

Technisch Rapport

Steenzettingen

ONTWERP

TAW

Technische
Adviescommissie voor de
Waterkeringen

Technisch Rapport

Steenzettingen

ONTWERP

voor het toetsen van steenzettingen, zie het deel **TOETSING**

voor achtergrondinformatie en onderbouwing, zie het deel **ACHTERGRONDEN**

Voorwoord

Als opvolger van de *Leidraad Cementbetonnen Dijkbekledingen* (1984) verscheen in 1992 het *Handboek voor dimensionering van gezette talusbekledingen*. Dit handboek was eerder theoretisch dan praktisch van opzet. Mede door de actuele grootschalige dijkverbeteringswerkzaamheden ontstond bij veel gebruikers dan ook de behoefte aan een handboek dat beter zou aansluiten op de alledaagse praktijk van het toetsen en ontwerpen van gezette steenbekledingen.

Om deze reden werd in 1999 de aanzet gegeven tot het opstellen van voorliggend *Technisch Rapport Steenzettingen*. Onder coördinatie van de Bouwdienst Rijkswaterstaat zijn door verschillende auteurs bijdragen geleverd. Het rapport is inhoudelijk beoordeeld door de Klankbordgroep Steenbekledingen van de Werkgroep Techniek van de TAW, onder voorzitterschap van ir. L. Philipse.

Het *Technisch Rapport Steenzettingen* bestaat uit de drie onafhankelijke delen, Ontwerp, Toetsing en Achtergronden. In de praktisch georiënteerde delen Ontwerp en Toetsing wordt basisinformatie over steenzettingen gegeven en worden respectievelijk het ontwerp- en het toetsproces stapsgewijs doorlopen. Daarbij zijn ook enige voorbeelden uitgewerkt. Het deel Achtergronden gaat nader in op de theoretische grondslagen. Deze informatie is niet direct nodig bij het ontwerpen of toetsen, maar geeft wel extra inzicht. Het *Technisch Rapport Steenzettingen* is daarmee een complete weergave van de huidige kennis op het gebied van steenzettingen en is tevens afgestemd op het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV02)*.

De TAW acht het *Technisch Rapport Steenzettingen* een goede opvolger van het *Handboek voor dimensionering van gezette talusbekledingen* en verwacht dat het ruimschoots aan de behoefte van de gebruikers zal voldoen.

ir. W. van der Kleij
Voorzitter TAW

TECHNISCH RAPPORT STEENZETTINGEN
DEEL ONTWERP
DWW-2003-097
ISBN 90-369-5551-3
december 2003

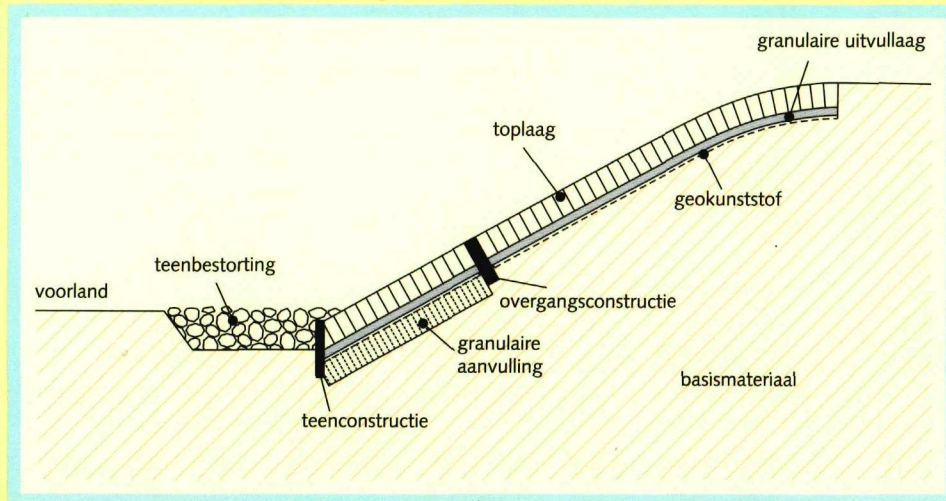
opdrachtgever	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat opdrachtbegeleider ir. Kees Dorst
opgesteld door	Royal Haskoning Nederland bv, Nijmegen projectleider ir. Jaap-Jeroen Flikweert
inhoudelijke bijdragen	expertisegroep en gebruikersgroep steenzettingen <i>(zie blz. 200)</i>
communicatie-advies en realisatie	Words at Work Bedrijfscommunicatie bv, Amstelveen coördinator drs. André Doesburg

omslag
Het Firmament

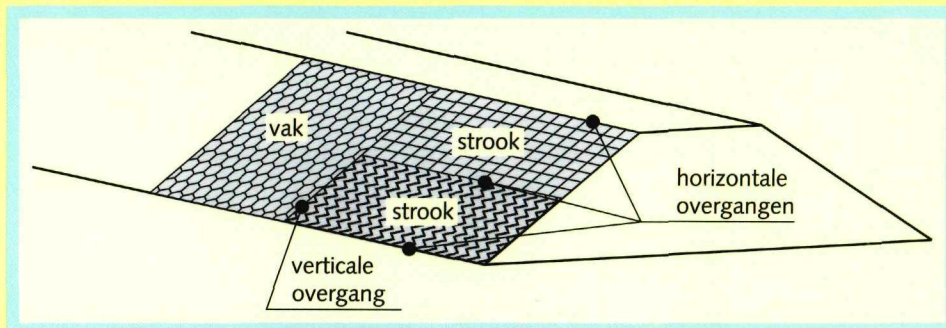
figuren
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde / Royal Haskoning / Words at Work Bedrijfscommunicatie bv

foto's
Altena Weg en Waterbouw bv / Geodelft / Greenbanks Erosion Control / Projectbureau Zeeweringen
Royal Haskoning / Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde / WL|Delft Hydraulics / Waterschap Zeeuwse Eilanden

Basisopbouw en vakverdeling steenzettingen



Bovenstaande figuur geeft de basisopbouw van een bekledingssysteem weer. De ondergrond van de steenzetting wordt gevormd door het basismateriaal – de bovenste laag van het grondlichaam, soms voorzien van een granulaire aanvulling van breed gegradeerd materiaal. Daarop ligt meestal een filterlaag – granulair of van geokunststof – die uitspoeling moet voorkomen. Onder de toplaag – die wordt gevormd door de gezette elementen – is meestal een granulaire uitvullaag aanwezig. Aan de onderkant ondersteunt een teenconstructie de bekleding, vaak geholpen door een teenbestorting. Overgangen tussen verschillende bekledingstypen worden mogelijk gemaakt door overgangsconstructies. Overgangen naar andere constructies heten aansluitingsconstructies.



