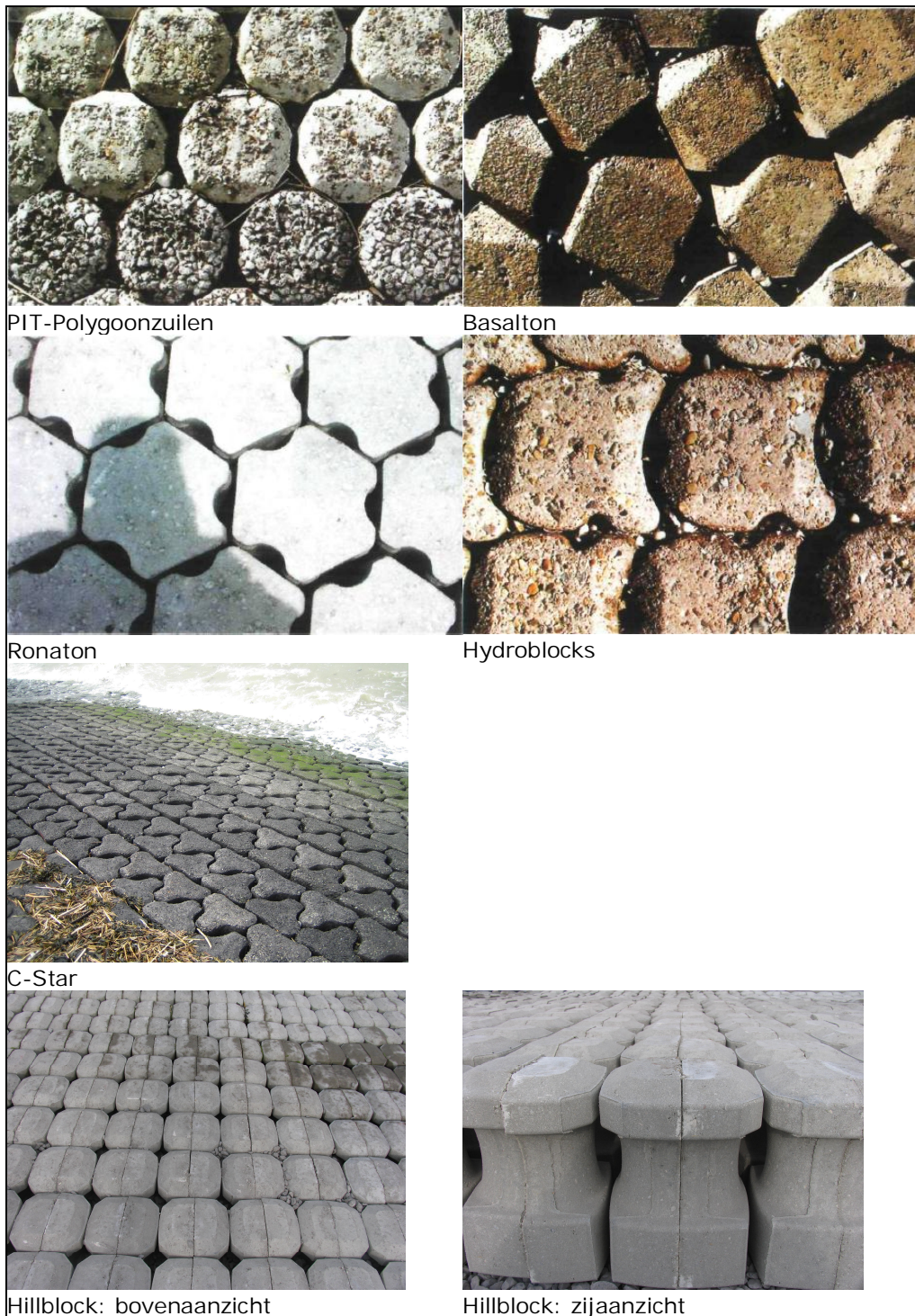
	Blokken	Zuilen
Spleetbreedte	Constant	Variabel
Vorm	Regelmatig vierkant, rechthoekig, of zeshoekig	Onregelmatig (soms regelmatig), veelhoekig
Open ruimte	Meestal minder dan bij zuilen, doorgaans 0-5%	Meestal meer dan bij blokken, doorgaans 5-15%
Samenhang	Meestal minder dan bij zuilen	Meestal meer dan bij blokken
Toplaagstabiliteit	Meestal minder dan bij zuilen	Meestal meer dan bij blokken
Inwassing met steenslag	Meestal niet	Meestal wel

Het materiaal van toplaagelementen

Alle nieuw aan te leveren toplaagelementen zijn tegenwoordig van beton. Bij nieuwe elementen is beton namelijk gunstiger dan natuursteen uit het oogpunt van ontwerprijheid (verschillende afmetingen en typen leverbaar), materiaalkosten en uitvoeringstechniek (machinaal per pakket te plaatsen). Zijn er oude elementen beschikbaar voor hergebruik, dan verandert de afweging: hergebruik is vaak zeer gunstig uit het oogpunt van kosten en milieu. Daarnaast zijn soms op grond van esthetische overwegingen elementen van natuursteen gewenst. Bestaande elementen die bestaan uit restproducten, zoals koperslabblokken, worden alleen toegepast als wordt voldaan aan eisen met betrekking tot mogelijke milieuvervuiling (bijvoorbeeld door uitloging).

Typen betonzuilen

Uit het bovenstaande blijkt dat zuilen meestal gunstiger zijn dan blokken en dat beton meestal gunstiger is dan andere materialen. Daarom wordt bij nieuw aan te leveren elementen meestal gekozen voor betonzuilen. Er bestaan verschillende typen betonzuilen: Basalton, PIT-Polygoonzuilen, Ronaton, C-Star, Hillblock en Hydroblocks (de laatste twee typen worden vanwege de vorm, en ondanks de naam, in deze Handreiking behandeld als een zuil). Deze typen kunnen machinaal in pakketten worden geplaatst, zijn leverbaar in verschillende zuilhoogten en –dichtheden, kunnen worden voorzien van een ruw laagje op de kop van de steen ('ecotop') om de ecologische eigenschappen te verbeteren en kunnen tenslotte in afwijkende kleuren worden uitgevoerd. Figuur 13-3 bevat afbeeldingen van zes voorbeelden van zuilenzettingen.



Figuur 13-3: Zes typen zuilenzetting

Overige vrijheidsgraden bij het kiezen van een toplaagtype

Behalve de vorm en het materiaal zijn er nog enkele vrijheidsgraden bij het kiezen van een toplaagtype:

1. Bij betonzuilen en betonblokken kan worden gekozen voor het toepassen van een ecotop (Figuur 13-4). Dit is een ruw laagje op de bovenkant van de

elementen ter bevordering van flora en fauna. Ecotops worden niet meegeteld in de rekenwaarde van de toplaagdikte.



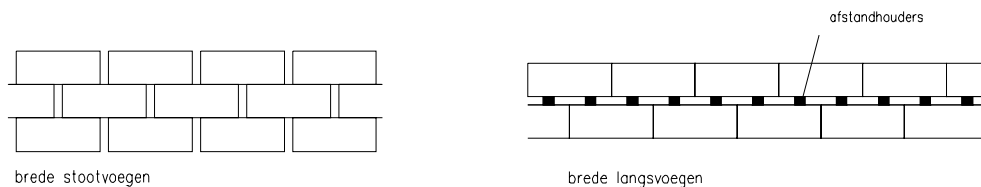
Figuur 13-4: Betonzuilen met ecotop

2. In geval van hergebruik van betonblokken en granietblokken is het mogelijk de beschikbare elementen gekanteld toe te passen (Figuur 13-5). Hierdoor neemt de sterkte toe en het bekleedbare oppervlak af. De wijze van plaatsing heeft geen gevolgen voor de te hanteren rekenregels.



Figuur 13.5: Gekantelde betonblokken

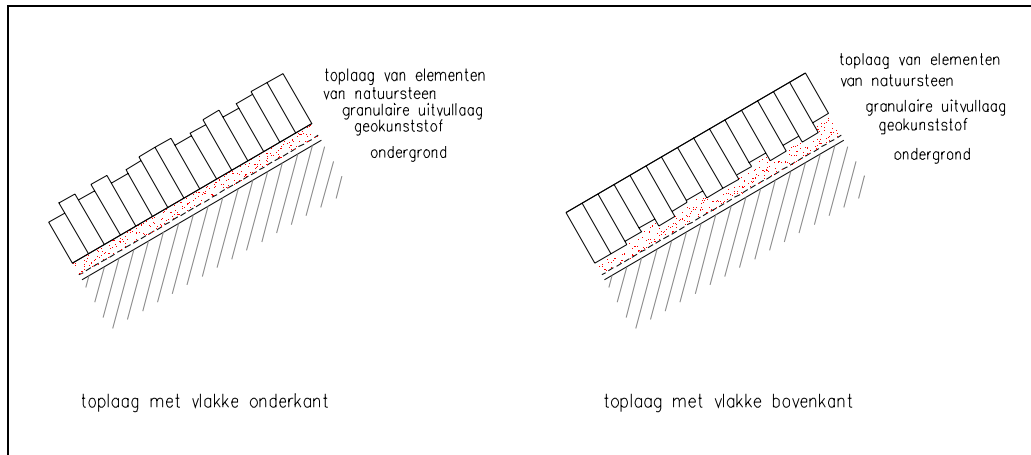
3. Omdat een kleine open ruimte ongunstig is voor de stabiliteit van de toplaagelementen, zijn bij betonblokken maatregelen mogelijk ter vergroting van de open ruimte: toepassing van afstandhouders of het plaatsen van de blokken met een stootvoeg (zie Figuur 13-6).



Figuur 13-6: Twee maatregelen ter vergroting van de open ruimte (bovenaanzicht)

4. Voor toplaagtypen met een natuurlijke variatie in de elementhoogte (met name basaltzuilen en gekantelde granietblokken) bestaan twee manieren van plaatsing op de granulaire laag: met vlakke onderkant of met vlakke bovenkant (dus ongelijke dikte van de granulaire laag), zie Figuur 13-7.

De afbeelding in Figuur 13-8 bevat een voorbeeld van het eerste type. Beheerstechnisch heeft een vlakke bovenkant vaak de voorkeur (zichtbaarheid van verzakkingen en betreedbaarheid); een nadeel is dat vanwege de ongelijke granulaire laag moet worden gerekend met een grotere, dus minder gunstige laagdikte. Bij plaatsing met vlakke onderkant kan dit deel ontwerp alleen worden toegepast als de variatie in de elementhoogte niet te groot is (zie §4.5.6).



Figuur 13-7: Twee manieren van plaatsing op de granulaire laag



Figuur 13-8: Onregelmatige granietblokken op een gelijkmatige granulaire laag

13.4 Principe-varianten voor een steenzetting van standardelementen
 Voor een steenzetting van standardelementen bestaan 15 varianten, zie Tabel 13-4

13.4.1 *Toplaag van aanverwante bekledingstypen*
 Soms heeft een steenzetting van standardelementen niet de voorkeur. In deze paragraaf worden vijf alternatieven behandeld (zie Figuur 13-9): blokkenmatten (onderling verbonden), doorgroeistenen (elementen met gaten), ingegoten steenzettingen, breuksteenoverlagingen en steenzettingen met ruwheidselementen.

Blokkenmatten

Blokkenmatten bestaan uit betonblokken die onderling verbonden zijn door kabels of een geokunststof. Een steenzetting met onderling verbonden elementen wordt een

geschakelde steenzetting genoemd. De onderlinge verbinding biedt circa 10% extra stabiliteit. In de praktijk blijkt echter dat de hoekelementen onder golfbelasting kunnen bewegen en daardoor voor schade zorgen. Het aan elkaar koppelen van aansluitende matten vermindert dit probleem. Bij uitvoering en beheer moet hiermee rekening worden gehouden. Een belangrijk voordeel kan zijn dat blokkenmatten onder water kunnen worden aangebracht.

Tabel 13-4: Steenzettingen van standaardelementen

	Nieuw	Hergebruik	Ecotop
Betonzuilen			
Basalton	x		X
Hydroblocks	x		X
Polygoonzuilen	x		X
C-Star	x		X
Hillblock	x		
Hergebruik van zuilen*		x	zelden
Betonblokken			
Normaal geplaatst	zelden	x	komt nog niet voor
Normaal + extra open ruimte	zelden	x	komt nog niet voor
Gekanteld	zelden	x	komt nog niet voor
Gekanteld + extra open ruimte	zelden	x	komt nog niet voor
Basaltzuilen			
Geplaatst met vlakke bovenkant	zelden	x	
Geplaatst met vlakke onderkant	zelden	x	
Granietblokken			
Normaal geplaatst, vlakke bovenkant	zelden	x	
Normaal geplaatst, vlakke onderkant	zelden	x	
Gekanteld, vlakke bovenkant	zelden	x	
Gekanteld, vlakke onderkant	zelden	x	
Koperslakblokken	zelden	x	

Doorgroeistenen

Doorgroeistenen (ook wel grasbetonstenen genoemd) zijn betonblokken met gaten die begroeiing mogelijk maken. De elementen hebben een open oppervlak van 20 tot 30% en worden meestal rechtstreeks op een ondergrond van klei geplaatst. De open ruimte in de blokken wordt gevuld met grond en vervolgens ingezaaid. Het resultaat is een harde bekleding die er op enige afstand uitziet als gras. Op dijken worden ze toegepast op de overgang van de harde bekleding (van weg of taludbekleding) naar de grasbekleding. Doorgroeistenen voorkomen onder meer schade door verkeer en het ontstaan van zogenaamde schapenpaadjes. Doorgroeistenen hebben dezelfde sterkte als een grasbekleding.

Ingegoten steenzettingen

Een ingegoten steenzetting kan soms worden overwogen om hergebruik van te lichte toplaagelementen mogelijk te maken. Vooral als het een smalle strook betreft. Penetratie dient ter voorkoming van uitspoeling en om de samenhang tussen de toplaagelementen te vergroten. Vaak wordt penetratie toegepast om een te lichte steenzetting te kunnen handhaven op dezelfde plaats, maar daarbij moet de steenzetting niet worden ingegoten zonder herzetten, omdat voegvulling en ander materiaal tussen de toplaagelementen verhinderen dat de penetratie goed kan doordringen. Het is daarom in principe altijd nodig om de elementen te herzetten (zonder voegvulling) en vervolgens te penetreren. In zo'n geval kan ook worden overwogen om de granulaire laag te verwijderen: dat is gunstiger voor de stabiliteit,

maar kan problemen opleveren met de overgang naar aansluitende bekledingen. Overigens is penetratie vaak ook een onderdeel van overgangsconstructies.

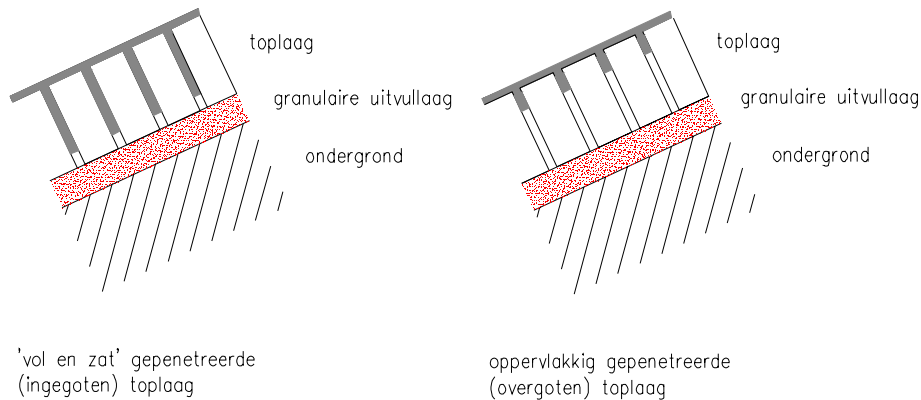


Figuur 13-9: Voorbeelden van aanverwante bekledingstypen

Penetratie is mogelijk bij alle genoemde toplaagtypen, behalve bij tegen elkaar geplaatste betonblokken en koperslakblokken vanwege de te kleine spleten. Het penetratiemateriaal is meestal mastiek, maar ook penetratie met beton is mogelijk. Gietasfalt (mastiek met grind) is meestal te grof voor de penetratie van steenzettingen.

Voor de constructieve eigenschappen is het van belang dat de toplaag niet slechts overgoten wordt, maar dat de penetratie “vol en zat” is: de spleten moeten van boven af tot meer dan de helft van de toplaagdikte zijn gevuld met asfalt of beton (zie Figuur 13-10). Alleen in dat geval kan worden aangenomen dat de toplaagelementen zodanig met elkaar verbonden zijn dat het geheel fungeert als een plaatbekleding. Bij overgoten steenzettingen is de interactie tussen de toplaagelementen door de penetratie wel verbeterd, maar tijdens zware golfaanval kan het penetratiemateriaal

na enkele uren plaatselijk losraken, waarna plotseling bezwijken kan optreden. Het is dus niet zinnig om een ontwerp te maken voor een oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) toplaag, zoals in de rechterhelft van figuur 13-10: bij zo'n constructie moet rekening worden gehouden met de faalmechanismen van een ingegoten steenzetting, maar ook met die van een ongunstige standaardsteenzetting.

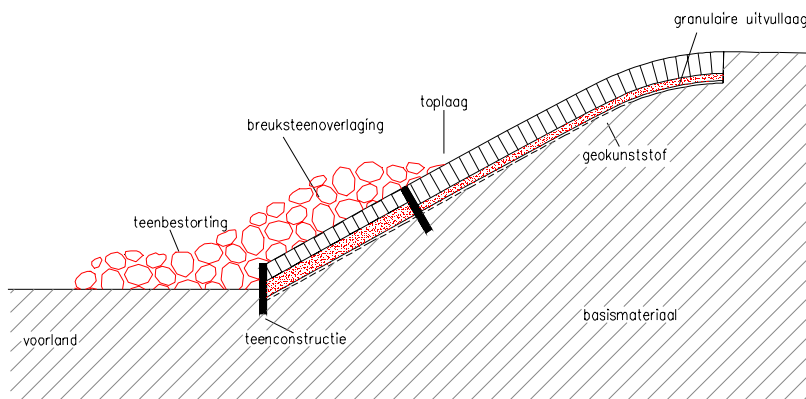


Figuur 13-10: Definities gepenetreerde toplaag

Breksteenoverlaging

Als een steenzetting na toetsing als 'onvoldoende' wordt beoordeeld, dan wordt in de regel een nieuwe bekleding ontworpen. Soms kan echter worden overwogen om de bekleding niet te vervangen, maar te versterken. In dat geval komt het overlagen met breksteen in aanmerking.

Overlagen met breksteen is een maatregel waarbij op een bestaande steenzetting een pakket breksteen wordt aangebracht, in het algemeen steunend op de teenbestorting. Het breksteenpakket fungeert als voorbelasting op de toplaag, en voorkomt daardoor dat de toplaagelementen uit de toplaag worden gedrukt. Overlagen is vooral een goede keuze als de onderste strook van een steenzetting moet worden verbeterd, terwijl de steenzettingen erboven nog 'goed' zijn. Bij vervanging van de de ondergelegen 'onvoldoende' steenzetting zou de bovengelegen 'goede' steenzetting er namelijk ook uit moeten, omdat die tijdens de uitvoering niet meer wordt ondersteund.



Figuur 13-11: Overlaging met losse breksteen

Bij het overlagen met breuksteen zijn drie varianten mogelijk:

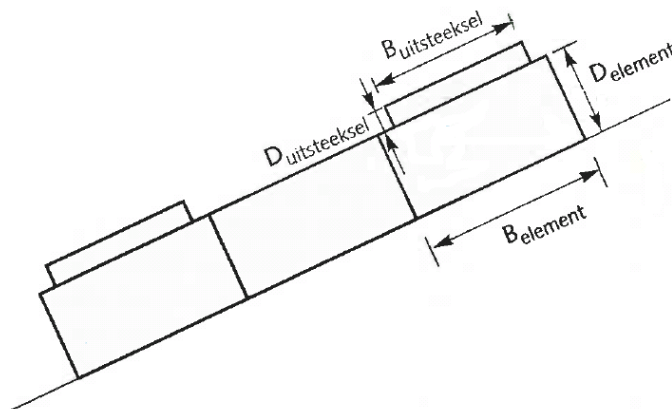
- Losse breuksteen (zie Figuur 13-11);
- Patroon-gepenetreeerde breuksteen (ook wel gedeeltelijk gepenetreeerde breuksteen genoemd);
- “Vol en zat” gepenetreeerde breuksteen.

De dimensionering van breuksteenoverlagingen wordt niet verder behandeld; verwezen wordt naar Deel 4: Breuksteenbekledingen van deze Handreiking [33].

De dimensionering van patroon-gepenetreeerde en “vol en zat” gepenetreeerde overlagingen wordt niet verder behandeld; verwezen wordt naar §4.3.4 van Deel 3: Asfaltbekledingen van deze Handreiking.

Steenzettingen met ruwheidselementen

Bij het ontwerp van dijken is het golfoverslagdebiet een belangrijke parameter: normaal gesproken wordt de kruin van de dijk zo hoog gemaakt dat het overslagdebiet acceptabel is. De golfoverslag wordt echter ook beïnvloed door de ruwheid van het buitentalud. In bijzondere gevallen kan worden overwogen om een toplaag met ruwheidselementen (zie Figuur 4-1) toe te passen, bijvoorbeeld als daardoor geen kruinophoging nodig is. In deze Handreiking wordt niet ingegaan op de berekening van de golfloop (zie het Technisch Rapport Golfloop en Overslag bij Dijken [9] of EurOtop [35]), maar wel op de stabiliteit van de steenzetting met ruwheidselementen zelf.



Figuur 13-12: Definitie breedte en dikte bij ruwheidselementen

Steenzettingen met ruwheidselementen hebben meestal een toplaag van rechthoekige, plat geplaatste blokken. Als de bedekkingsgraad niet te groot is en als de ruwheidselementen niet te ver uitsteken, gelden voor de stabiliteit van de steenzetting in principe dezelfde regels als voor standaardsteenzettingen. Buiten die grenzen gelden andere regels. De krachten van het water op de uitsteeksels zorgen voor een bijzondere belastingssituatie die niet in deze Handreiking Steenzettingen wordt behandeld: het kantelen en wrikken van de elementen.

13.4.2 Inwasmateriaal

Tussen de toplaagelementen wordt, indien mogelijk, voegvulling aangebracht om wrijving en/of klemming tussen de toplaagelementen te bevorderen. Een neveneffect van voegvulling is dat de waterdoorlatendheid van de toplaag afneemt. Dit is ongunstig voor de stabiliteit van de toplaagelementen. In het algemeen wordt aangenomen dat het positieve effect groter is dan het negatieve effect.

In de huidige ontwerppraktijk wordt granulair inwasmateriaal toegepast. Het is van belang dat het materiaal niet te gemakkelijk uitspoelt. Als inwasmateriaal komt daarom vooral hoekig materiaal zoals steenslag of gebroken grind in aanmerking. Eventueel kunnen slakken (restmateriaal) worden toegepast, onder twee voorwaarden: de slakken bestaan niet uit hydraulisch materiaal dat de toplaag waterdicht kan maken door samenkiten en het materiaal is milieutechnisch acceptabel.

De sortering van het inwasmateriaal moet aan de volgende eisen voldoen:

- De sortering moet breed zijn omdat de afmetingen van de open ruimte variëren;
- De fijne fractie moet niet te fijn zijn om de toplaagdoorlatendheid niet in gevaar te brengen;
- De grove fractie moet net tussen de toplaagelementen passen;
- Uit ervaring blijkt dat het gebruik van een sortering van 4/32 mm bij Basalton en Hydroblocks over het algemeen leidt tot een goede inwassing. Voor de andere systemen is een fijnere inwassing nodig.

De benodigde sortering is dus afhankelijk van vorm en grootte van de open ruimte tussen de toplaagelementen. Bij een hoge dagelijkse golfbelasting zal bij relatief dunne zuilen (0,20 – 0,25 meter) het inwasmateriaal makkelijk kunnen uitspoelen. Aanbevolen wordt om in deze situaties een grotere zuilhoogte te gebruiken.

Stopwerk

In het verleden werd als voegvulling vaak stopwerk aangebracht: brokken en scherven van toplaagelementen die in de spleten zijn vastgezet. Stopwerk als voegvulling wordt niet aanbevolen: het is constructief niet gunstiger dan inwassen en is zeer arbeidsintensief. Verder moeten bij de uitvoering voorzieningen worden getroffen om uitzakken van het stopwerk te voorkomen; dat maakt stopwerk nog arbeidsintensiever.

13.4.3 *Granulaire laag*

De granulaire laag kan verschillende functies hebben:

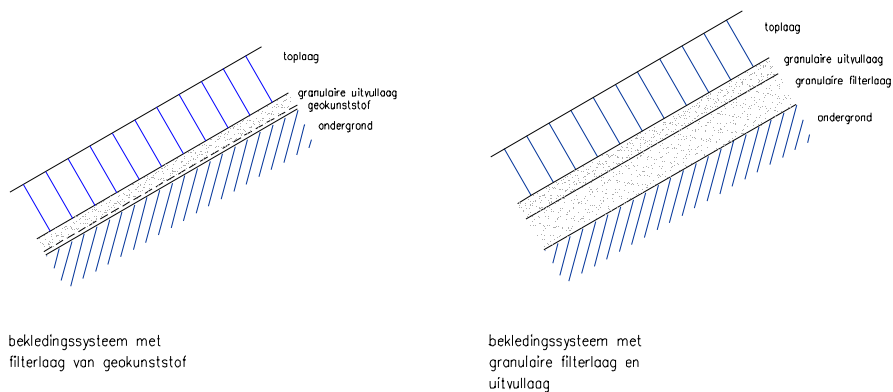
- Een uitvulfunctie: de elementen van de toplaag worden machinaal of met de hand op het talud gezet. Vooral bij onregelmatige elementen is een granulaire laag nodig om de toplaagelementen met een vlakke bovenkant te kunnen zetten. Een granulaire laag met deze functie wordt uitvullaag genoemd. In de praktijk wordt een granulaire uitvullaag toegepast bij alle typen steenzettingen, behalve in sommige gevallen bij rechthoekige betonblokken;
- Een filterfunctie: in nieuwe constructies kan een granulaire filterlaag worden toegepast in bekledingen waarvan het basismateriaal niet uit klei bestaat (zie Figuur 13-13);
- Overige functies: de granulaire laag heeft een functie in het voorkomen van afschuiving, het spreiden van de lokale belastingen en het voorkomen van drukopbouw bij een zandkern.

De granulaire laag onder de toplaag fungeert dus altijd als uitvullaag en in sommige gevallen ook als filterlaag. In het dagelijks spraakgebruik wordt de granulaire laag vaak filterlaag genoemd, ook als het eigenlijk een uitvullaag betreft. In deze Handreiking wordt de term granulaire laag gebruikt.

In de praktijk wordt voor de granulaire laag meestal steenslag gebruikt. Soms is hergebruik mogelijk in de vorm van gebroken toplaagelementen of van granulair materiaal uit de bestaande constructie. Daarvoor moet wel worden nagegaan of het

materiaal voldoet aan de constructieve eisen en of het niet gunstiger is om de elementen elders in hun geheel te hergebruiken.

Om de opwaartse druk op de toplaag door golven te beperken moet de doorlatendheid van de granulaire laag zo klein mogelijk zijn. Dit wordt bereikt door een fijne sortering met een lage porositeit. Anderzijds geldt de eis dat uitspoeling van het granulaire materiaal door de toplaag heen moet worden voorkomen. Daarvoor moet het materiaal een bepaalde minimale korrelgrootte hebben in relatie tot de openheid van de toplaag.



Figuur 13-13: Twee typen filters

13.4.4

Geokunststof

Een geokunststof op de ondergrond (zie Figuur 13-13 en 14) heeft in het algemeen een filterfunctie (voorkomen van uitspoeling van de ondergrond) en vaak ook een uitvoeringstechnische functie (bescherming van de ondergrond, voorkomen dat steentjes de klei in worden gereden). Met het oog op de filterfunctie moet het geokunststof grond dicht en waterdoorlatend zijn. Hiervoor komen met name vliezen (non-woven) en weefsels (woven) in aanmerking. De derde verschijningsvorm, folies, zijn waterdicht en komen daarom alleen in bijzondere gevallen in aanmerking. De afweging tussen de drie typen geokunststof wordt beschreven in §4.3.3 van dit document.



Figuur 13-14: Geokunststof op de rol tijdens aanbrengen

De belangrijkste ontwerpparameter van het geokunststof is de openingsgrootte O_{90} , en daarnaast moeten sterkte-eisen worden gesteld ten behoeve van de uitvoering.

13.4.5 *Granulaire aanvulling*

Soms moet het dijklichaam worden aangevuld voordat de bekleding kan worden aangebracht (grondverbetering, afvlakken van de taludhelling). Soms kan dit met klei (basismateriaal), maar dat is vaak duur en dicht bij de waterlijn bovendien onpraktisch omdat verdichten niet goed mogelijk is. In zo'n geval kan een granulaire aanvulling worden aangebracht van breed gegradeerd materiaal dat een fijne fractie bezit. De fijne fractie of nulfractie is belangrijk: bij een brede sortering met een fijne fractie (nulfractie) hoort een lage waterdoorlatendheid. Dit is gunstig met het oog op het faalmechisme topaaginstabiliteit (zie hoofdstuk 14). Als de granulaire aanvulling een lage waterdoorlatendheid heeft, kan ze in het ontwerpproces op dezelfde manier worden behandeld als het basismateriaal. Verder is voor het ontwerp van belang dat het materiaal intern stabiel is. In de praktijk is ook van belang dat het materiaal voldoet aan de eisen ten aanzien van milieu (vervuiling oppervlaktewater).

Verschillende breed-gegradeerde granulaire materialen komen in aanmerking: mijnsteen (een bijproduct van kolenwinning), silex (een restproduct van de cementindustrie), fosforslakken of betonpuin. Materiaal met een nulfractie wordt ook wel 'ongesorteerd' genoemd.

13.4.6 *Basismateriaal*

Het basismateriaal van een steenzetting is de bovenste laag die behoort tot het grondlichaam van de dijk, dam of oever. Als de kern van dijk, dam of oever uit klei bestaat, is dat doorgaans ook het basismateriaal. In geval van een zandkern bestaan verschillende mogelijkheden: soms fungeert het zand als basismateriaal, maar in de praktijk wordt het zand vaak afgedekt door een laag klei of keileem. Deze afdekkende laag is weinig doorlatend en beperkt kwel. Klei en keileem zijn bovendien cohesieve materialen; de afdekkende klei- of keileemlaag verkleint de kans op afschuiving én kan zorgen voor enige reststerkte als de toplaag zou bezwijken.

14 Faalmechanismen steenzetting

14.1 Inleiding

Faalmechanismen van steenzettingen zijn fysische verschijnselen die kunnen leiden tot een situatie waarin een steenzetting geen bescherming meer biedt tegen erosie van het dijklichaam. In dit hoofdstuk wordt eerst besproken dat falen van een steenzetting niet hetzelfde is als falen van de waterkering (paragraaf 14.2). Vervolgens worden de faalmechanismen besproken, met name de drie soorten faalmechanismen van steenzettingen van standaardelementen:

- Toplaaginstabiliteit (paragraaf 14.3);
- Afschuiving (paragraaf 14.4);
- Materiaaltransport (paragraaf 14.5);

Daarna worden kort de faalmechanismen van aanverwante bekledingstypen behandeld, zoals overlaging, doorgroeistenen en blokkenmatten (paragraaf 14.6) en aansluitend de niet-hydraulische faalmechanismen (paragraaf 14.7). Ten slotte wordt in paragraaf 14.8 falen door en falen van een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructies besproken.

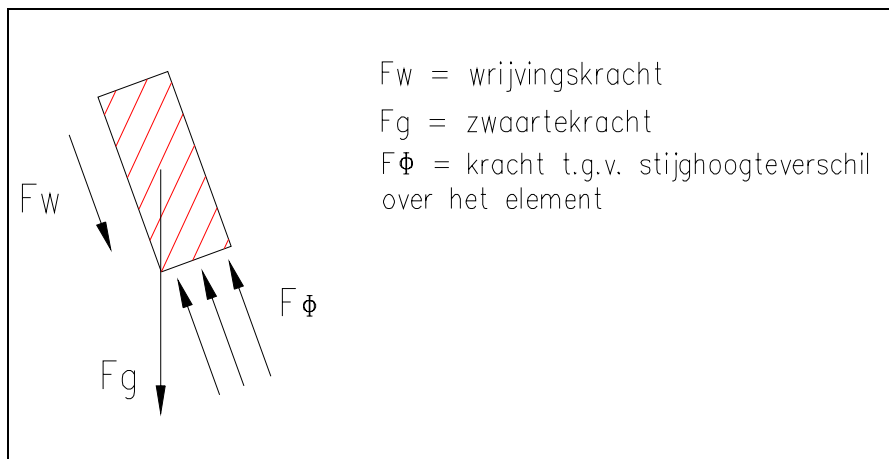
14.2 Falen bekleding versus falen waterkering

De faalmechanismen van steenzettingen hebben een relatie met de faalmechanismen van de gehele waterkering of oever. Het falen van een waterkering leidt per definitie tot een overstroming. Eén van de faalmechanismen van een dijk of dam is 'erosie buitentalud'. Bij een beklede dijk of dam zijn hiervoor twee gebeurtenissen nodig: het falen van de bekleding én het eroderen van het dijklichaam. Dus falen van de steenzetting zal in de praktijk niet meteen tot falen van de waterkering (overstroming) leiden. Zowel bij ontwerp als bij toetsing is de onzekerheid in de reststerkte van het dijklichaam normaliter dusdanig groot dat daar geen rekening mee wordt gehouden. In het ontwerp wordt dus geen rekening gehouden met de reststerkte: de steenzetting wordt zo sterk ontworpen dat ze niet bezwijkt onder de maatgevende omstandigheden.

14.3 Bezwijken toplaag door toplaaginstabiliteit

De toplaagelementen moeten in verband blijven om te voorkomen dat er erosie van het buitentalud optreedt. Als dit verband wordt verbroken, is er sprake van bezwijken. Dat betekent niet dat daarmee meteen alle toplaagelementen verdwenen. En onder de toplaag zijn vaak nog een filterlaag en een onderlaag van klei aanwezig die enige weerstand bieden aan de golfaanval. Oftewel na het bezwijken van de toplaag heeft de bekleding nog enige reststerkte, de bekleding faalt nog niet meteen.

Het bezwijken van de toplaag verloopt als volgt. Door hydraulische belasting ontstaat onder de toplaagelementen een opwaartse waterdruk. Als deze opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse waterdruk is er sprake van een opwaartse kracht op het toplaagelement. In bepaalde omstandigheden is deze opwaartse kracht groter dan het elementgewicht plus de onderlinge wrijving en/of klemming; in die omstandigheden worden de elementen uit de bekleding geduwd (zie figuur 14-1). Dit kan zich voordoen bij individuele elementen, maar meestal betreft het een veld van elementen met een oppervlakte tot enkele vierkante meters. Dit bezwijkmechanisme heet voluit stabiliteitsverlies van toplaagelementen, maar wordt meestal toplaaginstabiliteit genoemd.



Figuur 14-1: Krachten op een toplaagelement die van belang zijn voor toplaaginstabiliteit

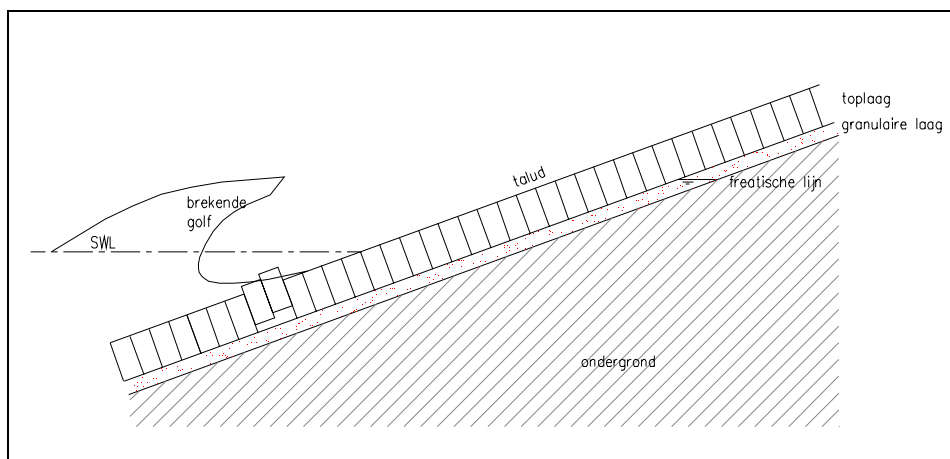
Het mechanisme toplaaginstabiliteit kan worden onderverdeeld in vier deelmechanismen:

- Belasting door golven, situatie bij maximale golfterugtrekking maatgevend (§14.3.1);
- Belasting door golven, situatie bij golfklap maatgevend (§14.3.2);
- Belasting door langsstroming (§14.3.3);
- Belasting door golfploop (§14.3.4);

Apart wordt aandacht besteed aan toplaaginstabiliteit bij een steenzettingen op een berm (§14.3.5).

14.3.1 *Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking*

Toplaaginstabiliteit kan worden veroorzaakt door de opwaartse waterdruk op het moment van maximale golfterugtrekking. Het bezwijkmechanisme is weergegeven in figuur 14-2.



Figuur 14-2: Mechanisme toplaaginstabiliteit bij golfterugtrekking

Op het moment van maximale golfterugtrekking is een deel van het talud drooggevallen, terwijl onder de toplaag nog water aanwezig is. Dit veroorzaakt een opwaartse verschildruk op de toplaagelementen, die maximaal is rond het punt tot waar de waterlijn zich heeft teruggetrokken. In werkelijkheid speelt zich in deze zone een complex dynamisch proces af. Er ontstaat een stroming door de granulaire laag in

de richting van de toplaagelementen vlak boven de waterlijn. Deze stroming komt zowel van hoger op het talud (want de freatische lijn in de granulaire laag is nog hoog) als van lager op het talud (want onder de golf is de druk alweer opgebouwd). Dit stromingspatroon houdt per golf ongeveer een halve seconde aan en kan zorgen voor zodanige druk op de toplaagelementen dat deze worden uitgelicht. Hierbij zijn tevens de volgende invloeden van belang: de onderlinge wrijving van de toplaagelementen, de toestroming van water onder het toplaagelement, de massa-traagheid van het toplaagelement en de invloed van overgangsconstructies.

Bij bepaalde typen steenzettingen is niet het moment van maximale golfsterkte maatgevend, maar de situatie op het moment van de golfklap; dit mechanisme wordt apart besproken in §14.3.3.