In bovenstaande figuur staat de basisverdeling van een projectgebied in vakken en stroken. Met een projectgebied worden niet alleen de bekledingen bedoeld, maar ook de aansluitende horizontale en verticale overgangen. Een vak is een gedeelte van een dijk, dam of oever tussen twee verticale overgangen. Voor vak worden ook termen gebruikt als dijkvak, toetsingsvak, randvoorwaardenvak en bekledingsvak. Een strook is een gedeelte van de bekleding tussen twee horizontale overgangen.

Inhoud

Voorwoord	5
Inhoud	7
Inleiding deel Ontwerp	15
i.1 KADER TECHNISCH RAPPORT STEENZETTINGEN	15
i.2 HET DEEL ONTWERP: DOEL, GEBRUIKERS EN OPBOUW	16
i.3 STEENZETTINGEN WAARVOOR HET DEEL ONTWERP TOEPASBAAR IS	17
SECTIE I BASISINFORMATIE OVER STEENZETTINGEN	19
1 Functies van een steenzetting	21
1.1 PRIMAIRE FUNCTIE: VEILIGHEID DOOR BESCHERMING TEGEN EROSIE	21
1.2 OVERIGE FUNCTIES VAN EEN STEENZETTING	21
1.3 PRIMAIRE FUNCTIE IN RELATIE TOT DE OVERIGE FUNCTIES	24
2 Constructieonderdelen steenzetting	25
2.1 BEKLEDINGSSYSTEEM	25
2.1.1 Toplaag van standaardelementen	26
2.1.2 Toplaag van aanverwante bekledingstypen	32
2.1.3 Inwasmateriaal	35
2.1.4 Granulaire laag	35
2.1.5 Geokunststof	36
2.1.6 Granulaire aanvulling	37
2.1.7 Basismateriaal	38
2.2 OVERIGE CONSTRUCTIEONDERDELEN	38
2.2.1 Teenbestorting	38
2.2.2 Teenconstructies	38
2.2.3 Overgangsconstructies	39
2.2.4 Aansluitingsconstructies	39
2.2.5 Berm, bovenbeloop, kruin, binnentalud, overlaten en kribben	39
3 Faalmechanismen steenzetting	41
3.1 FALEN BEKLEDING VERSUS FALEN WATERKERING	41
3.2 FALEN STEENZETTING DOOR TOPLAAGINSTABILITEIT	41
3.2.1 Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking	42
3.2.2 Toplaaginstabiliteit door golfklap	44
3.2.3 Toplaaginstabiliteit door langsstroming	45
3.2.4 Toplaaginstabiliteit door golfoploop	45
3.2.5 Falen van steenzetting op een berm	46
3.3 FALEN STEENZETTING DOOR AFSCHUIVING	47
3.4 FALEN STEENZETTING DOOR MATERIAALTRANSPORT	49
3.4.1 Materiaaltransport vanuit de ondergrond naar de granulaire laag	49
3.4.2 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag	51

3.5	FAALMECHANISMEN VAN AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN	52
3.5.1	Falen van geschakelde steenzettingen	52
3.5.2	Falen van doorgroeistenen	52
3.5.3	Falen van ingegoten steenzettingen	52
3.5.4	Falen van breuksteenoverlagingen	53
3.6	FALEN DOOR NIET-HYDRAULISCHE BESCHADIGING	55
3.7	FALEN DOOR OF VAN TEEN-, OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES	55
3.7.1	Falen door teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie.	55
3.7.2	Falen van teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie	57
SECTIE II ONTWERPPROCES		59
4	Vorbereiding ontwerp	61
4.1	OPSTELLEN PROGRAMMA VAN EISEN	61
4.1.1	Eisen en wensen vanuit de techniek	61
4.1.2	Eisen en wensen vanuit de omgeving.	62
4.2	VERZAMELEN GEGEVENS	64
4.2.1	Verschillen in gegevens voor ontwerp en toetsing	64
4.2.2	Methodes van gegevensverzameling	65
4.2.3	Belangrijke instanties en gegevensbronnen	65
4.3	INDELEN IN VAKKEN EN STROKEN	66
4.3.1	Criteria voor de indeling in ontwerpvakken (lengterichting).	66
4.3.2	Criteria voor de indeling in bekledingsvakken (verticale richting)	67
5	Ontwerp bekleding	71
5.1	VOORSELECTEREN BEKLEDINGSTYPEN	71
5.2	KIEZEN EN ONTWERPEN FILTERCONSTRUCTIE (DIMENSIONEREN OP MATERIAALTRANSPORT)	73
5.2.1	Principes filterontwerp	74
5.2.2	Keuze wel of geen filter	75
5.2.3	Keuze geokunststof of granulaair filter.	76
5.2.4	Keuze soort geokunststof of granulaair filter en dimensionering	76
5.3	DIMENSIONEREN OP TOPLAAGINSTABILITEIT – STANDAARD STEENZETTINGEN	78
5.3.1	Verschil hergebruik en nieuw aan te voeren toplaagelementen	79
5.3.2	Standaardelementen op granulaire laag - hergebruik	79
5.3.3	Standaardelementen op granulaire laag - nieuw aan te voeren	81
5.3.4	Standaardelementen zonder granulaire laag	83
5.4	DIMENSIONEREN OP TOPLAAGINSTABILITEIT - AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN	85
5.4.1	Blokkenmatten	85
5.4.2	Doorgroeistenen	85
5.4.3	Ingegoten steenzetting	86
5.4.4	Overlaging met breuksteen.	86
5.4.5	Steenzettingen met afstandhouders.	88
5.4.6	Steenzettingen met ruwheidselementen	88