Parameters

De stabiliteit van de toplaag wordt bepaald door de parameters die de opwaartse waterdruk en de neerwaartse krachten (gewicht en wrijving en/of klemming) bepalen. Overigens: met opwaarts en neerwaarts worden de richtingen loodrecht op het talud bedoeld.

In Figuur 14-3 is voor alle relevante parameters weergegeven wat de invloed is op de stabiliteit. Bijvoorbeeld: voor de significante golfhoogte H_s is een grote waarde ongunstig (dus de balk is dik aan de linkerkant) en is een kleine waarde gunstig (dus de balk is dun aan de rechterkant).



Figuur 14-3: Parameters toplaaginstabiliteit

1. Golfhoogte H_s : de significante golfhoogte heeft invloed op het drukverschil boven en onder de toplaag. Bij hogere golven is de maximale freatische lijn hoger en trekken de golven zich verder terug. Dat levert bij maximale golfsterkte een groter stijghoogteverschil over de toplaag op.
2. Golfperiode T_p : de piekperiode heeft ook invloed op het drukverschil omdat de golf zich bij een grotere golfperiode verder terugtrekt. Dit geldt overigens slechts tot een bepaald maximum.
3. Waterdoorlatendheid van de toplaag k : de doorlatendheid bepaalt hoe makkelijk het water onder de toplaag kan ontsnappen. Hoe groter de doorlatendheid, hoe gunstiger. In feite gaat het om de leklengte Λ : de verhouding tussen het gemak waarmee het water door de granulaire laag en

door de toplaag stroomt, dat wordt bepaald door de waterdoorlatendheid en de dikte van de toplaag en de granulaire laag.

4. Waterdoorlatendheid van de tweede laag k (meestal de granulaire laag, soms geokunststof of onderlaag): een grotere doorlatendheid leidt tot een grotere druk onder de toplaag en daardoor tot een groter drukverschil met de bovenkant van de toplaag. Hoe kleiner deze doorlatendheid, hoe gunstiger.
5. Dikte van de tweede laag b : een grotere dikte vergemakkelijkt de waterbeweging en daarmee de drukopbouw en is dus ongunstig.
6. Gewicht van de toplaag ΔD : het gewicht, dat wordt bepaald door toplaagdikte en dichtheid van de toplaagelementen, zorgt voor neerwaartse druk. Hoewel een grotere toplaagdikte ongunstig is voor het ontsnappen van water onder de toplaag (zie punt 3) is de positieve bijdrage van het gewicht per saldo groter.
7. Klemming: de klemming tussen de toplaagelementen levert neerwaartse kracht zodra er opwaartse waterdruk ontstaat door maximale golfsterugtrekking.
8. Taludhelling $\cot \alpha$: hoewel een steilere taludhelling leidt tot betere klemming van de toplaagelementen en dus een positieve bijdrage levert aan de toplaagstabiliteit, leidt het ook tot een kleinere gewichtsc component van de zwaartekracht en tot een hogere belasting door golfaanval. Per saldo is een steile taludhelling ongunstig.

N.B.

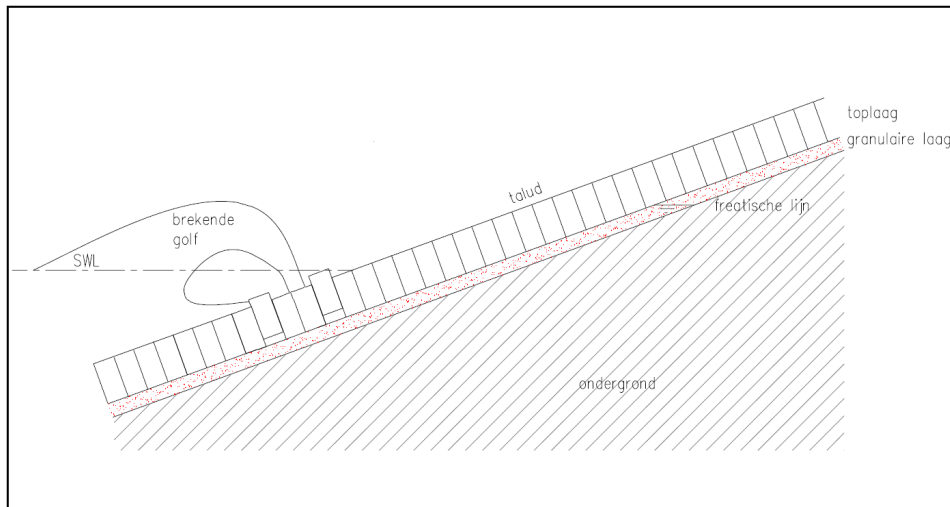
Hierna wordt dit bezwijkmechanisme aangeduid als toplaaginstabiliteit bij maximale golfsterugtrekking. Als in de tekst sprake is van toplaaginstabiliteit (zonder nadere specificering), dan betreft het beide mechanismen (§14.3.1 en §14.3.2). Ook de rekenregels voor toplaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

14.3.2 *Toplaaginstabiliteit door golfklap*

Steenzettingen onder golfaanval worden door opwaartse druk belast op het moment van maximale golfsterugloop (zie §14.3.1), maar ook op het moment van de golfklap.

De situatie bij maximale golfsterugloop is het belangrijkste bezwijkmechanisme bij rechthoekige betonblokken met smalle spleten, maar uit modelproeven is geconcludeerd dat de situatie op het moment van de golfklap maatgevend is voor de moderne steenzettingen met grote toplaagdoorlatendheid. Concreet komt dit voor bij open bekledingen van zuilen en bij bekledingen van rechthoekige blokken waar afstandhouders tussen zijn aangebracht. Het mechanisme is weergegeven in Figuur 14-4.

Op het moment van de golfklap is de waterdruk onder de toplaag aan het afnemen, maar nog wel aanwezig. De golfklap veroorzaakt een lokale drukpiek aan de bovenkant van de toplaag, die vervolgens doordringt tot onder de toplaagelementen. Bij een doorlatende toplaag en een weinig doorlatende granulaire laag kan de golfklap zorgen voor een piekwaarde van de opwaartse kracht die hoger ligt dan de waarde op het moment van maximale golfsterugtrekking. Net als op het moment van maximale golfsterugtrekking zijn ook bij de golfklap een aantal bijkomende invloeden van belang: de onderlinge wrijving van de toplaagelementen, de verhinderde toestroming van water onder het omhoog komende toplaagelement, de massatraagheid van het toplaagelement en de invloed van overgangsconstructies. Vanwege de korte duur van de belastingsituatie hebben vooral een beperkte toestroming en een grote massatraagheid een gunstige invloed op de stabiliteit.



Figuur 14-4: Mechanisme topaaginstabiliteit door golfklap

Parameters

De stabiliteit van de toplaag wordt bepaald door de parameters die de opwaartse waterdruk en de neerwaartse krachten (gewicht en wrijving en/of klemming) bepalen. Voor de opwaartse waterdruk en voor de neerwaartse krachten gelden dezelfde parameters als in §14.3.1.

N.B.

Hierna wordt dit bezwijkmechanisme aangeduid als topaaginstabiliteit door golfklap. Als in de tekst sprake is van topaaginstabiliteit (zonder nadere specificering), dan betreft het beide mechanismen (§14.3.1 en §14.3.2). Ook de rekenregels voor topaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

14.3.3 Topaaginstabiliteit door langsstroming

In de meeste gevallen is de golfaanval maatgevend voor de stabiliteit van de toplaagelementen, maar in bijzondere omstandigheden kan ook aanval door stroming leiden tot stabiliteitsverlies van toplaagelementen. Het gaat om omstandigheden met een hoge stroomsnelheid (> 2 m/s langs de dijk) of sterke turbulentie. Ook bij stromingsaanval is het belangrijkste bezwijkmechanisme het ontstaan van opwaartse druk.

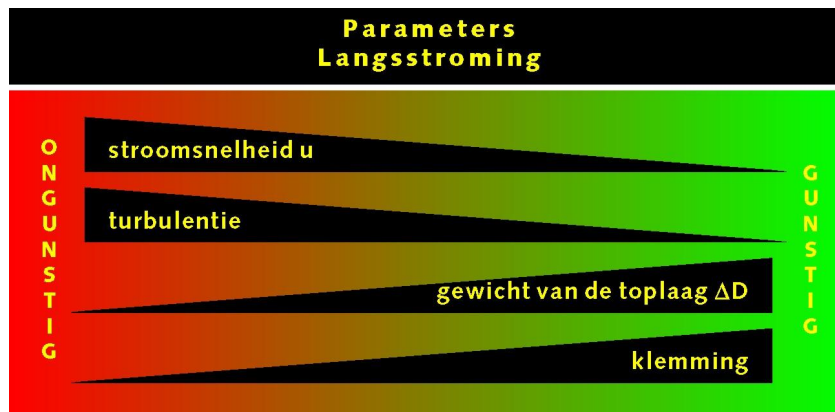
Parameters

In Figuur 14-5 staan de belangrijkste belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij topaaginstabiliteit onder langsstroming.

1. Stroomsnelheid u : een grote stroomsnelheid zorgt voor een grote belasting.
2. Turbulentie: grote fluctuaties in de stroomsnelheid zijn ongunstig.
3. Gewicht van de toplaag ΔD : het gewicht, bepaald door toplaagdikte en dichtheid van de toplaagelementen, zorgt voor neerwaartse druk.
4. Klemming: de klemming tussen de toplaagelementen levert neerwaartse kracht zodra een element omhoog wordt gedrukt.

N.B.

Hierna wordt dit bezwijkmechanisme aangeduid als topaaginstabiliteit door stroming.



Figuur 14-5: Parameters langsstroming

14.3.4 Toplaaginstabiliteit door golfoploop

Een steenzetting in de golfklapzone wordt ook belast door golfoploop, maar die belasting is nooit maatgevend. In de zone juist boven de maatgevende waterstand is de golfoploop wél de maatgevende belasting. Dit is van belang voor het buitentalud boven de maatgevende waterstand en voor de kruin en het binnentalud.

Voor steenzettingen op kruin en binnentalud bestaan aparte regels. Deze steenzettingen worden belast door het overslagdebiet van de golven in maatgevende omstandigheden. Voor steenzettingen op een kruin geldt, net als op een berm, dat de sterkte verschillend is doordat het talud flauwer is: enerzijds werkt de zwaartekracht gunstiger, anderzijds rusten de elementen minder op elkaar waardoor er minder wrijving/klemming is. Ook de belasting is verschillend. Het maatgevende mechanisme voor deze zone is niet het langdurige overslagdebiet, maar de extreme overslag van een enkele hoge golf. Vooral de zone rond de binnenkruinlijn, de knik tussen kruin en binnentalud, wordt zwaar belast.

Op dit deel van de dijk zijn oneffenheden in de steenzetting ook belangrijk. Het gaat daarbij om het hoogteverschil van het bovenvlak van naast elkaar gelegen stenen. Als dit hoogteverschil kleiner is dan 11% van de toplaagdikte, is er niets aan de hand. Zodra dit groter wordt, kan het een negatieve invloed hebben op de stabiliteit.

Parameters

De belasting wordt bepaald door de golfhoogte H_s en golfperiode T_p in relatie tot de afstand boven de maatgevende waterstand. Een grote golfhoogte en –periode is ongunstig, een grote afstand tot de maatgevende waterstand is gunstig. De sterkteparameters zijn hetzelfde als voor de andere vormen van toplaaginstabiliteit. Daarnaast is het hoogteverschil van naast elkaar gelegen stenen een belangrijke parameter.

14.3.5 Bezijden van steenzetting op een berm

Een steenzetting op een berm kan niet worden gezien als een steenzetting op een zeer flauw talud, want de aanwezigheid van een talud onder de berm en de knik daartussen zorgt voor een bijzondere situatie. Dit geldt overigens alleen als wordt voldaan aan de voorwaarden zoals behandeld in §4.8.4. In de granulaire laag onder het talud ontstaat onder golfaanval een op- en neergaande waterbeweging. Bij de knik naar de berm toe wordt deze stroming gedwongen om van richting te veranderen; dit kan leiden tot een grotere belasting op de toplaagelementen. Verder is de belasting afwijkend van die op een talud doordat op de bekleding vaak een dempende laag water aanwezig is. Ook de

sterkte van de steenzetting is op een berm anders dan op een talud: enerzijds werkt de zwaartekracht gunstiger, anderzijds rusten de elementen minder op elkaar zodat er minder wrijving/klemming is.

Parameters

De parameters zijn deels dezelfde als voor steenzettingen op een talud, maar in aanvulling daarop zijn enkele specifieke parameters van belang (zie Figuur 14-6).



Figuur 14-6: Parameters Steenzettingen op berm

1. Golfsteilheid H_s / L_{op} : voor de belasting is ook de golfsteilheid van belang: hoe steiler hoe ongunstiger.
2. Breedte van de berm B : een brede berm zorgt voor kleinere belastingen en is dus gunstig.
3. Taludhelling onder de berm $\cot \alpha$: de steilheid van het talud onder de berm beïnvloedt de belasting van de bekleding op de berm: hoe flauwer de helling van het benedenbeloop, hoe ongunstiger voor de bekleding op de berm.

Een andere belangrijke parameter is de verhouding tussen de diepte van de berm onder de stilwaterstand en de golfhoogte: d_B/H_s . De situatie is het ongunstigst als de berm tussen 1,0 en 2,0 maal de golfhoogte H_s onder de stilwaterstand ligt. Deze parameter staat niet in de figuur omdat er geen eenduidig verband is.

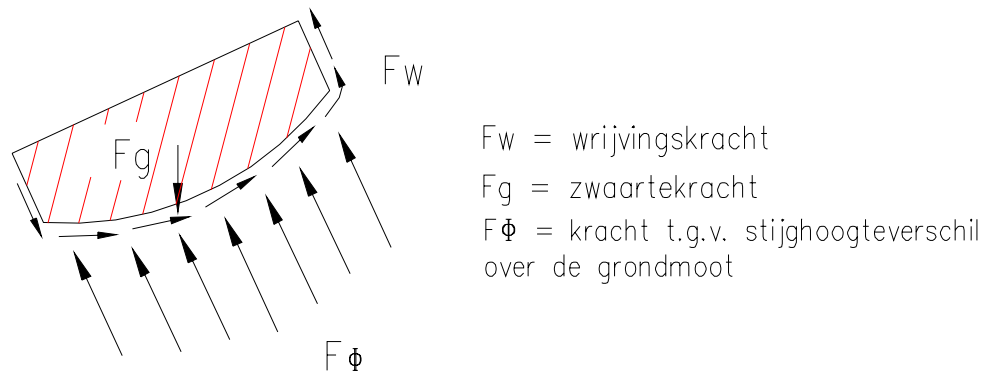
14.4 Bezwijken steenzetting door afschuiving

Bij het bezwijkmechanisme toplaaginstabiliteit gaat het om beweging van elementen loodrecht op het talud, maar daarnaast kan de bekleding falen door beweging langs het talud. De verschillende bezwijkmechanismen waarbij beweging langs het talud plaatsvindt, worden aangeduid met de term afschuiving. Het betreft bijna allemaal bezwijkmechanismen onder invloed van golfbelasting, maar in bijzondere gevallen kan ook statische wateroverdruk een rol spelen.

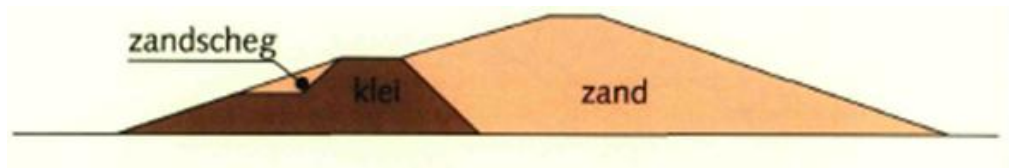
Op elke willekeurige moot bekleding en/of grond wordt enerzijds de aandrijvende component van de zwaartekracht en anderzijds de tegenwerkende wrijvingskracht langs het potentiële glijvlak uitgeoefend. Hydraulische belasting kan opwaartse druk veroorzaken: dit kan vlak onder de toplaag voorkomen (zie paragraaf 14.3), maar ook dieper in de constructie. Deze opwaartse druk heeft invloed op de grondmechanische stabiliteit omdat de wrijving langs de glijvlakken erdoor wordt verkleind. Als de aandrijvende component van de zwaartekracht groter wordt dan de wrijvingskracht langs het glijvlak, dan kan afschuiving optreden (zie Figuur 14-7).

In bijzondere gevallen kan statische wateroverdruk afschuiving veroorzaken. Dit is bijvoorbeeld het geval als zich onder de bekleding een zogenoemde zandscheg bevindt: een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en een oude

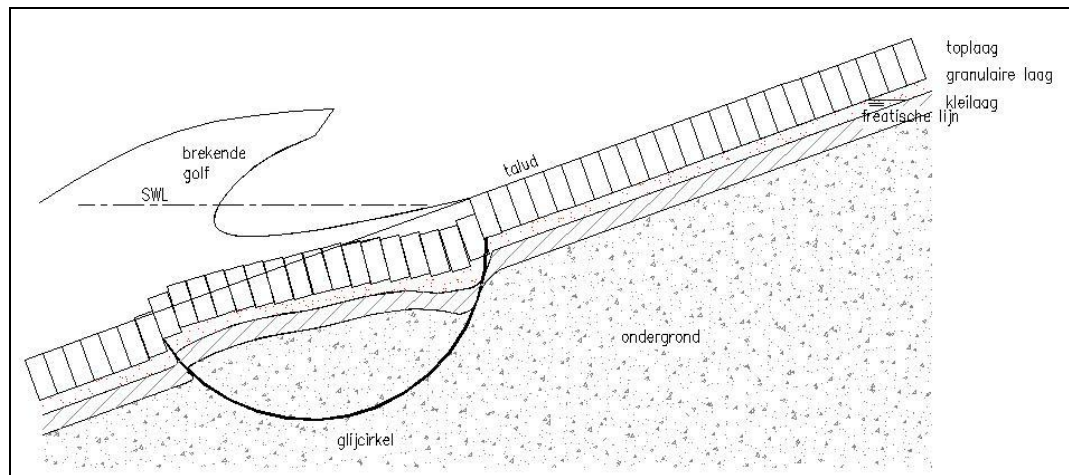
kleikern (zie Figuur 14-8). Hier kan wel water inkomen (bij hoogwater of door regen), maar het kan er niet meer uitstromen.



Figuur 14-7: Krachtenevenwicht afschuiving



Figuur 14-8: Voorbeeld zandscheg



Figuur 14-9: Diepe kleinschalige afschuiving

Er zijn meerdere vormen van afschuiving. Hierbij zijn twee aspecten van belang: de plaats van het glijvlak en de omvang van de afschuiving. Wat betreft de plaats van het glijvlak wordt onderscheid gemaakt tussen afschuiving van de toplaag (het glijvlak is de laagscheiding tussen toplaag en de laag eronder) en afschuiving van de hele bekleding over een glijvlak in de ondergrond van zand. Wat betreft de omvang wordt onderscheid gemaakt tussen lokale afschuiving, waarbij een deel van de toplaag uitknikt, en grootschaliger afschuiving, waarbij ook de teenconstructie bezwijkt. De

rekenregels zijn gebaseerd op lokale afschuiving over een glijvlak in de ondergrond van zand (zie Figuur 14-9). De regels zijn echter zo opgesteld dat ze ook de andere vormen van afschuiving bestrijken.

Parameters

In Figuur 14-10 staan de belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij het bezwijkmechanisme afschuiving als er geen kleilaag is.



Figuur 14-10: Parameters afschuiving

- 1) Golfhoogte H_s : een grotere golfhoogte is ongunstig voor zowel de belasting als de sterkte.
- 2) Golfsteilheid H_s / L_{0p} : een steilere golf, dus een grotere waarde van de golfsteilheid, zorgt voor een lagere belasting en is dus gunstig.
- 3) Dikte bekleding, samengesteld uit toplaagdikte D , dikte granulaire laag b_f en dikte kleilaag b_k . Samen met de dichtheid van de bekleding bepaalt de dikte het gewicht. Het gewicht is de belangrijkste sterkteparameter met betrekking tot afschuiving.
- 4) Dichtheid bekleding ρ_{1v} , zie punt 3.
- 5) Taludhelling $\cot \alpha$: een steile helling is ongunstig.
- 6) Korrelgrootte D_{15} van de zandondergrond: hoe groter de zandkorrels, hoe groter de weerstand tegen afschuiving.

14.5

Bezwijkten steenzetting door materiaaltransport

De bekleding beschermt het grondlichaam tegen erosie. Daarom moet de toplaag intact blijven. Het is echter ook noodzakelijk dat uitspoeling van materiaal uit de lagen daaronder wordt voorkomen. De verschillende mechanismen waarbij uitspoeling van materiaal plaatsvindt, worden aangeduid met de term materiaaltransport.

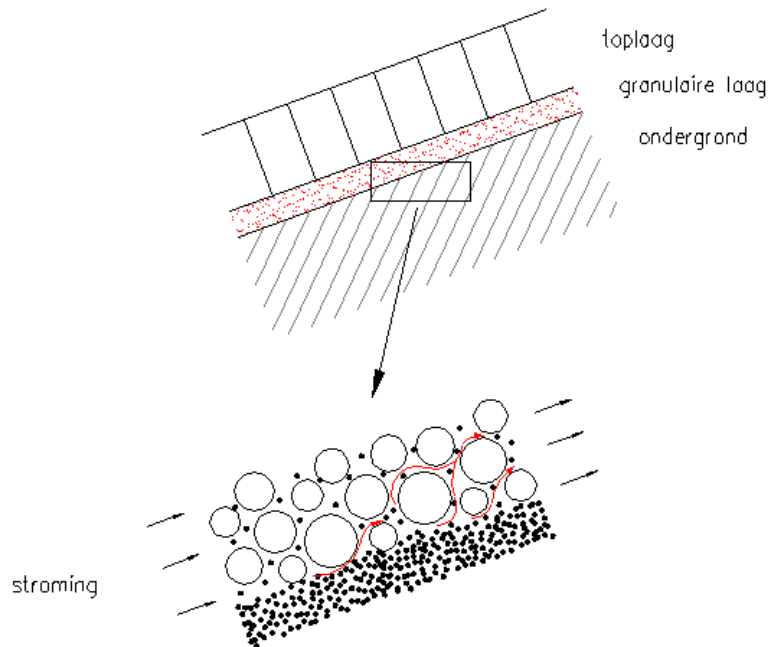
Voor dit mechanisme is ten eerste van belang of de laagovergangen geometrisch dicht of open zijn (dat wil zeggen of de deeltjes uit diepere lagen al dan niet groot genoeg zijn om door de openingen in de hogere lagen te kunnen). Vervolgens is van belang of de laagovergangen hydraulisch dicht of open zijn (dat wil zeggen of de hydraulische belasting zodanige opwaartse kracht op de gronddeeltjes kan veroorzaken dat het materiaal daadwerkelijk door de openingen in de hogere lagen uitspoelt).

In het algemeen geldt dat materiaaltransport door elke laagovergang moet worden voorkomen. Bij de meeste steenzettingen is vooral materiaaltransport door twee laagovergangen van belang: ten eerste van de ondergrond naar de granulaire laag en ten tweede van de granulaire laag door de toplaag naar buiten. Deze twee deelmechanismen worden besproken in aparte paragrafen.

14.5.1

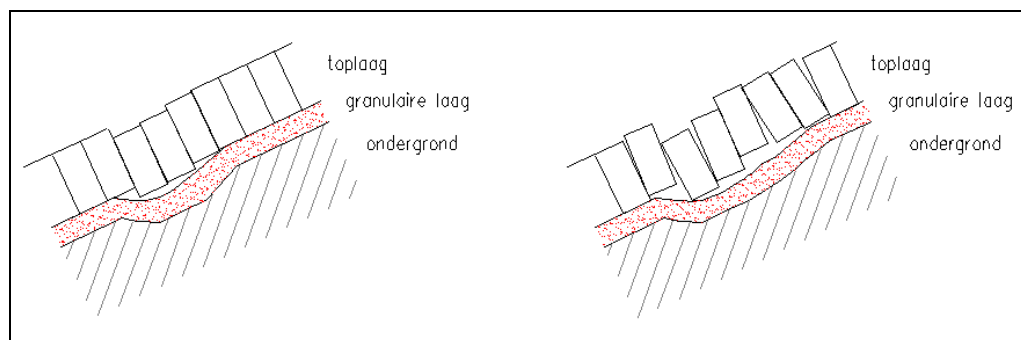
Materiaaltransport vanuit de ondergrond naar de granulaire laag

De golfbeweging veroorzaakt een stroming in de granulaire laag, evenwijdig aan het talud, zowel naar boven als naar beneden. Langs het grensvlak met de ondergrond kan deze stroming erosie van klei- of zanddeeltjes veroorzaken. Dit is weergegeven in Figuur 14-11.



Figuur 14-11: Uitspoeling van materiaal uit de onderlaag

Overigens zal dit proces meestal niet direct leiden tot falen van de bekleding, maar eerst verzwakking veroorzaken. Er kunnen holle ruimten ontstaan onder de bekleding. Hierdoor kan de bekleding haar verband kwijtraken en plaatselijk verzakken, waardoor de sterkte afneemt. Bovendien kan de opwaartse druk toenemen doordat de doorlatendheid van de onderlaag toeneemt. De aanwezigheid van een filterlaag (granulair, geokunststof of vlijlaag) is bedoeld om dit mechanisme te voorkomen. Het bezwijkmechanisme is weergegeven in Figuur 14-12.



Figuur 14-12: Schadeverloop bij mechanisme materiaaltransport vanuit de ondergrond

Parameters

Bij materiaaltransport vanuit de ondergrond zijn de parameters van belang die de weerstand tegen uitspoeling en de opwaartse kracht op de gronddeeltjes bepalen (zie Figuur 14-13).



Figuur 14-13: Parameters materiaaltransport vanuit ondergrond

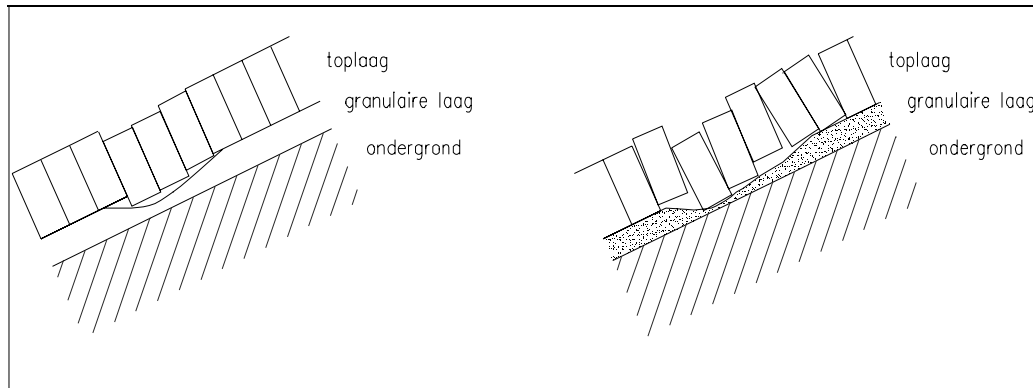
- 1) Grootte van de openingen in het filtermateriaal: hoe groter hoe ongunstiger. Bij een filter van geokunststof worden de openingsafmetingen beschreven door de karakteristieke openingsgrootte O_{90} , en afhankelijk van de rekenmethode spelen ook de doorlatendheid en de dikte T_g een rol. Bij een granulair filter zijn de afmetingen van de fijne fractie representatief voor de openingsgrootte; hiervoor wordt de karakteristieke korreldiameter D_{f15} gebruikt. Afhankelijk van de rekenmethode is ook de porositeit n van de granulaire laag van belang.
- 2) Korrelgrootte van het basismateriaal: hoe groter hoe gunstiger. In de rekenregels worden hiervoor de karakteristieke korrelafmetingen D_{50} en D_{90} gebruikt. Bij een onderlaag van klei gaat het hierbij niet om de afzonderlijke kleideeltjes maar om de kleiklontjes; een aandachtspunt daarbij is, dat kleiklontjes uit elkaar vallen bij de overgang van zoet naar zout water.
- 3) Golfhoogte H_s : een grotere golfhoogte leidt tot een grotere waarde van het verhang i , dus een grotere belasting.
- 4) Het gemak waarmee het water door de toplaag kan stromen, gelijk aan het quotiënt van de waterdoorlatendheid van de toplaag en de toplaagdikte (k'/D): hoe groter deze verhouding, hoe makkelijker het water door de toplaag kan ontsnappen, dus hoe kleiner het verhang is dat in de granulaire laag kan ontstaan. Een grotere waarde is dus gunstig (net als bij het bezwijkmechanisme toplaaginstabiliteit is feitelijk de leklengte Λ van belang: de verhouding tussen het gemak waarmee het water door de granulaire laag en door de toplaag stroomt, bepaald door de waterdoorlatendheid en de dikte van de toplaag en de granulaire laag, zie ook punt 5).
- 5) Het gemak waarmee het water door de granulaire laag kan stromen, gelijk aan het product van de waterdoorlatendheid en de laagdikte van de granulaire laag: deze parameter wordt ook wel de transmissiviteit genoemd. Een grotere waarde leidt tot een groter verhang en is dus ongunstig.
- 6) Taludhelling $\cot \alpha$: een steilere helling leidt tot een groter verhang en is dus ongunstig.

N.B.

In de verdere tekst wordt dit bezwijkmechanisme aangeduid als materiaaltransport vanuit de ondergrond.

14.5.2 *Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag*

De golfbeweging zorgt voor opwaartse waterdruk onder de toplaagelementen (zie paragraaf 14.4). Als de sortering van de granulaire laag en de openingen tussen de toplaagelementen niet goed op elkaar zijn afgestemd kan deze opwaartse waterdruk leiden tot uitspoeling van materiaal vanuit de granulaire laag naar de toplaag. Ook dit kan leiden tot bezwijken van de toplaag (zie Figuur 14-14).



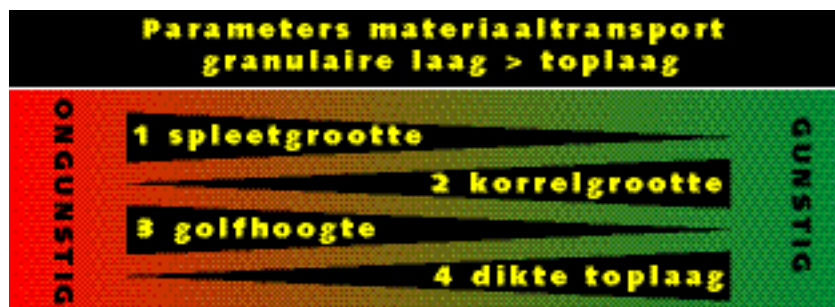
Figuur 14-14: Schadeverloop bij bezwijkmechanisme materiaaltransport vanuit de granulaire laag

N.B.

In de verdere tekst wordt dit bezwijkmechanisme aangeduid als materiaaltransport vanuit de granulaire laag.

Parameters

Bij materiaaltransport vanuit de granulaire laag zijn de parameters van belang die de weerstand tegen uitspoeling en de opwaartse kracht op de granulaire deeltjes bepalen (zie Figuur 14-15).



Figuur 14-15: Parameters materiaaltransport vanuit granulaire laag

- 1) Gatdiameter G : de grootte van de openingen tussen de toplaagelementen bepaalt de weerstand tegen uitspoeling.
- 2) Korrelgrootte van het granulaire materiaal: in de rekenregels worden hiervoor de karakteristieke korrelafmetingen D_{50} en D_{90} gebruikt.
- 3) Golfhoogte H_s : in de empirische rekenmethode karakteriseert de golfhoogte H_s de belasting.
- 4) Dikte D van de toplaag: een grotere laagdikte zorgt voor grotere weerstand tegen uitspoeling.

14.6 Bezwijkmechanismen van aanverwante bekledingstypen

14.6.1 *Bezwijken van geschakelde steenzettingen*

Voor geschakelde steenzettingen gelden globaal dezelfde bezwijkmechanismen als voor standaardsteenzettingen. De onderlinge verbinding maakt de toplaag iets stabielier. Blokkenmatten kunnen bezwijken door het losraken en omklappen van hoekelamenten onder golfaanval. De interactie tussen de blokken en de mat wordt meestal pas gemobiliseerd wanneer er beweging ontstaat. Wanneer de mat gaat bewegen kan de ondergrond gaan schuiven waardoor er schade ontstaat, het taludprofiel krijgt dan een S-vorm.

14.6.2 *Bezwijken van doorgroei stenen*

Het maatgevende faalmechanisme voor doorgroei stenen is de uitspoeling van grond vanuit de gaten in de toplaagelementen. Hierdoor wordt de toplaag ondermijnd. Dit is alleen mogelijk als de grasbekleding in de gaten bezwijkt. Bij grasbekleding met doorgroei stenen ontstaat weliswaar eerder initiële schade dan bij gewone grasbekleding, maar de uiteindelijke schade is kleiner.

14.6.3 *Bezwijken van ingegoten steenzettingen*

Penetratie met beton of asfalt kan de toplaag waterdicht maken en zoveel extra samenhang tussen de toplaagelementen tot stand brengen dat het geheel fungeert als een plaatbekleding. Voor dit bekledingstype zijn drie bezwijkmechanismen van belang:

- Oplichten van de toplaag;
- Afschuiving;
- Materiaaltransport.

De mechanismen afschuiving en materiaaltransport zijn niet principieel anders dan voor standaardsteenzettingen; daarvoor wordt dus verwezen naar paragraaf 14.4 en paragraaf 14.5. In deze paragraaf wordt verder ingegaan op het mechanisme oplichten van de toplaag dat specifiek geldt voor ingegoten bekledingen.

Een ingegoten toplaag kan oplichten door golfbelasting (via drukopbouw in de granulaire laag), door statische wateroverdruk of door een combinatie van beide. Vanaf een bepaalde mate van oplichten kunnen scheuren in de toplaag ontstaan, maar dit leidt nog niet direct tot falen van de toplaag. Het maatgevende mechanisme is dat er ruimte ontstaat tussen toplaag en granulaire laag op het moment dat er een aanzienlijke stroming is in de granulaire laag. Als deze ruimte groot genoeg is, zal migratie van het granulaire materiaal optreden. Op den duur leidt dit tot vervorming van het profiel, waardoor de samenhang van de bekleding verloren gaat. Een ingegoten, en dus volledig waterdichte, teenconstructie is ongunstig voor de stabiliteit.

Als niet zeker is dat de toplaag fungeert als plaat, moet niet alleen rekening worden gehouden met oplichten van de toplaag, maar ook met het bezwijkmechanisme toplaaginstabiliteit van een standaardsteenzetting (zie paragraaf 14.3). Dit is het geval bij een oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzetting of als getwijfeld wordt aan de kwaliteit van het penetratiemateriaal; bij ontwerp is dat niet relevant.

14.7 Bezwijken door niet-hydraulische beschadiging

Een steenzetting kan ook door verschillende niet-hydraulische oorzaken worden beschadigd: recreatie, vandalisme, scheepsaanvaring, ijsbelasting en wrakhout, en drijvend vuil. Hiermee wordt bij ontwerp (en toetsing) in het algemeen geen rekening gehouden. Deze schades treden veelal op, op een moment dat de bekleding zijn primaire functie niet hoeft te vervullen: er is geen sprake van (de maatgevende)

golfbelasting. De beschadigde bekleding zal pas falen als er tussen het ontstaan van de schade en het optreden van een zware golfaanval geen afdoende reparatie plaats vindt.

Recreatie en vandalisme kunnen leiden tot lokale beschadiging van een steenzetting, bijvoorbeeld door het uitlichten van stenen of beschadiging van het geokunststof. Het onder controle houden van de gevolgen van dit type beschadigingen wordt gezien als onderdeel van het normale beheer en onderhoud en wordt daarom niet meegenomen in de toetsing. Voor zover relevant wordt overigens wel geprobeerd om er rekening mee te houden bij het ontwerp.

De kans op scheepsaanvaring is zeer klein, maar als het gebeurt, is er grote kans dat dat tijdens storm is (overigens niet tijdens maatgevende storm, want dan wordt er meestal niet meer gevaren). De aanvaring zelf kan ernstige beschadiging van de bekleding veroorzaken, waarna de golfbelasting, ook al is deze niet extreem zwaar, erosie van de onderlagen kan veroorzaken. Falen van de waterkering door scheepsaanvaring is dus reëel en kan worden gezien als een relevant mechanisme. Het is echter niet praktisch en haalbaar om de bekleding op deze belasting te ontwerpen vanwege de zeer hoge kosten en de relatief kleine kans. Voor zover relevant moet de vereiste faalkans worden bereikt door scheepvaartvoorzieningen of door overdimensionering van het grondlichaam. Er zijn dus geen regels voor ontwerp en toetsing; maar het is wél van belang dat bij de beheerder bekend is welke locaties gevoelig zijn voor scheepsaanvaring.

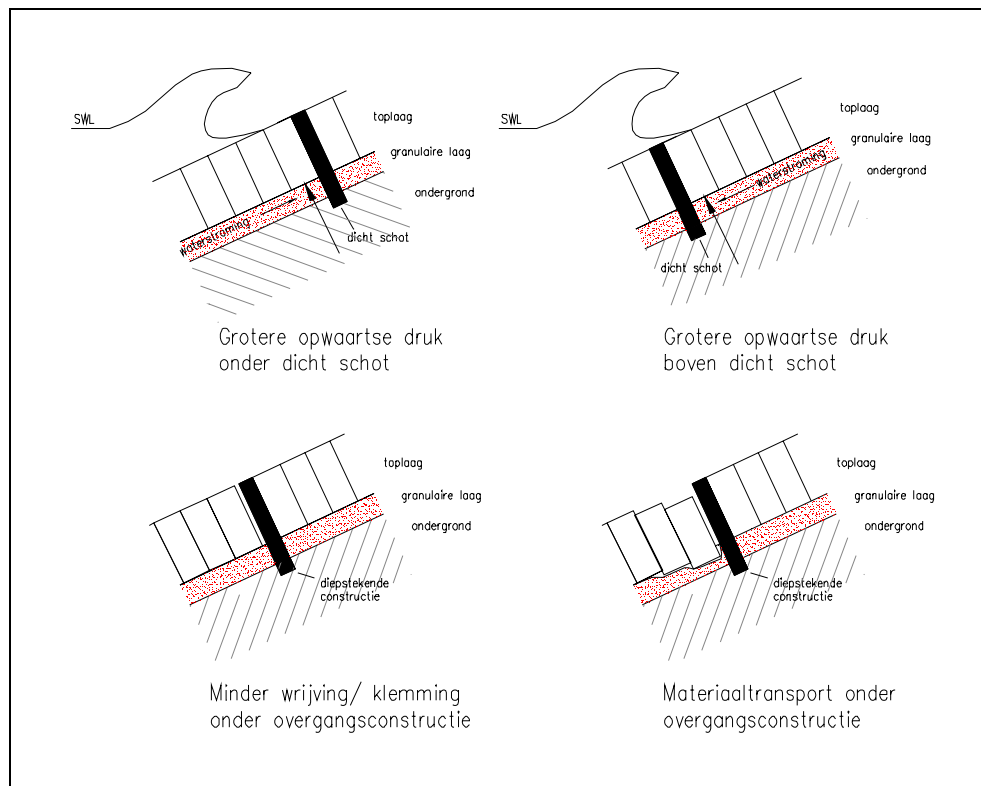
Ijsbelasting kan voor een steenzetting even schadelijk zijn als scheepsaanvaring, maar de kans dat ijsbelasting tegelijk plaatsvindt met grote golfbelasting is zeer klein. Deze kans wordt nog verkleind doordat de ijslaag een sterk golfdempende werking heeft. De kans op schade is het grootst bij oneffenheden (bij de teenconstructie of bij uitsteeksels of ruwheidselementen op de toplaag). Een zeer steile taludhelling (orde 60°) leidt tot maximale belastingen, maar dergelijke taludhellingen vallen buiten het toepassingsgebied van Nederlandse dijken.