5.5	SAMENSTELLEN DWARSPROFIELVARIANTEN	89
5.5.1	Samenvatten toepasbare bekledingen in overzichtstabel	89
5.5.2	Beschikbaarheid van toplaagelementen	90
5.5.3	Samenstellen van dwarsprofielen	91
5.6	CONTROLLEREN OP AFSCHUIVING	91
5.6.1	Controle op afschuiving	91
5.6.2	Maatregelen tegen afschuiving	94
5.7	AFWEGEN VARIANTEN EN KIEZEN BEKLEDING	94
5.7.1	Plus/min-criteria	94
5.7.2	Vergelijking en keuze	97
6	Ontwerp overige constructieonderdelen	99
6.1	TEENBESTORTING	99
6.2	TEENCONSTRUCTIE	102
6.3	OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES	103
6.4	BEKLEDING BERM	107
6.5	BEKLEDING BUITENTALUD IN GOLFOPLOOPZONE	109
6.6	BEKLEDING KRUIJN BOVEN ONTWERPPEIL EN BINNENTALUD	110
6.7	BEKLEDING OVERSTROOMBARE KRUIJN EN BINNENTALUD	111
7	Overdracht naar bestek en uitvoering	113
7.1	SAMENWERKING ONTWERPERS, BESTEKSCHEUVERS EN DIRECTIE	113
7.2	SPECIFIEKE AANDACHTSPUNTEN	113
	SECTIE III VOORBEELDEN	115
8	Voorbeeld zeedijk	117
8.1	PROJECTOMSCHRIJVING	117
8.2	ONTWERPCONDITIES	117
8.2.1	Golfrandvoorwaarden	118
8.2.2	Milieu	118
8.3	KEUZE BEKLEDINGSTYPEN	119
8.3.1	Beschikbaarheid	119
8.3.2	Voorselectie	120
8.3.3	Technische toepasbaarheid	120
8.3.4	Ecologische toepasbaarheid	121
8.3.5	Alternatieven	122
8.3.6	Afweging en keuze	122
8.4	NADERE DIMENSIONERING	123
8.4.1	Teenschot en teenbestorting	123
8.4.2	Steenzetting	123
8.4.3	Overgangsconstructies	125
8.4.4	Onderhoudsstrook	125
8.5	SAMENVATTING	126

9	Voorbeeld meerdijk	127
9.1	VOORBEREIDING	127
9.1.1	Programma van eisen	127
9.1.2	Verzamelen gegevens	128
9.1.3	Vaststellen vakindeling	128
9.2	ONTWERP BEKLEDING	130
9.2.1	Voorselectie bekledingstypen	130
9.2.2	Keuze en ontwerp van de filterconstructie	131
9.2.3	Dimensionering op toplaagstabiliteit	133
9.2.4	Samenstellen varianten	134
9.2.5	Weerstand tegen afschuiven	136
9.2.6	Afweging en keuze bekleding per vak	136
9.3	ONTWERP OVERIGE ONDERDELEN	137
9.3.1	Overgangs- en aansluitingsconstructies	137
9.3.2	Berm	137
9.3.3	Buitentalud boven ontwerppeil	139
9.4	OPMERKINGEN BIJ HET VOORBEELD	141
BIJLAGEN		143
bijlage A Varianten van bekledingssystemen		145
bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen		147
B.1	HYDRAULISCHE BELASTING	147
B.1.1	Golfhoogte	149
B.1.2	Golfperiode	150
B.1.3	Golf lengte	151
B.1.4	Golfinvalshoek	151
B.1.5	Waterstand	151
B.1.6	Stromingsbelasting	152
B.1.7	Dichtheid water	153
B.1.8	Brekerparameter	154
B.1.9	Golfoploopniveau	154
B.2	AANWEZIGE SITUATIE	154
B.2.1	Grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak	155
B.2.2	Taludhelling	155
B.2.3	Voorlandhoogte	156
B.2.4	Bestaande, aansluitende constructies	157
B.2.5	Eigenschappen basismateriaal	157
B.3	TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE STEENZETTING	158
B.3.1	Eigenschappen inwasmateriaal	158
B.3.2	Open ruimte tussen toplaagelementen	159
B.3.3	Toplaagdikte (=toplaagelementhoogte)	160
B.3.4	Dichtheid toplaagelementen	161
B.3.5	Klemfactor toplaagelementen	163
B.3.6	Weerstand tegen golfoploop	163
B.3.7	Wrijvingscoëfficiënt toplaag-ondergrond	163
B.3.8	Dikte granulaire laag	164
B.3.9	Materiaaleigenschappen granulaire laag	165

B.3.10	Eigenschappen geokunststof	166
B.3.11	Eigenschappen granulaire aanvulling	166
B.4	BREUKSTEENOVERLAGING	168
B.4.1	Steendiameter	168
B.4.2	Permeabiliteit.	169
bijlage C	Milieueffectrapportage bij het ontwerpen	171
C.1	MILIEUEFFECTRAPPORTAGE (M.E.R.)	171
C.1.1	M.e.r.-plicht	171
C.1.2	M.e.r.-beoordelingsplicht	171
bijlage D	Dimensionering van een filterconstructie	173
D.1	MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND	173
D.1.1	Granulair filter	173
D.1.2	Geokunststof.	174
D.1.3	Granulair filter op een geokunststof	174
D.2	MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE GRANULAIRE LAAG	176
D.2.1	Geometrisch-dichtheid	176
D.2.2	Hydraulisch-dichtheid	176
D.3	INTERNE STABILITEIT VAN DE GRANULAIRE LAAG	177
bijlage E	Het gebruik van ANAMOS	179
E.1	OPZET EN HUIDIGE TOEPASSING ANAMOS.	179
E.2	TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL	179
E.3	MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND	179
E.4	INVOER VAN ANAMOS	180
bijlage F	Toplaaginstabiliteit zonder granulaire laag.	183
bijlage G	Rekenmethode overlaging losse breuksteen	185
bijlage H	Rekenprocedure steenzetting op/boven berm	187
Symbolen	191
Begrippen	193
Samenstelling expertisegroep en gebruikersgroep steenzettingen		200
Register	201
Bibliografie	205

Figuren

Figuren in de hoofdtekst

- 1.1 Opbouw van een bekledingssysteem 20
- 1.2 Verdeling van een projectgebied in vakken en stroken 20
- 2.1 Schematische standaardopbouw bekledingssysteem (detail) 25
- 2.2 Twee maatregelen ter vergroting van de open ruimte (bovenaanzicht) 30
- 2.3 Twee manieren van plaatsing op de granulaire laag 30
- 2.4 Definities gepenetreerde toplaag 33
- 2.5 Overlaging met losse breuksteen 34
- 2.6 Twee typen filters 36
- 3.1 Krachten op toplaagelement die van belang zijn voor toplaaginstabiliteit 42
- 3.2 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit 42
- 3.3 Parameters toplaaginstabiliteit maximale golferugtrekking 43
- 3.4 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit door golfklap 44
- 3.5 Parameters langstroming 45
- 3.6 Aanvullende parameters steenzetting op berm 46
- 3.7 Krachtenevenwicht afschuiving 47
- 3.8 Diepe kleinschalige afschuiving 48
- 3.9 Parameters afschuiving 48
- 3.10 Uitspoeling van materiaal uit de onderlaag 49
- 3.11 Schadeverloop bij faalmechanisme materiaaltransport vanuit de ondergrond 50
- 3.12 Parameters materiaaltransport ondergrond > granulaire laag 50
- 3.13 Schadeverloop bij faalmechanisme materiaaltransport vanuit de granulaire laag 51
- 3.14 Parameters materiaaltransport granulaire laag > toplaag 52
- 3.15 Faalmechanisme toplaaginstabiliteit overlaging met losse breuksteen 54
- 3.16 Parameters breuksteenoverlaging 54
- 3.17 Ongunstige invloed van overgangsconstructies 56
- 3.18 Parameters invloed overgangsconstructies 56
- 3.19 Falen teenconstructie 57
- 4.1 Toepasbaarheid grasbekledingen in de golfklapzone 69
- 5.1 Geometrische en hydraulische dichtheid van granulaire filters 74
- 5.2 Bovengrens overlaging 87
- 5.3 Definitie breedte en dikte bij ruwheidselementen 89
- 5.4 Rekenregel voor de weerstand tegen afschuiving 93
- 6.1 Voorbeeld teenbestorting tot en met sortering 60-300 kg 102
- 6.2 Voorbeeld teenbestorting vanaf sortering 300-1000 kg 102
- 6.3 Werkwijze voor het kiezen van het type betonbank 104
- 6.4 Overgangsconstructie met bijzondere voorzieningen 107

Figuren in de voorbeelden zeedijk en meerdijk

- 8.1 Ligging projectlocatie dijkvak Hellegatpolder 117
- 9.1 Ligging projectlocatie dijkvak Ramsdijk 127
- 9.2 Glooiingskaart Ramsdijk 136
- 9.3 Dwarsdoorsnede van het ontwerp voor km 39,15 - 40,10 140

Figuren in de bijlagen

- B.1 Bepaling maatgevende waterstand 151
- B.2 Definitie toplaagdikte (=toplaagelementhoogte) 160
- F.1 Ontwerpregel toplaaginstabiliteit onder golfaanval voor standaardelementen zonder granulaire laag 183
- G.1 Bepaling correctiefactor Y 186
- H.1 Definitie waterdiepte d_B voor bepaling bermfactor 188
- H.2 Bermfactor voor taludhelling onder de berm 1:4 189
- H.3 Bermfactor voor taludhelling onder de berm 1:3 190

Foto's

Foto's in de hoofdtekst

- 1.1 Begroeiing op bekleding van gebakken steen 22
- 1.2 Grens tussen land en water in Zeeuws-Vlaanderen 22
- 1.3 Oude bekleding van Vilvoordse steen 23
- 1.4 Fietspad op de buitenberm 24
- 2.1 Betonzuilen 27
- 2.2 Betonblokken 27
- 2.3 Basaltzuilen 27
- 2.4 Granietblokken 27
- 2.5 Koperslabblokken 27
- 2.6 Vier typen betonzuilen: PIT-Polygoonzuilen, Basalton, Ronaton en HydroBlocks 29
- 2.7 Betonzuilen met ecotop 29
- 2.8 Gekantelde betonblokken 30
- 2.9 Toplaag natuursteen vlakke onderkant (links) en toplaag natuursteen vlakke bovenkant 31
- 2.10 Blokkenmat 32
- 2.11 Doorgroeistenen 32
- 2.12 Ingegoten steenzetting 32
- 2.13 Breuksteenoverlaging 32
- 2.14 Geokunststof op de rol tijdens aanbrengen 37

Foto in het voorbeeld zeedijk

- 8.1 De Hellegatpolderdijk tijdens de reconstructie 116

Kaders

Kaders in de inleiding

- i.1 Opbouw van dit deel ontwerp 16
- i.2 Soorten steenzettingen waarvoor geen ontwerpen meer gemaakt worden 18

Kaders in de hoofdtekst

- 1.1 Basisopbouw en vakverdeling steenzetting 20
- 2.1 Neveneffecten voegvulling 35
- 2.2 Hergebruik gebroken topelementen 36
- 4.1 Vier stappen in het ontwerpproces 60
- 4.2 Toepasbaarheid grasbekleding 68
- 5.1 Volgorde behandelen faalmechanismen 71
- 5.2 Basismateriaal of ondergrond? 74
- 5.3 Conflicterende eisen aan korrelverdeling 75
- 5.4 Ervaringsfeit steenzetting zonder filter 75
- 5.5 Duurzaamheid geokunststoffen 76
- 5.6 Toepassen folies 77
- 5.7 Dimensionering op toplaaginstabiliteit onder langstroming 79
- 5.8 Mogelijke bronnen van bekledingstypen 90
- 5.9 Uitval bij hergebruik 90
- 5.10 Invloed zandscheg op afschuiving 92
- 6.1 Wat is een berm? 107

Kaders in de voorbeelden zeedijk en meerdijk

- 8.1 Detailadvies over LNC-waarden 118
- 9.1 Berekeningen hydraulisch-dicht filter 132
- 9.2 Vaststellen fictieve helling 137

Tabellen

Tabellen in de inleiding

- i.1 Maximale golfhogte en -periode waarbij steenzettingen kunnen worden toegepast 18

Tabellen in de hoofdtekst

- 2.1 Typen toplagen met standaardelementen 27
2.2 Verschillen tussen blokken en zuilen 28
2.3 Steenzettingen van standaardelementen 31
5.1 Voorbeeldtabel beschikbaarheid 90