Wrakhout en drijvend vuil zijn meestal te klein om een steenzetting ernstig te beschadigen.

- 14.8 Falen door of van teen-, overgangs- en aansluitingsconstructies
De aanwezigheid van een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie is op twee manieren van belang voor de bezwijkmechanismen van steenzettingen: de constructie kan een negatieve invloed hebben op de aansluitende steenzetting en de constructie kan zelf falen.

- 14.8.1 *Bezwijken door teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie*
Een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie kan op twee manieren een ongunstige invloed hebben op de aansluitende bekleding. Ten eerste kan de drukvoortplanting onder de toplaag worden geblokkeerd; de resulterende toename van de waterdruk onder de toplaag is van belang voor het bezwijkmechanisme toplaaginstabiliteit. Ten tweede kan de aansluiting met de steenzetting niet goed zijn; dit leidt tot een grotere kans op materiaaltransport en kan leiden tot toplaaginstabiliteit door vermindering van wrijving en klemming. Beide verschijnselen zijn vooral van belang voor horizontale overgangsconstructies en voor aansluitingsconstructies. Vier voorbeelden zijn weergegeven in Figuur 14-16. De bovenste twee betreffen het blokkeren van de drukvoortplanting, de onderste twee de minder goede aansluiting tussen steenzetting en overgangsconstructie. In de praktijk

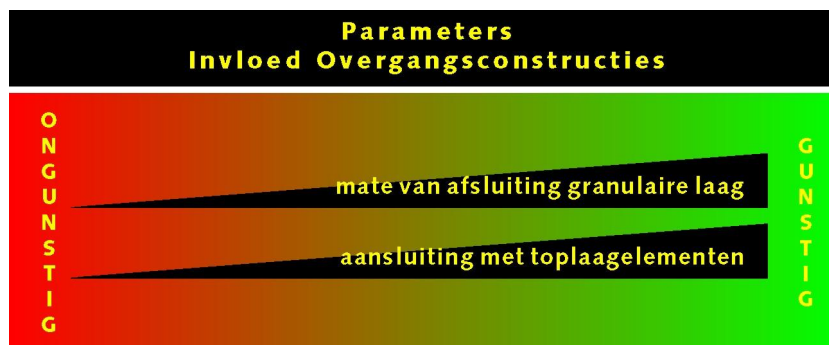
blijken topplaaginstabiliteit en materiaaltransport vaak in de buurt van teen- en overgangsconstructies voor te komen.



Figuur 14-16: Ongunstige invloed van overgangsconstructies

Parameters

Voor de invloed op de aansluitende bekleding zijn de parameters zoals genoemd onder topplaaginstabiliteit en materiaaltransport van belang (zie paragraaf 14.3 en paragraaf 14.5). Daarnaast zijn enkele specifieke eigenschappen van de overgangsconstructie van belang (zie Figuur 14-17).

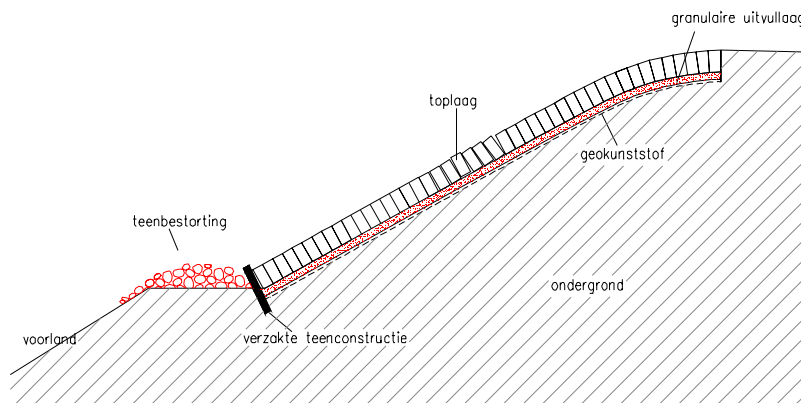


Figuur 14-7: Parameters overgangsconstructies

- 1) Mate van afsluiting van de granulaire laag: hoe meer de drukvoortplanting in de granulaire laag wordt geblokkeerd, hoe groter de waterdruk in het filter en dus een grotere kans op topplaaginstabiliteit.
- 2) Aansluiting met de toplaagelementen: hoe slechter deze aansluiting, hoe groter de kans op materiaaltransport.

14.8.2 *Falen van teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie*

De teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie heeft als functies de aangrenzende bekleding op te sluiten en erosie van de onderlagen van die aangrenzende bekledingen te voorkomen. De teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie kan dus zelf falen door grondmechanische instabiliteit en/of materiaaltransport. Een voorbeeld staat in Figuur 14-8. Zoals een steenzetting tegen een teen- of overgangsconstructie rust, zo rust een teenconstructie tegen een onderliggende teenbestorting én is deze gefundeerd in de bodem. Het verdwijnen van deze ondersteuning (bijvoorbeeld door ontgronding) kan leiden tot falen van de teenconstructie.



Figuur 14-8: Mechanisme falen teenconstructie

Parameters

Voor het falen van de teen- of overgangsconstructies zelf worden geen concrete parameters genoemd: daarvoor bestaan teveel typen en zijn ze te complex. Dit komt ook tot uiting in de methodiek voor ontwerp en voor toetsing die vooral gebaseerd is op kwalitatieve ervaringsgegevens. Voor laaggelegen constructies kunnen ervaringsgegevens een indicatie zijn van de veiligheid, omdat in die zone in de meeste gevallen vrijwel maatgevende belastingen zijn voorgekomen.

15 Algemene gegevens constructie

15.1 Inleiding

De algemene gegevens in dit hoofdstuk zijn de geometrische en geotechnische eigenschappen van de dijk, dam of oever zelf en van de relevante omgeving. De volgende gegevens worden besproken:

- Grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak;
- Taludhelling;
- Voorlandhoogte;
- Bestaande, aansluitende constructies;
- Eigenschappen basismateriaal.

15.2 Grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak

Rol

In het algemeen is het de moeite waard om in het begin van het proces een tweedimensionaal beeld van het te bekleden oppervlak te krijgen, bijvoorbeeld met behulp van een vlakkenkaart. Hierop staan de grenzen van het vak in de richting van de dijkas en in verticale richting. Dit is vooral van belang bij de vervanging van een bestaande bekleding, als sommige bekledingsvakken wel en andere niet moeten worden vervangen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De grenzen in de richting van de dijkas worden in het algemeen gerelateerd aan de dijkpaalnummering en worden bepaald met een nauwkeurigheid van orde 10 meter. De bovengrens en ondergrens van een strook worden bepaald ten opzichte van NAP (of eventueel een ander vast referentieniveau). Voor het ontwerp volstaat een nauwkeurigheid van orde 0,1 meter.

De afmetingen van het vak worden uitgedrukt in m^2 . De benodigde nauwkeurigheid voor bepaling van de mogelijkheden van hergebruik en voor inschatting van de kosten is orde 100 m^2 , of orde 5%. Bij de verdere uitwerking, tot aan contractniveau, neemt de benodigde nauwkeurigheid toe tot orde 10 m^2 .

Wijze van bepaling

In het algemeen worden in het begin van een project inmetingen gedaan. Daarbij worden dwarsprofielen opgemeten of wordt een Digitaal TerreinModel (DTM) opgesteld. Als het van belang is om ook grenzen van bekledingsvakken in te meten, moet daaraan speciale aandacht worden besteed. Uit deze informatie kan een vlakkenkaart worden samengesteld.

Opmerking

In sommige gevallen moet in het ontwerp worden bepaald tot welk niveau een steenzetting nodig is, omdat daarboven een grasbekleding mogelijk is. De regels hiervoor worden besproken in Deel 5: Grasbekledingen van deze Handreiking [34]

15.3 Taludhelling

Rol

De taludhelling speelt een rol in de volgende ontwerpaspecten:

- De taludhelling is een belangrijke parameter ten aanzien van toplaaginstabiliteit en afschuiving. Uit dat oogpunt geldt: hoe steiler, hoe ongunstiger.

- Een steile taludhelling (steiler dan 1:3) kan leiden tot beperkte betreedbaarheid van het talud (van belang voor uitvoering en beheer of voor recreatie).
- De taludhelling is mede bepalend voor de te bekleden oppervlakte en daarmee voor de kosten: een steilere helling leidt tot een kleinere oppervlakte (maar meestal ook tot een zwaardere bekleding).

De taludhelling speelt een rol in de volgende toetsaspecten:

- Toplaaginstabiliteit onder golfaanval: alle niveaus;
- Afschuiving: alle niveaus;
- Materiaaltransport vanuit ondergrond: gedetailleerd;
- Erosie van de onderlagen: alle niveaus.

Voor alle toetsingen geldt: hoe steiler hoe ongunstiger.

Ontwerpeigenschap of randvoorwaarde

De meeste aspecten van de aanwezige situatie zijn een randvoorwaarde voor het ontwerp, maar dat geldt niet helemaal voor de taludhelling. In zekere mate kan de taludhelling ook een ontwerpeigenschap zijn. Aan het begin van het ontwerpproces dat in Katern I wordt beschreven, staat de taludhelling meestal wel globaal vast: de helling is bijvoorbeeld ongeveer 1:3,5 vanwege de geometrie van de bestaande dijk waarop de steenzetting moet worden aangelegd. Aanpassingen van enkele tienden van de cotangens (dus bijvoorbeeld in de orde van 1:3,3 tot 1:3,7) zijn binnen het ontwerpproces van de steenzetting nog wel mogelijk, waarbij een afweging wordt gemaakt tussen de kosten van de bekleding, het benodigde grondverzet en eventuele andere factoren. De globale taludhelling kan dus worden gezien als een randvoorwaarde voor het ontwerp van de steenzetting, maar meer in detail is de taludhelling ook een ontwerpeigenschap.

Daarbij moet ook worden opgemerkt dat een verandering van de taludhelling met het oog op de stabiliteit van de bekleding ook consequenties heeft voor golfoploop en – overslag. Bij een aanpassing van de taludhelling dienen ook de consequenties voor de benodigde kruinhoogte te worden nagegaan.

Wijze van bepaling

Ontwerp

Bij het ontwerp van een nieuwe dijk, dam of oever is de wijze van bepaling niet relevant. Bij het vervangen van een bestaande bekleding volgt de aanwezige taludhelling uit inmetingen (dwarsprofielen of DTM). Het gewenste detailniveau van de inmetingen moet vooraf zorgvuldig worden gekozen. Voor het ontwerp zijn minimaal alle strookgrenzen en duidelijke knikken van belang, maar ook gedetailleerdere inmeting is mogelijk. Het kan zinnig zijn om enkele profielen zeer gedetailleerd in te meten (bijvoorbeeld één punt per meter) om daardoor een exact beeld te krijgen van de variatie van de taludhelling.

Toetsing

Als in het archief recente inmetingen beschikbaar zijn, kunnen deze worden gebruikt voor de toetsing. De acceptabele ouderdom van de gegevens hangt af van de zettingen in het gebied, maar in het algemeen mogen de gegevens niet ouder zijn dan enkele jaren. Voor de taludhelling zijn ontwerpwaarden niet bruikbaar voor de toetsing.

In de meeste gevallen zal de taludhelling ten behoeve van de toetsing worden ingemeten en vastgelegd in dwarsprofielen of een Digitaal Terreinmodel (DTM). De gewenste ruimtelijke spreiding van de meetpunten moet vooraf zorgvuldig worden gekozen en hangt af van de verwachte variatie. Voor de toetsing zijn minimaal alle

strookgrenzen en duidelijke knikken van belang, maar ook gedetailleerdere inmeting is mogelijk. Het kan zinvol zijn enkele profielen zeer gedetailleerd in te meten (bijvoorbeeld één punt per meter) om daardoor een exact beeld te krijgen van de variatie van de taludhelling.

Tenslotte wordt tegenwoordig steeds vaker gebruikgemaakt van het meten van de hoogteligging vanuit een vliegtuig ('invliegen'). Hiermee kan een verticale nauwkeurigheid van plus of min 7 centimeter worden bereikt; de horizontale nauwkeurigheid is veel beter. De haalbare nauwkeurigheid van de taludhelling hangt dus af van afmetingen van de vlakken waarvoor de helling wordt bepaald: bij grote vlakken is het resultaat nauwkeuriger dan bij kleine vlakken. Ook de hardheid en vlakheid van de vlakken speelt een rol. Bij begroeiing neemt de nauwkeurigheid af.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Toetsing

Ingemeten taludhellingen kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten in relatie tot de vakindeling (zie paragraaf 3.4). Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet worden gerekend met de steilste waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden.

Ontwerp

Vanwege de grote invloed op de toplaaginstabiliteit moet in het ontwerp een zorgvuldige keuze worden gemaakt voor de rekenwaarde van de taludhelling. Voor de ontwerpberekeningen moet een zo goed mogelijke benadering worden gevonden van de taludhelling die in werkelijkheid zal worden aangelegd. In de praktijk zullen twee soorten verschillen optreden tussen de ontwerpwaarde en de werkelijke waarde:

- Ten eerste is er altijd enige uitvoeringstolerantie, waardoor de werkelijk aangebrachte taludhelling steiler of flauwer kan zijn. In de ontwerpberekeningen kan het beste worden uitgegaan van een afwijking in ongunstige richting, dus een steilere helling. In de praktijk wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met een afwijking op de cotangens van orde 0,2 (dus rekenen met 1:3,8 in plaats van 1:4,0).
- Ten tweede moet in sommige gevallen rekening worden gehouden met het verschijnsel tonrondte. Een nieuwe bekleding over het gehele profiel wordt in de praktijk vaak, uit esthetisch oogpunt, met een convexe (bolronde) vorm aangebracht. Als dit niet in het bestek is vastgelegd, wordt het onderste deel van het talud hierdoor steiler en het bovenste deel flauwer dan de bestekshelling aangelegd. In de ontwerp-praktijk wordt hiermee rekening gehouden door voor het onderste 2/3 deel van het talud te rekenen met een extra afwijking op de cotangens van orde 0,2 (dus bijvoorbeeld 1:3,6 in plaats van 1:3,8). Overwogen kan worden om voor het bovenste deel te rekenen met een positieve afwijking van orde 0,2.

In het algemeen wordt bij het ontwerp en toetsing van steenzettingen gewerkt met een taludhelling waarvan de cotangens op 0,1 nauwkeurig is afgerond.

15.4 Voorlandhoogte

Rol

De voorlandhoogte (en voorlandhelling) is in de eerste plaats relevant bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden: een hoger voorland en/of flauwer voorland kan leiden tot een lagere ontwerp golfhoogte, dus een lagere belasting. In de aangeleverde randvoorwaarden is dit vaak niet verwerkt, zodat een aanvullende berekening nodig is. Met de Hydra-programma's kan het voorland door de gebruiker worden meegerekend. Deze rekenmethodes worden in deze Handreiking niet verder behandeld.

Daarnaast is de voorlandhoogte van belang voor de uitwerking van teenconstructie en teenbestorting.

Wijze van bepaling

De ligging van het voorland is meestal bekend bij de betreffende beheerder en is vastgelegd in oeverkaarten. Als dat niet zo is, kan de actuele ligging worden ingemeten. Voor de inschatting van een conservatieve waarde voor de toekomstige ontwikkeling kan gebruik worden gemaakt van ervaringsgegevens. Aanvullend kan eventueel een morfologische studie worden uitgevoerd.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Toetsing

De toetsing bestaat de eerstvolgende periode⁴. Bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden moet rekening worden gehouden met de ontwikkeling van het voorland in die periode. Aangezien het voorland vaak buiten het beheersgebied van de dijkbeheerder ligt, is het verstandig in de toetsing rekening te houden met een conservatieve, dus lagere waarde voor het voorlandniveau.

Ontwerp

Het ontwerp van een steenzetting wordt gemaakt voor een lange periode (orde 50 jaar). Het is bijna onmogelijk om de ontwikkeling van het voorland op die tijdschaal te voorzien en bovendien valt het voorland vaak buiten het beheersgebied van de dijkbeheerder. Het is daarom verstandig in het ontwerp rekening te houden met een conservatieve, dus lagere waarde voor het voorlandniveau.

15.5 Bestaande, aansluitende constructies

Rol

De aard en toestand van de aansluitende constructies zijn belangrijk voor de detaillering van de bekleding. Als geen goede aansluiting kan worden gemaakt of als een overgangsconstructie in slechte staat verkeert, kan het nodig zijn een nieuwe overgangsconstructie te maken. Dit geldt niet alleen voor onderliggende, maar ook voor naastliggende of bovenliggende constructies.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Het gaat hierbij om een tamelijk globale beschrijving van de aard en toestand van de constructies. Een gedetailleerde beoordeling van de toestand van de constructies wordt in de praktijk vaak overgelaten aan de uitvoering. In dat stadium kan nog

⁴ Per 1-1-2014 treedt een wijziging van de Waterwet (Doelmatigheid en bekostiging hoogwaterbescherming) in werking.

worden besloten of de bestaande constructies kunnen worden gehandhaafd of hergebruikt.

Wijze van bepaling

Voor een deel kan de benodigde informatie uit beheersdocumenten (contracten en revisietekeningen) worden gehaald, maar in de praktijk blijkt het vaak nodig of nuttig om de constructies in het veld te controleren.

15.6 Eigenschappen basismateriaal

Eventuele aanvulling van het dijklichaam met breed gegradeerd granulair materiaal wordt niet op deze plaats besproken, maar in paragraaf 16.13. In deze paragraaf gaat het over het materiaal waaruit de dijk oorspronkelijk is opgebouwd (klei of zand).

Rol

Ten aanzien van afschuiving in de ondergrond zijn dikte en gewicht van de eventuele afdekkende cohesieve laag van belang: hoe dikker en zwaarder deze laag, hoe minder kans op afschuiving.

Voor materiaaltransport is van belang wat de materiaaleigenschappen zijn bovenin het basismateriaal: hoe grofkorreliger of cohesiever het materiaal, hoe gunstiger voor het ontwerp van de filterconstructie. Ten aanzien van de korrelgrootte is een maat voor de gemiddelde of grove fractie van belang. Afhankelijk van de ontwerpregel wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameters D_{50} , D_{60} , D_{85} en D_{90} .