Tabellen in het voorbeeld zeedijk

- 8.1 Golfrandvoorwaarden 118
8.2 Advies natuurwaarden volgens milieu-inventarisatie en detailadvies 119
8.3 Vrijkomende hoeveelheden topaagelementen 119
8.4 Overzicht van bekledingstypen en hun maximale toepassingsniveau per dijkvak 121
8.5 Voorkeuren uit milieu-inventarisatie en detailadvies 121
8.6 Alternatieven 122
8.7 Afweging tussen alternatieven voor de bekleding onder de berm 123
8.8 Minimaal toepasbare betonzuilen 124
8.9 Gekozen type betonzuilen 124
8.10 Minimale laagdiktes klei/mijnsteen 125
8.11 Samenvatting ontwerp 126

Tabellen in het voorbeeld meerdijk

- 9.1 Golfrandvoorwaarden 129
9.2 Vakindeling en vakken op onder- en bovenbeloop met de score 'onvoldoende' 129
9.3 Steilste taludhellingen per ontwerpprofiel 133
9.4 Toepasbare typen betonzuilen onderbeloop 134
9.5 Reken- en bestekswaarden hoogte basaltzuilen onderbeloop 134
9.6 Mogelijke zuiltypen en zuilhoogten onderbeloop 135
9.7 Mogelijke zuiltypen en zuilhoogten berm 135
9.8 Mogelijke betontypen bovenbeloop 135
9.9 Mogelijke bekledingen per profiel 135
9.9 Fictieve taludhellingen berm 138
9.10 Maatgevende belastingsituaties voor bekleding op berm 139
9.11 Zuiltypen en zuilhoogten berm 139
9.12 Mogelijke betontypen bovenbeloop 140

Tabellen in de bijlagen

- A.1 Overzicht varianten bekledingssystemen 145
B.1 Toepassing van variabelen van scheepsgeïnduceerde golven voor rekenregels 149
B.2 Standaardwaarden open ruimte tussen topaagelementen 160
B.3 Standaardwaarden dichtheid topaagelementen 163

Inleiding deel Ontwerp

Het *Technisch Rapport Steenzettingen* bestaat uit drie delen: **Ontwerp, Toetsing en Achtergronden**. In deze inleiding staat in welk kader dit rapport moet worden geplaatst. Verder komt aan de orde wat het doel is van dit eerste deel **Ontwerp** en voor wie het is opgesteld. In de laatste paragraaf van deze inleiding staan de steenzettingen waarvoor het deel **Ontwerp** bruikbaar is en wanneer ze in aanmerking komen als taludbekleding. Tenslotte worden de soorten steenzettingen opgesomd die wél en die níét in dit deel **Ontwerp** zijn opgenomen.

I.1 KADER TECHNISCH RAPPORT STEENZETTINGEN

Steenzettingen zijn taludbekledingen met een toplaag van in verband geplaatste elementen, die bestaan uit beton, natuursteen of reststoffen.

Een groot deel van de zee- en meerdijken in Nederland heeft een buitentalud dat is bekleed met steenzettingen. Daarnaast worden steenzettingen vaak toegepast op rivierdijken en andere oevers. Oorspronkelijk werden de steenzettingen aangelegd met de praktijkervaring die in vele jaren dijkbouw en dijkbeheer is opgedaan. Rond 1980 heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) een onderzoeksprogramma in gang gezet om te komen tot beter inzicht in het gedrag van steenzettingen. Dit onderzoeksprogramma heeft in 1992 geleid tot het Handboek voor dimensionering van gezette taludbekledingen [lit.1]. Dit handboek is een vertaling van wetenschappelijke onderzoeksresultaten naar meer praktische ontwerpmethoden; het heeft sinds 1992 gefungeerd als hét naslagwerk voor steenzettingen.

Ontwikkelingen sinds 1992

Het onderzoek is na 1992 doorgegaan. In combinatie met een landelijke globale inventarisatie is hier onder andere uit gebleken dat veel van de bestaande steenzettingen niet voldoen aan de veiligheidseisen uit de Wet op de waterkering. In 1997 is in Zeeland begonnen met het op grote schaal verbeteren en vervangen van de bestaande steenzettingen (Project Zeeweringen). Parallel daaraan is een landelijke gedetailleerde inventarisatie gestart van alle steenzettingen op primaire waterkeringen (Project Landelijke Inventarisatie Steenzettingen). Verder heeft recent wetenschappelijk onderzoek tot nieuwe inzichten geleid.

Een nieuw handboek

Bovengenoemde ontwikkelingen maakten het wenselijk dat het bestaande handboek werd vervangen. Ten eerste moesten de resultaten van het wetenschappelijk onderzoek sinds 1992 bijeen worden gebracht. Ten tweede was het belangrijk dat de kennis die is ontwikkeld bij Project Zeeweringen in Zeeland en bij het Project Landelijke Inventarisatie Steenzettingen, landelijk beschikbaar kwam. Verder groeide de behoefte aan een praktisch en gebruikersgericht handboek, dat aansluit bij de huidige (geautomatiseerde) ontwerp- en toetsgereedschappen. Dit alles heeft geleid tot een nieuw handboek: het *Technisch Rapport Steenzettingen*. Het rapport bestaat uit drie delen: **Ontwerp, Toetsing en Achtergronden**. De twee eerste delen **Ontwerp** en **Toetsing** zijn zodanig opgezet dat ze beide zelfstandig bruikbaar zijn. Het deel **Achtergronden** kan worden gezien als een verzameling bijlagen bij de delen **Ontwerp** en **Toetsing**. Het technisch rapport **Steenzettingen** is een gebruikersgerichte handleiding die tot doel heeft de gebruikers te ondersteunen bij het ontwerpen en toetsen van steenzettingen. Daarnaast is het rapport bedoeld als naslagwerk. Voor dit doel is achterin elk deel een Register opgenomen. Deze gealfabetiseerde lijst van termen helpt de gebruiker de informatie snel te vinden.

Relatie Technisch Rapport Steenzettingen met andere publicaties

Dit technisch rapport is de vervanger van het Handboek uit 1992. In verschillende publicaties, zoals de Leidraad Zee- en Meerdijken [lit.2] en de Leidraad Toetsen op Veiligheid [lit.3] uit 1999, wordt voor de uitwerking van steenzettingen verwezen naar het Handboek uit 1992. Die rol als naslagwerk wordt vanaf heden vervuld door dit *Technisch Rapport Steenzettingen*. In de opvolger van de LTV – het *Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV)* – wordt dan ook steeds verwezen naar dit technisch rapport

Regelmatig wordt in dit deel Ontwerp voor nadere uitwerking verwezen naar deel Achtergronden van dit technisch rapport of naar specifieke publicaties.

1.2 HET DEEL ONTWERP: DOEL, GEBRUIKERS EN OPBOUW

Doel

Dit deel Ontwerp is het eerste deel van het *Technisch Rapport Steenzettingen*. Het is specifiek bedoeld als hulpmiddel bij het ontwerpen van steenzettingen en meer algemeen als naslagwerk voor ontwerpers en anderen die bij het ontwerpproces betrokken zijn.

Gebruikers

De belanghebbenden bij het ontwerpen van steenzettingen zijn bijna altijd beheerders van waterkeringen of oevers met steenzettingen. In de Nederlandse situatie zijn dat waterschappen of regionale directies en dienstkringen van Rijkswaterstaat. Het ontwerpen van steenzettingen wordt uitgevoerd door medewerkers van deze instanties, of door medewerkers van ingenieurbureaus of van specialistische diensten van Rijkswaterstaat. Zij zijn de beoogde gebruikers van dit deel Ontwerp. De tekst is daarom gericht op gebruikers met een opleidingsniveau h.b.o of w.o., die minimaal enkele jaren algemene waterbouwkundige ervaring hebben en beschikken over basiskennis van principes van waterkeringen, ontwerpen en toetsen.

OPBOUW VAN DIT DEEL ONTWERP

Sectie I Basisinformatie over steenzettingen

Deze sectie bevat de informatie die een ontwerper nodig heeft voordat hij kan beginnen aan het ontwerpproces. Achtereenvolgens komt aan de orde wat de functie van een steenzetting is, uit welke onderdelen een steenzetting kan worden opgebouwd en door welke mechanismen een steenzetting kan falen.

Sectie II Ontwerpproces

In sectie II – de kern van dit deel Ontwerp – wordt het ontwerpproces stapsgewijs doorlopen. Dit is een cyclisch proces, dat in elk project weer anders is. Desondanks wordt in dit deel Ontwerp een standaard-ontwerpproces voor steenzettingen gepresenteerd. Dit standaardproces is een richtsnoer voor de gebruiker, dus nadrukkelijk geen voorschrift. In grote lijnen worden de volgende stappen onderscheiden:

- Voorbereiding ontwerp
- Ontwerp bekleding
- Ontwerp overige constructieonderdelen
- Overdracht naar bestek en uitvoering

Sectie III Voorbeelden

In sectie III worden twee voorbeelden gegeven van steenzettingen ontworpen volgens het ontwerpproces uit sectie II.

Verder is dit deel Ontwerp voorzien van een linkeruitbouw (voorin) en een rechteruitbouw (achterin). De linkeruitbouw laat zien hoe een steenzetting meestal wordt opgebouwd en biedt vooral ondersteuning bij sectie I. De uitbouw rechts geeft een schematisch overzicht van het ontwerpproces en biedt vooral ondersteuning bij sectie II.

Kader i.1

Er wordt in dit technisch rapport vanuit gegaan dat reeds is vastgesteld dat:

- a een nieuwe bekleding nodig is;
- b een steenzetting daarvoor in aanmerking komt.

Dit deel Ontwerp van dit technisch rapport heeft een relatie met de Leidraad Zee- en Meerdijken (LZM) en het Keuzemodel kust- en oeverwerken (KKO). In de Leidraad Zee- en Meerdijken wordt globaal aandacht besteed aan het ontwerp van bekledingen en steenzettingen. Grofweg kan met de LZM worden bepaald of op een bepaalde plaats al dan niet een harde bekleding nodig is. De volgende stap in het proces is het kiezen van een bekledingscluster (plaatbekleding, losse elementen of steenzetting). Het Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4] behandelt de afweging of een steenzetting in aanmerking komt. Zo ja, dan kan met dit deel het type steenzetting worden gekozen en ontworpen.

1.3 STEENZETTINGEN WAARVOOR HET DEEL ONTWERP TOEPASBAAR IS

In onderzoek en de ontwerppraktijk is de aandacht vooral gericht op steenzettingen op buitentaluds en -bermen van primaire waterkeringen, en dan met name de zee- en meerdijken. Ook dit deel Ontwerp is daarop gericht. Daarnaast wordt summier aandacht besteed aan andere waterbouwkundige toepassingsgebieden: kruinen en binnentaluds van zee- en meerdijken, en daarnaast rivierdijken, oevers, kribben en havendammen. In i.3.1 staat wanneer een steenzetting in aanmerking komt als taludbekleding en welke soorten steenzettingen wél in dit deel Ontwerp zijn opgenomen en welke niét.

Steenzetting of niet?

Een bekleding van een dijk, dam of oever kan bestaan uit een steenzetting, maar ook bijvoorbeeld uit gras, asfalt, beton of los gestorte breuksteen. De afweging tussen de toepassing van deze clusters van bekledingstypen wordt niet behandeld in dit *Technisch Rapport Steenzettingen*; daarvoor wordt verwezen naar het Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4]. Wel wordt hier globaal aangegeven wanneer steenzettingen in aanmerking komen als taludbekleding. Er is daarbij een 'ondergrens' en een 'bovengrens'.

Binnen een dwarsprofiel ligt vaak een fysieke grens waarboven geen steenzetting meer nodig is, omdat gras kan worden toegepast; zie 4.3.2 voor de begrenziingsregels.

Aan de 'ondergrens' (bij lichte belasting) moet een afweging worden gemaakt tussen steenzettingen en niet-harde bekledingen. Steenzettingen worden toegepast op dijken, dammen en oevers waarop een niet-harde bekleding onmogelijk of ongewenst is.

Redenen hiervoor kunnen zijn:

- ongunstige dagelijkse omstandigheden (constante golfbelasting, te vaak onder water, zout milieu);
- de onderhoudsbehoefte van de bekleding (steenzettingen vergen minder onderhoud dan een niet-harde bekleding);
- de zwaarte van de maatgevende belasting. Overigens kan een niet-harde bekleding ook bij zware belasting sterk genoeg zijn, als het talud maar voldoende flauw is. Een steenzetting komt in aanmerking als het niet mogelijk of ongewenst is een flauw talud te creëren/aan te leggen.