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor een nieuwe dijk of dam worden de materiaaleigenschappen en de laagdikten van het basismateriaal in het contract voorgeschreven.

De eigenschappen van een bestaande kleilaag zijn vaak moeilijk te bepalen zodat de haalbare nauwkeurigheid klein is. De laagdikte kan in de praktijk sterk per plaats variëren; in de ontwerppraktijk wordt daarom vaak uitgegaan van de kleinste gemeten dikte, afgerond op 0,1 meter. Als de materiaalparameters niet met grondonderzoek worden bepaald, kan ervoor gekozen worden uit te gaan van de conservatieve waarden die bij de toetsing worden gebruikt (dichtheid van 1800 kg/m^3 , porositeit van 0,3).

Wijze van bepaling

Voor bestaande dijken en dammen kan in contracts- en revisietekeningen meestal een laagdikte worden gevonden voor de cohesieve laag, maar in de praktijk is deze informatie meestal niet nauwkeurig of volledig. In de meeste gevallen zal het nodig zijn om boringen te verrichten. Voor de materiaalparameters geldt hetzelfde: meestal zal grondonderzoek nodig zijn om deze te bepalen. In de praktijk is het verstandig om te beginnen met grofmazig onderzoek, waarna eventueel op basis van de resultaten fijnmaziger onderzoek kan worden uitgevoerd.

16 Technische eigenschappen van de steenzetting

16.1 Inleiding

Voor nieuwe materialen gaat het bij deze categorie om ontwerpeigenschappen: de technische eigenschappen van de bekledingsmaterialen zijn in dat geval een vrijheidsgraad in het ontwerp. Voor zulke situaties worden in deze paragraaf mogelijke en praktisch leverbare waarden van de parameters behandeld.

Bij hergebruik van bestaande materialen fungeren deze parameters als randvoorwaarden: de technische eigenschappen zijn dan een gegeven op basis waarvan wordt besloten of de materialen worden toegepast en vervolgens de steenzetting wordt ontworpen.

16.2 Toplaagdikte

Definitie

Bij het beschouwen van de gehele toplaag wordt gesproken over de (laag-)dikte, terwijl bij het beschouwen van losse toplaagelementen wordt gesproken over de (element-)hoogte.

De hier gedefinieerde dikte van de steenzetting is een rekenwaarde voor het dimensioneren (en toetsen) van steenzettingen. Bij prismatische zetsteen (de doorsnede evenwijdig aan het grondvlak is op alle hoogtes identiek) is de dikte van de steenzetting gelijk aan de afstand van onderzijde tot bovenzijde, echter zonder deklaag met geringere sterkte dan de rest van de zetsteen (zoals eco-top). Bij bijzondere vormen wordt onderstaande definitie gehanteerd.

Voor het bepalen van de dikte van de steenzetting moet eerst de bovenzijde en onderzijde in gedachten vlak en evenwijdig aan elkaar gemaakt worden, met behoud van het volume van het element, waardoor er geen vellingkanten en ruwheidselementen meer aan het element zitten. Bovendien wordt de eventueel aanwezige deklaag met geringere sterkte dan de rest van de zetsteen (zoals eco-top) in gedachten verwijderd. De projectie van het onderste 1/3 deel van de zetsteen op de ondergrond is het maatgevende grondvlak. Dit levert het maatgevende bovenvlak en grondvlak op. Met de bovenzijde en onderzijde wordt bedoeld de boven- en onderzijde zoals de zetsteen uiteindelijk geplaatst zal gaan worden.

De dikte van de steenzetting is gelijk aan het steenvolume zonder deklaag gedeeld door het maatgevende grondoppervlak, vermenigvuldigd met een vormfactor, maar nooit groter dan de afstand tussen het maatgevende grondvlak en bovenvlak.

De vormfactor is bedoeld voor bijzonder gevormde elementen en moet afgeleid worden uit grootschalig modelonderzoek, zoals omschreven in Deel 1: Algemeen van deze Handreiking [30] of gelijkwaardig experimenteel onderzoek. Voor het Hillblock geldt een zodanige vormfactor dat de toplaagdikte gelijk wordt aan de afstand van grond- en bovenvlak. Voor alle andere typen geldt een vormfactor gelijk aan 1.

Ontwerpeigenschap of randvoorwaarde

Voor de eigenschappen van de toplaagelementen geldt bij uitstek dat nieuwe elementen in het ontwerpproces anders worden behandeld dan elementen die beschikbaar zijn voor hergebruik. De hoogte van nieuwe elementen is een

ontwerpeigenschap (binnen de grenzen van de leverbaarheid), terwijl de hoogte van te hergebruiken elementen een randvoorwaarde is.

Rol

De hoogte van het toplaagelement (loodrecht op het talud) heeft invloed op de mechanismen toplaaginstabiliteit en afschuiving: hoe dikker de toplaag, hoe kleiner de kans is op zowel toplaaginstabiliteit als afschuiving.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

In het algemeen geldt dat voor de ontwerpberekeningen voor toplaaginstabiliteit en afschuiving, het onderwatergewicht per eenheid van oppervlakte van de toplaagelementen van belang is. Dit is het product van de relatieve dichtheid van de toplaagelementen Δ en de toplaagdikte D . Dit product wordt in het vervolg kortweg weergegeven als ΔD . De dichtheid van de toplaagelementen wordt besproken in paragraaf 16.4.

Omdat de lichtste steen in een bekleding maatgevend is, moet voor de parameter ΔD worden uitgegaan van een ondergrens. Daarbij kan bijvoorbeeld worden uitgegaan van de lage karakteristieke waarde van de parameter ΔD (de waarde die door 5% van de gevallen wordt onderschreden) of van de kleinste gemeten waarde. In theorie is het niet nodig om voor beide parameters (elementhoogte en dichtheid) de lage karakteristieke waarde of de kleinste gemeten waarde te gebruiken als rekenwaarde: dit leidt namelijk tot een zeer conservatieve waarde voor de parameter ΔD . In de praktijk zal, bij gebrek aan statistische informatie, toch vaak zowel voor de dichtheid als de elementhoogte worden gerekend met ondergrenzen.

Bij fabrieksmatig geproduceerde elementen (betonzuilen en betonblokken) is de spreiding van de toplaagdikte (en van de dichtheid) zo klein, dat in de ontwerp praktijk kan worden uitgegaan van het gemiddelde van alle elementen: die waarde is praktisch gelijk aan de ondergrens.

Bij natuursteen werkt het anders. Per definitie is er een grote spreiding in de elementhoogte (en in de dichtheid) binnen één partij of sortering. Basaltsorteringen worden traditioneel omschreven met een range van 5 of 10 centimeter, bijvoorbeeld 20-30 centimeter. In de praktijk komen in een partij met sortering 20-30 centimeter ook elementen voor met een kleinere hoogte dan 20 centimeter.

Als het natuursteen goed geklemd is, wordt gerekend met de gemiddelde waarde van de steenhoogte (gemiddeld over ongeveer 1 m²). Dit kan vastgesteld worden door een steen uit de steenzetting te halen en vervolgens de steenhoogte te bepalen van de uitgelichte steen en de stenen rond het gat. Als de steenzetting slecht geklemd is, geldt de kleinste waarde. Voor de toetsing wordt op deze wijze op een aantal locaties de maatgevende toplaagdikte bepaald. Deze locaties liggen verspreid over het dijkvak. Tenslotte wordt van alle locaties de kleinste waarde genomen. Deze wordt gebruikt in de berekeningen in STEENTOETS.

In geval van een ontwerp met hergebruik van natuursteen zal men deze waarde vooraf moeten schatten. In een contract kan bijvoorbeeld een minimale elementhoogte (van bijvoorbeeld 20 centimeter) worden voorgeschreven. In het ontwerp moet in dat geval een veiligheidsmarge van enkele centimeters worden aangehouden, omdat de steenzetters de ondergrens 'op het oog' inschatten.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een toplaagdikte die op 1 centimeter nauwkeurig is afgerond

Wijze van bepaling

Bij nieuwe materialen moet de leverancier voldoen aan een ontwerpwaarde. Het aantonen en controleren daarvan is een uitvoeringsskwestie en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper. Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat toplaagelementen niet of nauwelijks slijten. Revisiegegevens of eventueel contractgegevens zijn bruikbaar voor fabrieksmatig geproduceerde elementen (betonzuilen of -blokken), maar niet voor elementen van natuursteen.

Bij open bekledingen kan soms een indicatie van de toplaagdikte worden verkregen door meting in de open ruimte tussen de elementen, bijvoorbeeld met een laselektrode. De waarde van zulke metingen is afhankelijk van het toplaagtype. Bij onregelmatig gevormde elementen kan niet goed worden gemeten volgens de definitie zoals hierboven gegeven; in dat geval kan deze meting wel dienen ter verificatie van al beschikbare gegevens.

Een recente ontwikkeling is dat op niet-destructieve wijze de toplaagdikte kan worden bepaald met behulp van grondradar. Op dit moment is deze techniek nog niet operationeel, maar in het stadium van praktijkproeven. Grondradar is vooral geschikt voor het bepalen van scherpe overgangen (toplaag – granulaire laag – kleilaag). Voorlopige resultaten wijzen uit dat de toplaagdikte met grondradar kan worden bepaald met een nauwkeurigheid van enkele centimeters. Ingeschat wordt dat grondradar niet in plaats kan komen van het openbreken van de bekleding, omdat breekwerk altijd nodig is ten behoeve van referentiemetingen. Wel kan grondradar dienen om een beter beeld te krijgen van de variatie in de toplaagdikte tussen de breeklocaties en om breeklocaties gericht te kiezen zodat het aantal breeklocaties kan worden verkleind.

Als de bovenstaande methodes niet voldoen moet de bekleding worden opengebroken om de toplaagdikte te bepalen. Hiertoe worden op een voldoende aantal locaties enkele elementen uit de toplaag verwijderd zodat van vijf à tien elementen de dikte kan worden gemeten. De meetlocaties moeten zodanig worden gekozen dat er een goed beeld ontstaat van de spreiding van de dikte, voor elk bekledingsvak. De meetdichtheid wordt dus bepaald door een inschatting van de variatie binnen elk vak. Voor een tamelijk uniforme bekleding geldt als indicatieve richtwaarde één meetpunt per 100 à 200 strekkende meter, met een minimum van drie en een maximum van zeven meetpunten per bekledingsvak (maar een groter aantal levert natuurlijk altijd een beter beeld op). Bij brede stroken (verticaal gezien) is het verstandig de onderste en bovenste helft apart te behandelen.

16.3 Weerstand tegen golfoploop

Definitie

Het effect van de ruwheid op de golfoploop wordt uitgedrukt in de reductiefactor γ_r .

Rol

Deze parameter is niet van belang voor de faalmechanismen van de bekleding zelf, maar kan wel een rol spelen bij het bepalen van de kruinhoogte van een dijk. Oneffenheden in het taludoppervlak zorgen ervoor dat golven minder ver het talud oplopen. De kruinhoogte van dijken onder golfaanval wordt zodanig ontworpen dat het overslagdebiet in maatgevende omstandigheden kleiner is dan een gekozen acceptabele waarde (bijvoorbeeld 1,0 l/m/s). Reductie van de golfoploop door een

ruwer oppervlak leidt dus tot een lagere benodigde kruinhoogte. De rekenmethodes worden behandeld in Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [9].

Speciaal voor dit doel zijn elementen ontwikkeld met uitsteeksels die een significant effect hebben op de golfoploop. Deze worden behandeld als 'aanverwant bekledingstype'. Bij de overige typen steenzettingen is het effect op de golfoploop beperkt en zijn de verschillen niet groot.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de toplaagtypen die in aanmerking komen, zijn waarden voor de reductiefactor γ_f vastgesteld met behulp van modelproeven. Verwezen wordt naar het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken [9] danwel EurOtop [35].

Wijze van bepaling

De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter.

16.4 Dichtheid toplaagelementen

Definitie

De dichtheid van toplaagelementen ρ_t wordt uitgedrukt in kg/m^3 . In de berekeningen is overigens de relatieve dichtheid Δ van belang. Behalve dichtheid worden ook wel de termen soortelijke dichtheid of soortelijke massa gebruikt.

Rol

De dichtheid heeft invloed op toplaaginstabiliteit en afschuiving: een grote dichtheid is gunstig voor zowel stabiliteit als weerstand tegen afschuiving.

De dichtheid van de toplaagelementen speelt een rol in de volgende toetsingen:

- Toplaaginstabiliteit (onder golfaanval én stroming): alle niveaus;
- Afschuiving: gedetailleerd.

Voor alle toetsingen geldt: hoe groter de dichtheid, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat de dichtheid niet of nauwelijks verandert. Indien meetgegevens niet beschikbaar zijn, wordt voor elementen van natuursteen of restproducten in eerste instantie altijd uitgegaan van de kleinste (meest conservatieve) waarden uit tabel 16-1. Voor betonelementen wordt in eerste instantie uitgegaan van de ontwerpwaarden.

In sommige gevallen is het zinvol te verifiëren of de standaardwaarden geldig zijn voor de betreffende bekleding: als wordt ingeschat dat de standaardwaarden of de ontwerpwaarden geen veilige benadering geven en als een kleine verandering van de waarde invloed kan hebben op het toetsresultaat. De dichtheid van toplaagelementen kan worden geverifieerd met laboratoriumonderzoek, bijvoorbeeld van orde tien elementen per toplaagtype. Specifiek voor koperslabblokken geldt dat bij steekproeven de dichtheid van volledige toplaagelementen moet worden bepaald, dus niet van een boorkern: de dichtheid kan binnen één element significant variëren.

Tabel 16-1 Dichtheid toplaagelementen (de laagste waarde is een conservatieve schatting)

Toplaagtype	dichtheid [kg/m ³]
Betonzuilen	2300 – 3000
Betonblokken	2300 - 2500
Haringmanblokken	0,9 à 0,95 maal dichtheid beton
Basaltzuilen	2900 – 3100
Granietblokken, Noorse stenen	2600 – 2700
Koperslakblokken	2500 - 2700
Vilvoordse steen	2500 – 2700
Lessinense steen	2500 – 2700
Doornikse steen	2500 – 2700
'Petit'graniet	2500 - 2700

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel 16-1 zijn bedoeld als conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing. Ontwerpwaarden van betonelementen kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren.

Als de dichtheid met laboratoriumproeven wordt bepaald, kunnen de gemeten waarden rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten in relatie tot de vakindeling (zie paragraaf 7.4).

Bij betonelementen (nieuw én hergebruik) wordt de dichtheid in het fabricageproces gestuurd, waardoor die tamelijk constant is binnen één partij. Volgens de NEN 7024: bij zetsteen van beton moet de dichtheid van een individueel element tussen -50 kg/m^3 en $+150 \text{ kg/m}^3$ van de opgegeven waarde liggen en moet de gemiddelde dichtheid groter dan of gelijk aan de opgegeven waarde zijn. De spreiding is zo klein dat in de berekeningen kan worden uitgegaan van de gemiddelde waarde. Wel moet rekening worden gehouden met het verschil tussen droge en natte dichtheid. Bij het produceren van nieuwe betonelementen wordt, conform de normen, uitgegaan van de 'natte dichtheid': de dichtheid van het beton als dat verzadigd is met water. Daarentegen is bij het bepalen van de rekenmethodieken uitgegaan van de 'droge dichtheid' en die kan tot orde 5% lager zijn. In de praktijk kan hiermee rekening worden gehouden door voor de dichtheid van nieuwe betonelementen een rekenwaarde te kiezen die lager is dan de ontwerpwaarde.

De rekenmethodes zijn gebaseerd op rechthoekige elementen, maar er worden ook betonelementen toegepast met afwijkende vormen. Het bekendste voorbeeld is het type Haringmanblokken: dit zijn betonblokken met een inkassing aan de bovenkant, bedoeld om de golfoploop te beperken. Het steengewicht per oppervlakte-eenheid is kleiner als gevolg van de inkassing en daarmee moet rekening worden gehouden. Dit kan het beste worden gedaan via een omweg, door te rekenen met een fictieve (lagere) dichtheid (afhankelijk van de elementafmetingen 5 à 10%). Bij Vilvoordse steen speelt een vergelijkbare kwestie: de toplaagelementen zijn niet blokvormig maar sterk afgerond, waardoor het elementgewicht orde 40% lager is dan wanneer het blokvormig zou zijn. Daarom moet voor Vilvoordse steen de D_{n50} van de stenen in STEENTOETS ingevuld worden in plaats van de toplaagdikte. Dit geldt ook voor Noorse steen.

Bij elementen van natuursteen varieert de dichtheid (net als de elementhoogte) sterker dan bij betonelementen. Het is mogelijk hiervoor een veilige standaardwaarde te gebruiken (zie tabel 16-1). Als wordt besloten steekproeven te verrichten, is het verstandig niet alleen naar de dichtheid, maar juist naar de combinatie van dichtheid en elementhoogte te bekijken. Zoals besproken in paragraaf 16.2 is het beter te werken met de lage karakteristieke waarde van de parameter ΔD in plaats van ondergrenzen voor zowel de dichtheid als de elementhoogte.

In het algemeen wordt bij de toetsing en ontwerp van steenzettingen gewerkt met een dichtheid die op 50 kg/m^3 nauwkeurig is afgerond.

16.5 Open ruimte tussen toplaagelementen

Definitie

Voor zuilvormige elementen wordt de open ruimte uitgedrukt in het percentage open ruimte ten opzichte van het totale oppervlak, aangeduid met het symbool Ω . Voor blokvormige elementen wordt in de rekenmethodes gewerkt met de lengte en breedte van de elementen en de spleetbreedte; de rekenprogramma's rekenen op basis daarvan het percentage open ruimte Ω uit. In theorie gaat het om de open ruimte aan de onderkant van de toplaag. Speciale aandacht is nodig voor blokken met afstandhouders omdat daarbij de spleetbreedte aan de lange zijde heel anders is dan aan de korte zijde (groter bij langsvoegen, kleiner bij stootvoegen). Daarom kan in STEENTOETS een waarde voor de stootvoeg en een waarde voor de langsvoeg ingevuld worden.

Behalve het open-ruimtepercentage zijn de absolute afmetingen van de open ruimte van belang met het oog op uitspoeling van materiaal uit de granulaire laag. In de rekenmethodes wordt gewerkt met de gatdiameter G . Bij blokvormige toplaagelementen is G gelijk aan de spleetbreedte.

Ontwerpeigenschap of randvoorwaarde

De open ruimte is een ontwerpeigenschap, die afhankelijk is van het toplaagtype, maar soms ook van de vorm van de elementen in een bepaalde partij en van de wijze van zetten. Bij rechthoekige betonblokken kan worden overwogen om speciale afstandhouders toe te passen, bedoeld om de open ruimte te vergroten. In de praktijk wordt in het ontwerp uitgegaan van standaardwaarden die horen bij een bepaald toplaagtype.

Rol

De open ruimte van de toplaag heeft invloed op de toplaaginstabiliteit: hoe groter de open ruimte, hoe gunstiger ten aanzien van toplaaginstabiliteit. Voorwaarde hierbij is dat de open ruimte min of meer regelmatig gespreid is over het oppervlak. Te grote openingen in de toplaag in combinatie met fijn materiaal in de granulaire laag kunnen leiden tot het mechanisme uitspoeling vanuit de granulaire laag.