Aan de 'bovengrens' is de afweging tussen steenzettingen, asfaltbekledingen of zware breuksteen. De stabiliteit onder aanval van langsstroming en golven van het zwaarste type steenzetting bepaalt de bovengrens van de toepasbaarheid van steenzettingen. Het zwaarst mogelijke type betonzuilen is toepasbaar tot een langsstroomsnelheid van ruim 4,5 m/s. Bij golfbelasting zijn de toepassingsgrenzen een combinatie van talud helling, golfhoogte en -periode. In tabel i.1 is ter indicatie weergegeven tot welke golfhoogte en -periode het zwaarste type betonzuilen toepasbaar is bij verschillende taludhellingen. Bij combinaties van golven en stroming kan de toepasbaarheidsgrens lager liggen. Bij nog zwaardere belasting komen bekledingstypen met grotere elementen (zoals zeer zware breuksteen) of met meer samenhang (plaatbekledingen) in aanmerking.

Inleiding deel Ontwerp

taludhelling	1:2½	1:3	1:3½	1:4	1:4½	<i>Tabel i.1 Maximale golfhoogte en -periode waarbij steenzettingen kunnen worden toegepast (berekend voor golfsteilheid van 3,5%)</i>
golfhoogte [m]	3,2	3,7	4,1	4,5	4,8	
golfperiode [s]	7,7	8,2	8,7	9,1	9,4	

Soorten steenzettingen die in dit deel Ontwerp zijn opgenomen

In het deel Ontwerp worden niet alle voorkomende soorten steenzettingen behandeld: de reikwijdte is beperkt tot die soorten waarvoor in de huidige praktijk ontwerpen worden gemaakt.

Het betreft de volgende vijf soorten toplaalementen, die als nieuwe elementen of in de vorm van hergebruik, op verschillende onderlagen kunnen worden toegepast:

- 1 betonzuilen;
- 2 betonblokken;
- 3 basaltzuilen;
- 4 granietblokken;
- 5 koperslabblokken.

Daarnaast wordt aandacht besteed aan enkele soorten die niet standaard op een door golven belast talud worden toegepast, maar wel bij uitzondering in bijzondere omstandigheden:

- 6 blokkenmatten;
- 7 doorgroeistenen;
- 8 ingegoten steenzettingen;
- 9 overlagen van een steenzetting met breuksteen;
- 10 steenzettingen met ruwheidselementen.

Kader i.2

SOORTEN STEENZETTINGEN WAARVOOR GEEN ONTWERPEN MEER WORDEN GEMAAKT

Op Nederlandse dijken, dammen en oevers komen niet alleen de hiervoor genoemde tien soorten steenzettingen voor. Er bestaan nog andere toplaahtypen, die echter normaal gesproken niet meer in aanmerking komen voor ontwerp. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- Slechte uitvoerbaarheid: toplagen van Noorse steen (ook wel bekend als Noordse steen) en Doornikse steen zijn in de uitvoering moeilijk handelbaar.
- Geringe levensduur: bij toplagen van Vilvoordse en Lessinese steen zijn de toplaalementen gevoelig voor verwerking, en daardoor niet duurzaam. Bovendien blijkt dat deze elementen in de loop van de tijd steeds losser gaan liggen.
- Ongunstige sterkte-eigenschappen: klinkers zijn in het algemeen te licht.
- Onvoldoende mogelijkheden voor goed beheer en

onderhoud: in het verleden zijn allerlei systemen ontwikkeld van betonelementen die in elkaar grijpen: interlock-systemen; diaboolblokken zijn hier een voorbeeld van. Aangetoond is dat de samenhang zorgt voor ongeveer 10% grotere toplaahtabiliteit. Interlock-systemen hebben echter belangrijke nadelen voor beheer en onderhoud: ten eerste is de toplaaht nauwelijks in staat om zettingen van de ondergrond te volgen; ten tweede is het onmogelijk om individuele toplaalementen uit de bekleding te verwijderen.

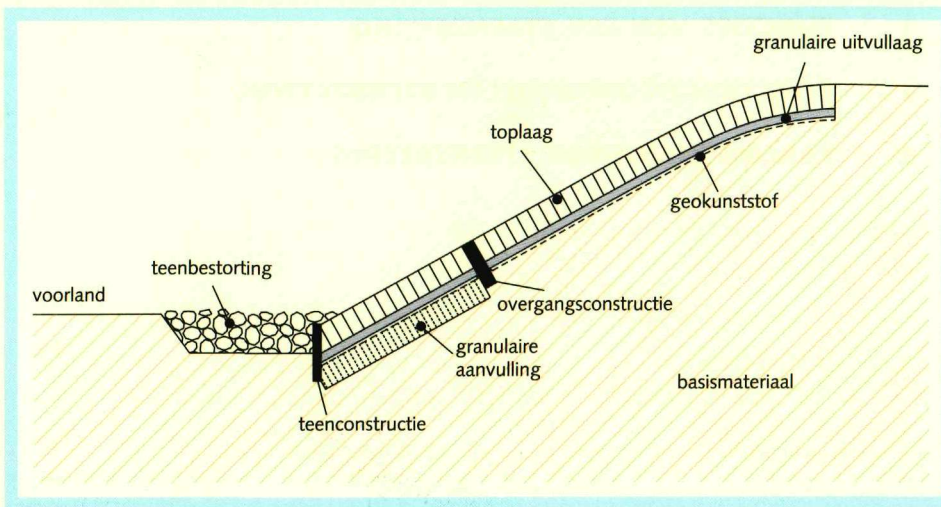
Soms kan een beheerder besluiten een minder gangbare toplaaht toe te passen. Dit deel Ontwerp is daarvoor niet zonder meer te gebruiken: in zo'n geval moet een aparte studie worden verricht. Overigens komen alle voorkomende toplagen wel aan de orde in het deel Toetsing