De open ruimte speelt een rol in de volgende toetsingen:

- Toplaaginstabiliteit: in de eenvoudige toetsing is de parameter Ω mede bepalend voor het constructietype en in de gedetailleerde toetsing wordt expliciet gerekend met de open ruimte. Daarbij geldt: hoe groter de open ruimte, hoe gunstiger. Voorwaarde hierbij is dat de open ruimte min of meer regelmatig gespreid is over het oppervlak: de toplaagelementen moeten wel tegen elkaar aan staan.

- Materiaaltransport vanuit de granulaire laag: alle niveaus. De spleetbreedte tussen de toplaagelementen is van belang: hoe groter de spleetbreedte, hoe ongunstiger.

Wijze van bepaling

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde), omdat de gemiddelde open ruimte niet snel verandert. Alleen bij verzakking van teen- en overgangsconstructies kan de waarde veranderen.

Als geen meetgegevens beschikbaar zijn wordt bij de toetsing op toplaaginstabiliteit of ontwerp in eerste instantie altijd uitgegaan van de kleinste (meest conservatieve) waarden uit tabel 16-2. Voor materiaaltransport vanuit de granulaire laag kan voor de blokvormige elementen worden uitgegaan van de grootste waarden uit tabel 16-2, maar voor de zuilvormige elementen moet de gatdiameter G in het veld worden bepaald (zie fase 2).

Tabel 16-2 Standaardwaarden open ruimte tussen toplaagelementen

Toplaagtype	open ruimte Ω /spleetbreedte
Betonzuilen	10 – 15 %
Betonblokken, Haringmanblokken	1 – 4 mm
Basaltzuilen	10 – 15 %
Granietblokken	3 – 20 mm
Koperslakblokken	3 – 8 mm
Vilvoordse steen	10 – 30 mm
Lessinese steen	3 – 30 mm
Doornikse steen	10 – 30 mm
'Petit'graniet	3 – 30 mm

In sommige gevallen is het zinvol te verifiëren of de standaardwaarden geldig zijn voor de betreffende bekleding: als wordt ingeschat dat de standaardwaarden geen veilige benadering geven en als een kleine verandering van de waarde invloed kan hebben op het toetsresultaat. Bij regelmatige elementen kunnen de spleetbreedtes worden opgemeten op de dijk. Specifiek bij granietblokken is er zoveel variatie dat het meestal de moeite loont om de spleetbreedte op te meten. Bij onregelmatige elementen zoals basaltzuilen kan het open-ruimtepercentage Ω worden bepaald door analyse van foto's. Een praktische werkwijze is digitale foto's in te lezen in een professioneel tekenprogramma, te bewerken en de oppervlakte te bepalen. Bij een toplaag van betonzuilen van het merk Basalton kan rekening worden gehouden met het feit dat de toplaagelementen taps toelopen: de open ruimte aan de bovenzijde van de toplaag is kleiner, dus geeft voor toplaaginstabiliteit een conservatieve benadering van de werkelijke rekenwaarde.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel 16-2 zijn bedoeld als conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing (minima voor toplaaginstabiliteit en maxima voor materiaaltransport).

Als het open-ruimtepercentage in het veld wordt bepaald, kunnen de gemeten waarden rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten in relatie tot de vakindeling (zie paragraaf 7.4). Voor de gatdiameter G geldt hetzelfde.

In het algemeen wordt bij de toetsing op toplaaginstabiliteit en ontwerp van onregelmatige toplaagelementen gewerkt met een open-ruimtepercentage dat op 1 procentpunt nauwkeurig is afgerond. De spleetbreedte bij blokken wordt op 1 mm nauwkeurig afgerond. Bij zeer kleine spleetbreedtes (orde 1 mm) is de invloed van kleine afwijkingen weliswaar groot, maar het is niet haalbaar de spleetbreedte nauwkeuriger te bepalen. Opgemerkt wordt dat de rekenmethodes geldig zijn tot aan een bovengrens voor het open-ruimtepercentage van ongeveer 15%.

16.6 Eigenschappen inwasmateriaal

Ontwerpeigenschap of randvoorwaarde

Voor het inwasmateriaal is hergebruik in de praktijk minder relevant. In het algemeen zal materiaal van een standaardsoortering worden gebruikt. De eigenschappen worden daarom behandeld als ontwerpeigenschappen en niet als randvoorwaarden. De relevante eigenschappen zijn het type materiaal, de sortering en de hoeveelheid.

Rol

Het inwasmateriaal heeft invloed op het mechanisme toplaaginstabiliteit: er is een grote positieve invloed door toename van de onderlinge wrijving en/of klemming tussen de toplaagelementen, maar er is ook een negatieve invloed door afname van de open ruimte.

Het type materiaal, de sortering en de hoeveelheid moet met zorg worden gekozen. De sortering moet worden afgestemd op de spleetbreedten die in de zetting aanwezig zijn: het inwasmateriaal moet fijn genoeg zijn om in de spleten te kunnen doordringen. Het mag echter ook niet te fijn zijn, omdat de beste klemming wordt verkregen als de spleet telkens door een enkele korrel wordt overbrugd. Verder leidt relatief fijn inwasmateriaal tot een lagere doorlatendheid van de spleten tussen de toplaagelementen waardoor een overdruk vanuit het filter minder makkelijk ontsnapt. De toplaagstabiliteit is groter als de D_{15} van het inwasmateriaal groter is.

Voor toetsing wordt bij een goed ingeklemde constructie, bijvoorbeeld als gevolg van inwassing, voor de toplaagdikte uitgegaan van het gemiddelde van de metingen per meetlocatie in plaats van het minimum. De klemming zorgt ervoor dat niet zomaar een individueel blok uit de zetting omhoog wordt gedrukt, maar dat de bekleding over een groter oppervlak wordt opgelicht.

In STEENTOETS wordt voor de toplaaginstabiliteit (gedetailleerde toetsing) rekening gehouden met beide effecten van inwassing.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Ten aanzien van het type materiaal komt vooral steenslag en gebroken grind in aanmerking, en eventueel slakken. De sortering is afhankelijk van de grootte en vorm van de open ruimte tussen de toplaagelementen. In de praktijk is gebleken dat de standaardsoortering 4-32 mm goed functioneert voor een toplaag van zuilen (betonzuilen en basaltzuilen), terwijl voor een toplaag van betonblokken met afstandhouders een sortering van 4-16 mm wordt gebruikt.

De benodigde hoeveelheid hangt af van de hoogte van de elementen en de grootte van de open ruimte; in de praktijk wordt ongeveer 50 kg/m^2 inwasmateriaal gebruikt.

Wijze van bepaling

Voor nieuw materiaal worden de eigenschappen voorgeschreven in het contract. De wijze van bepaling is niet relevant voor de ontwerper.

Voor de eenvoudige toetsing op toplaaginstabiliteit is de aan- of afwezigheid van inwassing rechtstreeks van belang; de te gebruiken toetsgrafiek wordt er mede door bepaald.

Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing moet worden bepaald of de toplaag al dan niet goed ingeklemd en ingewassen is. In de praktijk wordt dit op zeer pragmatische wijze gedaan. Op de dijk wordt visueel nagegaan of de open ruimte goed gevuld is met inwasmateriaal. De korrelgrootte van het inwasmateriaal is vanzelfsprekend kleiner dan de spleten tussen de toplaagelementen, maar moet niet te veel kleiner zijn. Het moet in ieder geval grover zijn dan zand (orde 2 mm). Verder wordt nagegaan of de toplaagelementen met de voet kunnen worden bewogen.

In de geavanceerde analyse spelen wrijving en klemming vaak een belangrijke rol. De extra stabiliteit als gevolg van de aanwezigheid van inwasmateriaal/stopwerk kan worden gemeten met trekproeven.

16.7 Inzanding/inslibbing van de toplaag

Rol

Toplaaginstabiliteit onder golfaanval: de aan- of afwezigheid van slib in de open ruimte tussen de toplaagelementen zou een positieve invloed kunnen hebben op de toplaagstabiliteit en materiaaltransport vanuit de ondergrond en materiaaltransport door de toplaag. Er is echter geen rekenmodel beschikbaar waarmee dit gekwantificeerd kan worden.

Wijze van bepaling

Voor de eenvoudige toetsing moet worden bepaald of de toplaag al dan niet ingeslibd is. Op de dijk wordt visueel nagegaan of de open ruimte gevuld is met slib. Het ingeslibde materiaal heeft een korrelgrootte kleiner dan 1 mm.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing is alleen de kwalitatieve vraag van belang of de toplaag al dan niet dichtgeslibd is. Aangezien niet expliciet rekening wordt gehouden met de eigenschappen van de inslibbing, zijn representativiteit en nauwkeurigheid niet van belang.

16.8 Dikte granulaire laag

Rol

De dikte van de granulaire laag wordt vaak aangeduid met het symbool b_f , waarbij het subscript f staat voor 'filter'. De dikte speelt op twee manieren een rol in het ontwerp:

- De granulaire laag heeft meestal een uitvulfunctie en soms ook een filterfunctie. Voor de uitvulfunctie is uit uitvoeringstechnisch oogpunt een minimale laagdikte van ongeveer 5 à 10 centimeter nodig. Voor de filterfunctie hangt de dikte af van de eigenschappen van het basismateriaal. Bij de meeste steenzettingen is een filterlaagdikte van 10 centimeter voldoende.

- Een granulaire laag met een dikte van meer dan 10 centimeter heeft een negatieve invloed op de topaaginstabiliteit en een positieve invloed op afschuiving. In het algemeen wordt de uitvullaag zo dun mogelijk gekozen. Als dit een probleem oplevert ten aanzien van afschuiving, wordt er meestal voor gekozen de topaag, de granulaire aanvulling of de kleilaag dikker en/of zwaarder te maken.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De dikte van de granulaire laag heeft grote invloed op het mechanisme topaaginstabiliteit, maar kan in de uitvoering sterk variëren. Daarom is het verstandig om in de ontwerpberoeeningen ten aanzien van topaaginstabiliteit uit te gaan van een veiligheidsmarge. De spreiding in de werkelijk aangelegde dikte is afhankelijk van de werkomstandigheden: in de getijzone zijn de werkomstandigheden moeilijker, waardoor de spreiding groter kan zijn. In een contract wordt vaak een laagdikte van 10 centimeter voorgeschreven. In het ontwerp kan dan bijvoorbeeld worden gerekend met een laagdikte van 15 centimeter (bij makkelijke werkomstandigheden) of van 20 centimeter (bij moeilijke werkomstandigheden).

Bij de ontwerpberoeeningen van afschuiving werkt het andersom: een dunnere laagdikte is ongunstig, dus in de ontwerpberoeeningen voor dit mechanisme moet juist niet met een bovengrens worden gerekend. In de praktijk wordt meestal geen marge aangehouden, maar wordt gewerkt met de ontwerpwaarde.

Als wordt gekozen voor een ontwerpvariant met topaagelementen van onregelmatige hoogte en een vlakke bovenkant (bijvoorbeeld hergebruik van granietblokken of basaltzuilen), is de dikte van de granulaire laag onregelmatig. In dit geval moet in de ontwerpberoeeningen worden gewerkt met de gemiddelde laagdikte. Bijvoorbeeld: als de elementhoogte 10 centimeter varieert, varieert de dikte van de granulaire laag ook 10 centimeter. Als in het contract een minimale waarde van 10 centimeter wordt voorgeschreven, zal de werkelijke gemiddelde laagdikte 15 centimeter bedragen. Ook in dit geval zou nog rekening moeten worden gehouden met de marges van +5 à +10 centimeter.

Meetresultaten van de laagdikte ter plaatse van breeklocaties kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten in relatie tot de vakindeling. De verticale vakindeling is speciaal van belang voor deze parameter, omdat de laagdikte vaak sterk varieert.

Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet voor de toetsing op topaaginstabiliteit worden gerekend met de grootste representatieve waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden, maar voor de toetsing op afschuiving juist met de kleinste.

Wijze van bepaling

Tijdens de uitvoering moet de aannemer voldoen aan de contracteisen voor de laagdikte. Het aantonen en controleren daarvan is een uitvoeringskwestie en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld revisiegegevens of metingen uit een vorige toetsingsronde), omdat de laagdikte niet of nauwelijks verandert. Contractgegevens zijn niet goed bruikbaar voor de toetsing.

Soms is het mogelijk om met behulp van grondradar de dikte van de granulaire laag in beeld te brengen. Variaties in vocht (begroeiing op het talud) en de aanwezigheid van zout water leveren normaliter problemen op bij de interpretatie van radarbeelden. De nauwkeurigheid waarmee grondradar de laagdikte kan bepalen is in de orde van enkele centimeters. Aangezien de granulaire laag in feite een uitvullaag is, kan deze laag sterk variëren zonder dat dat zichtbaar is vanaf het oppervlak. Als grondradar wordt ingezet om het verloop van de dikte van de granulaire laag te bepalen dan zullen breeklocaties nodig zijn als referenties voor de interpretatie. In geval van meerdere granulaire lagen zal de overgang tussen verschillende lagen niet goed zichtbaar zijn, zodat alleen de totale laagdikte kan worden bepaald.

Als de beschikbare gegevens niet voldoen, moet de bekleding worden opengebrouwen; dit wordt in de praktijk meestal gecombineerd met de bepaling van de topplagdikte. Specifiek voor de dikte van de granulaire laag is het belangrijk aparte meetpunten te hebben onderin en bovenin het talud: in de praktijk is daartussen vaak een aanzienlijk verschil. Op elke breeklocatie wordt één waarde van de laagdikte gemeten.

16.9 Materiaaleigenschappen granulaire laag

Rol

Verschillende faalmechanismen zijn van belang:

- De sortering van de granulaire laag is bepalend voor de waterdoorlatendheid ervan: hoe doorlatender, hoe ongunstiger ten aanzien van topplaginstabiliteit. In de ontwerpgereedschappen wordt de doorlatendheid ingevoerd door twee parameters: de karakteristieke korreldiameter D_{15} en de porositeit n . Grotere waarden voor D_{15} én voor n zijn ongunstig met het oog op topplaginstabiliteit.
- De porositeit n is van belang voor het mechanisme afschuiving, omdat het gewicht van de granulaire laag erdoor wordt bepaald: een grotere porositeit is ongunstig uit het oogpunt van afschuiving. Daarnaast is ook de dichtheid van het materiaal van belang: een grote dichtheid is gunstig uit het oogpunt van afschuiving.
- Materiaaltransport is van belang als de granulaire laag een filterfunctie heeft. Voor het voorkomen van materiaaltransport vanuit de onderliggende laag is voor de granulaire laag een maat voor de fijne fractie van belang. Vaak wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameter D_{f15} (het subscript f wordt alleen gebruikt als de parameter van belang is voor de filterfunctie).
- Fijn materiaal in de granulaire laag kan in combinatie met te grote openingen in de topplag leiden tot materiaaltransport vanuit de granulaire laag.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

In de praktijk wordt gewerkt met standaardsorteringen. In het ontwerp moet worden uitgegaan van de waarden voor D_{15} en porositeit die horen bij de standaardsortering (in de uitvoering moeten deze natuurlijk worden aangetoond). Bij grind en steenslag is de kleinste standaardsortering 2/6 mm, de grootste standaardsortering is 20/40 mm voor grind en 22/32 mm voor steenslag. Voor de porositeit wordt normaal gesproken gerekend met 0,35. De minimaal benodigde sortering om materiaaltransport vanuit de granulaire laag te voorkomen, wordt bepaald door de afmetingen van de openingen in de topplag en door de topplagdikte.

Vanwege uitvoeringsonzekerheden is het verstandig voor de ontwerpberekeningen bij de korreldiameter D_{15} rekening te houden met een veiligheidsmarge van +2 à +3 mm, in lijn met de normen. In combinatie daarmee kan voor de porositeit worden uitgegaan van de standaardwaarde voor de betreffende sortering.

In het algemeen wordt bij het ontwerp op topplaaginstabiliteit en op materiaaltransport gewerkt met een korreldiameter D_{15} die op 1 mm nauwkeurig is afgerond. De waarde voor de porositeit wordt in het algemeen op 5 procentpunten nauwkeurig afgerond.

De gemeten waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de toetsing, dus zonder veiligheidsfactoren. Wel moet zorgvuldig worden omgegaan met de ruimtelijke samenvoeging van meetpunten in relatie tot de vakindeling (zie paragraaf 3.3). Als binnen één toetsvak meerdere meetpunten liggen, moet voor de toetsing worden gerekend met de grootste representatieve waarde die bij de verschillende meetpunten is gevonden.

In het algemeen wordt bij de toetsing van steenzettingen gewerkt met een korreldiameter D_{15} die op 1 mm nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Tijdens de uitvoering moet de aannemer voldoen aan de contracteisen voor de materiaaleigenschappen. Het aantonen en controleren daarvan is een uitvoeringskwestie en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

Meetgegevens uit het archief kunnen volstaan voor de toetsing, ook als ze enkele jaren oud zijn (bijvoorbeeld uit een vorige toetsingsronde of revisiegegevens), omdat de korrelgrootteverdeling niet of nauwelijks verandert. Alleen bij transport van materiaal door de top laag heen naar buiten kan de samenstelling veranderen; in dat geval mogen alleen zeer recente meetresultaten worden gebruikt. Overigens moet in dat geval een score 'onvoldoende' worden gegeven op materiaaltransport vanuit de granulaire laag. Contractgegevens zijn niet goed bruikbaar voor de toetsing.

Grondradar kan mogelijk in bepaalde omstandigheden worden gebruikt om na te gaan of zich tussen breeklocaties scherpe overgangen in de doorlatendheid van de granulaire laag bevinden.

Als de beschikbare gegevens niet voldoen, moet de bekleding worden opengebroken; dit wordt in de praktijk meestal gecombineerd met de bepaling van de top laagdikte. Een praktische manier om een goede indruk te krijgen van de korrelverdeling is: per breeklocatie orde tien korrels opmeten. Daarbij moeten tien relatief kleine korrels worden gekozen. De kleinste gemeten diameter is een goede indicatie van de karakteristieke korreldiameter D_{15} . Bij deze wijze van bepaling moet goed worden opgelet dat alleen korrels worden gemeten die deel uitmaken van de granulaire laag; bij het openbreken van de top laag kan het inwasmateriaal in de granulaire laag terechtkomen.

De bovenstaande praktische werkwijze kan worden geverifieerd door op enkele breeklocaties een groot monster te nemen (orde 5 kg) en daarop een volledige korrelverdelingsanalyse uit te voeren in een laboratorium.

16.10 Porositeit granulaire laag

Rol

De porositeit van de granulaire laag speelt een rol in de volgende toetsingen:

- Toplaaginstabiliteit onder golfaanval: in de gedetailleerde toetsing wordt expliciet rekening gehouden met de waterdoorlatendheid van de granulaire laag; de porositeit is daarvoor bepalend, samen met de karakteristieke korreldiameter D_{15} . Grotere waarden voor n leiden tot een grotere kans op topplaaginstabiliteit;
- Afschuiving: gedetailleerd.

Wijze van bepaling

De porositeit wordt niet in het veld bepaald, maar bij de toetsing wordt gewerkt met de conservatieve standaardwaarden uit tabel 16-3.

Tabel 16-3: Standaardwaarden porositeit van de granulaire laag

materiaalsoort	porositeit [-]
puin	0,40
steenslag	0,35
gesorteerde mijnsteen	0,30
ongesorteerde mijnsteen	0,20

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De standaardwaarden uit tabel 16-3 zijn bedoeld als conservatieve waarden die kunnen worden gebruikt bij de toetsing.

16.11 Vlijlaag

Rol

Materiaaltransport vanuit de ondergrond: als een vlijlaag van minimaal twee lagen baksteen in goede staat op de ondergrond van klei of keileem ligt, kan een score 'goed' worden gegeven voor materiaaltransport vanuit de ondergrond.

Wijze van bepaling

De aanwezigheid van een vlijlaag kan worden afgeleid uit contractgegevens, maar daaruit volgt natuurlijk geen informatie over de staat. Die kan wellicht wel volgen uit oude meetgegevens in het archief.

Aanwezigheid, staat en aantal lagen kunnen ook worden bepaald door de bekleding open te breken.

16.12 Eigenschappen geokunststof

Rol

Voor het ontwerp van een geokunststof zijn de volgende eigenschappen van belang:

- karakteristieke openingsgrootte O_{90} (van belang voor grondichtheid);
- dikte T_g en permittiviteit ψ (van belang voor waterdoorlatendheid);
- treksterkte, rek bij breuk, doordrukkracht (van belang voor uitvoeringssterkte).

De rol van deze parameters spreekt grotendeels voor zichzelf: een grote openingsgrootte is ongunstig met het oog op materiaaltransport en grotere sterkteparameters zijn gunstig met het oog op de uitvoering. De rol van de parameter permittiviteit behoeft wel enige toelichting: dit is een ontwerpeigenschap die wordt bepaald met een standaard laboratoriumproef waarin wordt vastgesteld welk verval (Δh) overeenkomt met een filtersnelheid (v_f) van 10 mm/s. De permittiviteit is het quotiënt van de filtersnelheid en het gemeten verval. Een grote waarde voor de permittiviteit betekent dus dat het geokunststof een grote waterdoorlatendheid heeft.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Een geokunststof wordt geleverd als een compleet product, waarvan de ontwerpeigenschappen zijn gemeten bij laboratoriumproeven. In de praktijk worden buiten de ontwerpregels geen veiligheidsmarges aangehouden. De berekende waarden voor de ontwerpparameters worden rechtstreeks in het contract opgenomen.

In de praktijk wordt gewerkt met waarden die zijn afgerond met de volgende nauwkeurigheden:

- Openingsgrootte O_{90} : 10 μm ;
- Dikte T_g : 0,1 mm;
- Permittiviteit ψ : 0,1 s^{-1} ;
- Treksterkte : 1 kN/m;
- Rek bij breuk : 10 %;
- Doordrukkracht : 1 kN.

Wijze van bepaling

Tijdens de uitvoering moet de aannemer voldoen aan de contracteisen voor het geokunststof. Het aantonen en controleren daarvan is een uitvoeringskwestie en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

16.13 Eigenschappen granulaire aanvulling

Ontwerpeigenschap of randvoorwaarde

Deze laag kan op twee manieren een rol spelen in het ontwerp van een steenzetting. In het ene geval is de granulaire aanvulling aanwezig in het grondlichaam waarop de steenzetting moet komen; het aanwezige materiaal is dan een randvoorwaarde voor het ontwerp. In het andere geval wordt de granulaire aanvulling bewust in het ontwerp opgenomen om het talud te verflauwen of om de weerstand tegen afschuiving te vergroten. In dat geval is de granulaire aanvulling een deel van het ontwerp en kunnen de eigenschappen worden gekozen.

Rol

Meestal wordt op de granulaire aanvulling een granulaire laag aangebracht. De opwaartse druk die zich daarin kan opbouwen, kan zorgen voor topaaginstabiliteit. De granulaire aanvulling is niet waterdicht, zodat de waterdruk zich ook daarin kan voortplanten. Net als bij de granulaire laag geldt dus voor de granulaire aanvulling dat een grote laagdikte, een grote karakteristieke korrelgrootte D_{15} en een grote porositeit ongunstig zijn ten aanzien van topaaginstabiliteit. In de ontwerpberekeningen kan de granulaire aanvulling als 'tweede granulaire laag' worden opgenomen.

Ook ten aanzien van afschuiving heeft de granulaire aanvulling dezelfde rol als de granulaire laag. Een grote laagdikte is gunstig; daarnaast zijn een grote dichtheid en een kleine doorlatendheid in theorie van belang, maar in de praktijk minder relevant.

De granulaire aanvulling heeft een filterfunctie en speelt daarom een rol in het mechanisme materiaaltransport. Als de onder- en bovenliggende lagen granulaair zijn, moet de korrelverdeling van de granulaire aanvulling daarop worden afgestemd. Voor het voorkomen van materiaaltransport vanuit de onderliggende laag (het basismateriaal) is de fijne fractie van belang. Vaak wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameter D_{15} . Voor het voorkomen van materiaaltransport vanuit de granulaire aanvulling zelf naar de bovenliggende laag is de gemiddelde of grove fractie van belang. Afhankelijk van de ontwerpregel wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameters D_{50} , D_{60} , D_{85} en D_{90} .

Voor het voorkomen van materiaaltransport vanuit de onderliggende laag is voor de granulaire laag de fijne fractie van belang. Vaak wordt gewerkt met de karakteristieke korreldiameter D_{15} .

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De rol van de granulaire aanvulling is vergelijkbaar met de rol van de granulaire laag. Het ligt daarom voor de hand om op dezelfde manier om te gaan met onzekerheden en nauwkeurigheden.

Bij een bestaande granulaire aanvulling moeten representatieve waarden van de aanwezige laagdikte, D_{15} en porositeit worden bepaald. Daarmee kunnen de ontwerpberekeningen van de steenzetting worden gemaakt. Bij berekeningen ten aanzien van toplaaginstabiliteit is het verstandig te werken met een bovengrens voor de laagdikte en de korrelgrootte D_{15} (bijvoorbeeld de waarde die door 5% van de metingen wordt overschreden of de grootste gemeten waarde). In dat geval kan voor de porositeit worden gerekend met de gemiddelde waarde. Bij berekeningen van afschuiving is het verstandig te werken met een ondergrens voor de laagdikte (bijvoorbeeld de waarde die door 5% van de metingen wordt onderschreden of de kleinste gemeten waarde).

Bij een nieuw aan te brengen aanvulling kunnen ontwerpwaarden worden voorgeschreven, maar moet in het ontwerp van de steenzetting rekening worden gehouden met uitvoeringsonzekerheden. Het is verstandig te rekenen met een marge van +5 à +10 centimeter op de laagdikte en een marge van +2 à +3 mm op de korrelgrootte D_{15} .

Wijze van bepaling

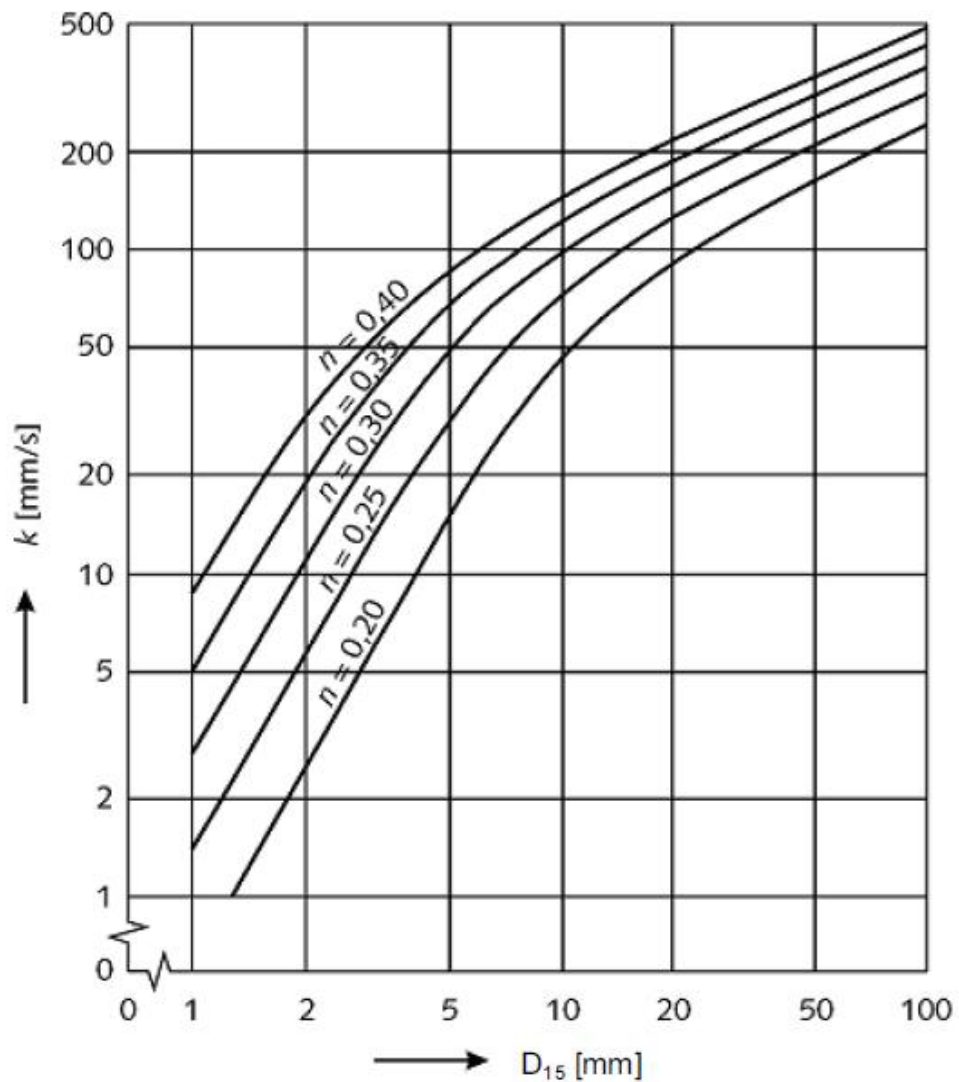
Bij een bestaande granulaire aanvulling is in sommige gevallen oude contractinformatie bekend, waaruit laagdikte, karakteristieke korrelgrootte D_{15} en porositeit n kunnen worden afgeleid. Zo niet, dan kan door metingen in het veld van de korrelgrootte D_{15} en de doorlatendheid k een indruk worden gekregen van de porositeit. De relatie tussen porositeit n , korrelgrootte D_{15} en doorlatendheid k is te vinden in Figuur 16-1. De doorlatendheid k wordt uitgedrukt in mm/s, en kan worden benaderd door de zaksnelheid van water. De zaksnelheid kan worden bepaald door een hoeveelheid water tussen dichte wanden op de granulaire aanvulling te gieten en te meten hoe snel de waterspiegel zakt. Deze meting kan het makkelijkst worden uitgevoerd als de oude toplaag nog aanwezig is door enkele elementen te verwijderen.

Bij een nieuw aan te brengen granulaire aanvulling moet de aannemer tijdens de uitvoering voldoen aan de contracteisen. Het aantonen en controleren daarvan is een uitvoeringskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de eenvoudige toetsing is alleen de kwalitatieve vraag van belang of de toplaag al dan niet "vol en zat" gepenetreerd is met een goede hechting. Omdat normaal gesproken niet expliciet rekening wordt gehouden met kwantitatieve eigenschappen van de penetratie, zijn representativiteit en nauwkeurigheid niet van belang.

Bekledingsconstructies bevatten in sommige gevallen twee of zelfs meer granulaire lagen. Tenzij apart vermeld, is de informatie in deze paragraaf geldig voor elk van de granulaire lagen in de bekledingsconstructie.



Figuur 16-1: Doorlatendheid van de granulaire laag

16.14 Dikte cohesieve laag

Rol

De dikte van de cohesieve laag speelt een rol in de volgende toetsingen:

- Afschuiving: gedetailleerd;
- Erosie van de onderlagen: gedetailleerd.

De cohesieve laag is meestal een kleilaag.

Wijze van bepaling

In contract- en revisietekeningen kan meestal een laagdikte worden gevonden voor de cohesieve laag, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig. Toetsing op basis van ontwerpwaarden van het basismateriaal wordt daarom afgeraden. In de meeste gevallen zal het nodig zijn om boringen te verrichten.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De laagdikte kan in de praktijk sterk per plaats variëren; bij de toetsing van steenzettingen wordt daarom vaak uitgegaan van de kleinste gemeten dikte, afgerond op 0,1 meter.

16.15 Korrelgrootteverdeling cohesieve laag

Rol

Materiaaltransport vanuit de ondergrond: in de gedetailleerde toetsing zijn de karakteristieke korreldiameters D_{50} en D_{90} van belang. Hoe groter de diameters, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

In contract- en revisietekeningen kunnen wellicht soms gegevens worden gevonden over de samenstelling van de cohesieve laag, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig. Toetsing op basis van ontwerpwaarden van het basismateriaal wordt daarom afgeraden.

Als gedetailleerde toetsing op materiaaltransport nodig is, zullen de karakteristieke korreldiameters moeten worden bepaald door middel van laboratoriumonderzoek van boringen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt in de toetsing.

16.16 Erosiebestendigheid van de klei

Rol

Erosie van de onderlagen: de erosiebestendigheid van de klei, uitgedrukt in de categorieën 'goed' / 'erosiebestendig' (c1), 'matig erosiebestendig' (c2) en 'weinig erosiebestendig' (c3), speelt een rol in de gedetailleerde toetsing.

De erosiebestendigheidscategorie volgt uit de plasticiteitsindex I_p , de vloeigrens W_l , het zandgehalte Z_k en het kalkgehalte.

Voor de categorie 'goed' moet worden voldaan aan elk van de volgende vier eisen:

- $W_l > 45\%$;
- $I_p > 0,73 \times (W_l - 20)\%$;
- $Z_k < 40\%$;
- kalkgehalte $< 25\%$.

Voor de categorie 'matig' hoeft de vloeigrens W_l niet kleiner dan 45% te zijn, maar moet wel voldaan zijn aan elk van de volgende drie eisen:

- $I_p > 18\%$;
- $Z_k < 40\%$;
- kalkgehalte $< 25\%$.

In alle andere gevallen moet de categorie 'weinig erosiebestendig' worden aangehouden. In het Technisch Rapport Klei voor Dijken [3] en Deel 5 Grasbekledingen van deze Handreiking [34] wordt verder ingegaan op de erosiebestendigheid van klei.

Wijze van bepaling

Archiefgegevens zijn alleen betrouwbaar voor deze parameter als de proeven tamelijk recent zijn uitgevoerd (bijvoorbeeld minder dan vijf jaar geleden). Overigens moet dit per geval worden bekeken.

Als toetsing op erosie van de onderlagen nodig is, zal de erosiebestendigheidscategorie moeten worden bepaald met laboratoriumonderzoek op boringen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De in het laboratorium vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt voor de vaststelling van de erosie categorie.

16.17 Korrelgrootteverdeling zandkern

Rol

- Afschuiving: de karakteristieke korreldiameter D_{15} speelt een rol in de gedetailleerde toetsing: hoe grover hoe gunstiger;
- Materiaaltransport: als de ondergrond van de steenzetting uit zand bestaat, zijn in de gedetailleerde toetsing de karakteristieke korreldiameters D_{50} en D_{90} van belang. Hoe groter de diameters, hoe gunstiger.

Wijze van bepaling

In contract- en revisietekeningen kunnen wellicht soms gegevens worden gevonden over de samenstelling van de zandkern, maar in de praktijk zijn deze gegevens meestal niet nauwkeurig of volledig. Toetsing op basis van ontwerpwaarden van het basismateriaal wordt daarom afgeraden. Als gedetailleerde toetsing op materiaaltransport nodig is, zullen de karakteristieke korreldiameters moeten worden bepaald met laboratoriumonderzoek op boringen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

De vastgestelde waarden kunnen rechtstreeks worden gebruikt in de toetsing.

Literatuur

1. Waterwet, http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/geldigheidsdatum_01-10-2013
2. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Filters in de waterbouw, rapport 161, CUR, Gouda, 1993
3. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Klei voor Dijken, Delft, 1996
4. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding, Delft, 1998
5. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Grasmatt als dijkbekleding, Delft, 1999
6. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Leidraad Zee- en Meerdijken, Delft, december 1999
7. Keuzemodel kust- en oeverwerken, eindrapport fase 1 & 2, Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, juli 2000
8. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technische Rapport Waterkerende Grondconstructies, Delft, 2001
9. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken, Delft, mei 2002
10. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren, Delft, 2002
11. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Technisch Rapport Steenzettingen, Delft, 2003
12. Project Ecozuilen Eindrapport monitoring 2001-2002, Meetinformatiedienst Zeeland rapportnr ZLMD-03.N.006, Vlissingen, 2003
13. M. D. Davidson, R.C.W. Wit: Weging in DuboCalc – Toepasbaarheid van depreventiemethodiek, Delft, 2003
14. NEN 7024: Zetsteen van beton, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 2005
15. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV2006) voor de derde toetsronde 2006-2011, Den Haag, 2007.
16. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Hydraulische Randvoorwaarden Primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006 - 2011 (HR2006), ISBN 978-90-369-5761-8, Den Haag, 2007.
17. CIRIA, CUR, CETMEF, The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). C683, (2007), London
18. Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW), Technisch Rapport Duinafslag, ENW, 2007
19. Ontwerp en benutting van harde infrastructuur in de getijzone voor ecologische en recreatieve waarden, WL/Delft Hydraulics, Delft, 2007
20. Expertise Netwerk Waterkeren (ENW), Leidraad Rivieren, Delft, april 2007. Bij deze leidraad horen de volgende ENW Technische Rapporten: Technisch Rapport Ontwerpbelastingen, Technisch Rapport Ruimtelijke Kwaliteit en Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.
21. Steentoets 2008, Deltares, www.helpdeskwater.nl.
22. Overzicht DuboCalc, 2009, <http://duurzaambouwen.senternovem.nl>
23. Handleiding STEENTOETS, Deltares, Delft, 2009.
24. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR), Geokunststoffen in de waterbouw, rapport 174, CUR, Gouda, 2009.
25. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, State of the art asfaltdijkbekledingen, rapport 2010-W06, Amersfoort, 2010.
26. Bureau Waardenburg, Planten en wiergemeenschappen op de Westerscheldedijken. Projectbureau Zeeweringen, rapport nr. 11-037, Middelburg/Culemborg, 2011, www.zeeweringen.nl/downloads/diversen

27. Criteria voor toepassing van bekledingen op waterkeringen. Hulpmiddel voor ontwikkeling van innovatieve dijkbekledingen. Deltares en Witteveen+Bos 2010.
28. M. Klein Breteler, Documentatie Steentoets2008 en Steentoets2010. Deltares, Delft 2012.
29. Toetsen Grasbekledingen op Dijken. Deltares, Delft, 2012.
30. Handreiking Dijkbekledingen, deel 1: Algemeen, Deltares, januari 2015.
31. Handreiking Dijkbekledingen, deel 2: Steenzettingen, Deltares, januari 2015.
32. Handreiking Dijkbekledingen, deel 3: Asphaltbekledingen, Deltares, januari 2015.
33. Handreiking Dijkbekledingen, deel 4: Breuksteenbekledingen, Deltares, januari 2015.
34. Handreiking Dijkbekledingen, deel 5: Grasbekledingen, Deltares, januari 2015.
35. EurOtop - Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual. Die Küste, Heft 73, Jahr 2007. ISBN 978-3-8042-1064-6. Bodyens Medien GmbH & Co Heide i. Holstein. August 2007, <http://www.overtopping-manual.com/eurotop.pdf>.
36. Stabiliteit van steenzettingen bij golfaanval, Samenvatting van onderzoeksresultaten 2003 – 2013. Deltares, Delft, 2013.

COLOFON

Opdrachtgever Informatie	Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen Helpdesk Water T 0800-NLWATER (0800-6592837) contact@helpdeskwater.nl www.helpdeskwater.nl
Datum	Januari 2015