SECTIE I

Basisinformatie over steenzettingen

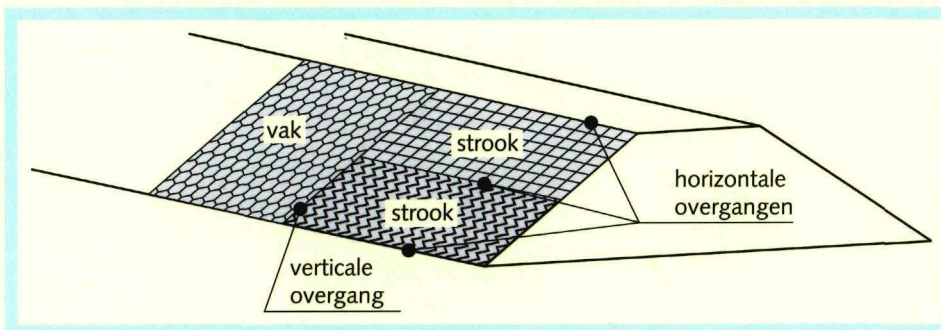
- 1 **FUNCTIES VAN EEN STEENZETTING**
- 2 **CONSTRUCTIEONDERDELEN STEENZETTING**
- 3 **FAALMECHANISMEN STEENZETTING**

BASISOPBOUW EN VAKVERDELING STEENZETTING



Figuur 1.1
Opbouw van
een bekledings-
systeem

Figuur 1.1 geeft de basisopbouw van een bekledingsysteem weer. De ondergrond van de steenzetting wordt gevormd door het basismateriaal – de bovenste laag van het grondlichaam, soms voorzien van een granulaire aanvulling van breed gegradeerd materiaal. Daarop ligt meestal een filterlaag – granulair of van geokunststof – die uitspoeling moet voorkomen. Onder de topplaat – die wordt gevormd door de gezette elementen – is meestal een granulaire uitvulling aanwezig. Aan de onderkant ondersteunt een teenconstructie de bekleding, vaak geholpen door een teenbestorting. Overgangen tussen verschillende bekledingstypen worden mogelijk gemaakt door overgangsconstructies. Overgangen naar andere constructies heten aansluitingsconstructies.



Figuur 1.2
Verdeling van
een
projectgebied
in vakken en
stroken

In figuur 1.2 staat de basisvakverdeling van een projectgebied. Met een projectgebied worden niet alleen de bekledingen bedoeld, maar ook de aansluitende horizontale en verticale overgangen. Een vak is een gedeelte van een dijk, dam of oever tussen twee verticale overgangen. Voor vak worden ook termen gebruikt als dijkvak, toetsingsvak, randvoorwaardenvak en bekledingsvak. Een strook is een gedeelte van de bekleding tussen twee horizontale overgangen.

1 Functies van een steenzetting

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.

1.1 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 grondeeltjes 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 afslag 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.

1.2 OVERIGE FUNCTIES VAN EEN STEENZETTING

Zie voor meer informatie de Leidraad Zee- en Meerdijken [lit.2].

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.

Ondergrond voor flora en fauna

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, watervasthoudend vermogen).

Sommige constructiematerialen kunnen het milieu belasten (bijvoorbeeld restproducten als koperslablokken 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).

1 Functies van een steenzetting



Foto 1.1
*Begroeiing op bekleding van
gebakken steen*

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).



Foto 1.2
*Grens tussen land en water
in Zeeuws-Vlaanderen*



Foto 1.3
Oude bekleding van
Vilvoordse steen

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.

1 Functies van een steenzetting



Foto 1.4
Recreatie op de buitenberm

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.

1.3 PRIMAIRE FUNCTIE IN RELATIE TOT DE OVERIGE FUNCTIES

Traditioneel werd het ontwerp van een steenzetting volledig afgestemd op de erosie-beschermende 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.

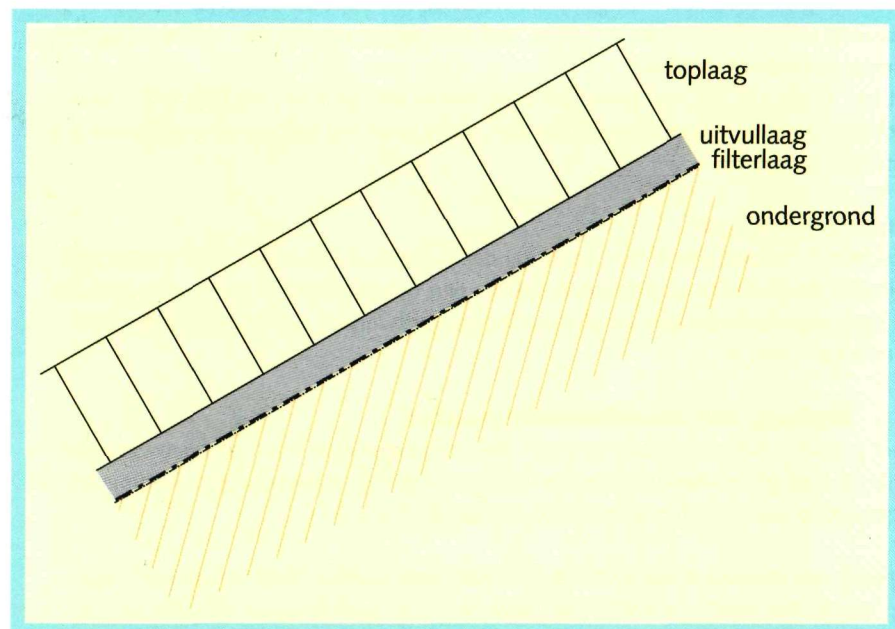
2 Constructieonderdelen steenzetting

In dit hoofdstuk staat uit welke onderdelen een steenzetting bestaat. Uiteraard wordt hierbij uitgegaan van de steenzettingen die in aanmerking komen voor ontwerp. In 2.1 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. In 2.2 staan de overige constructieonderdelen van een steenzetting, zoals de teenbestorting, teenconstructies, horizontale overgangsconstructies en aansluitingsconstructies.

2.1 BEKLEDINGSSYSTEEM

Het bekledingssysteem van elke steenzetting bevat een toplaag en een ondergrond (basismateriaal of granulaire aanvulling, zie de linkeruitvouw). 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 de linker uitvouwflap en figuur 2.1. 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.

Zie bijlage A voor een overzicht van alle varianten van bekledingssystemen.



Figuur 2.1
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 naar buiten.

Deze begrippen worden in dit hoofdstuk een aantal malen genoemd; voor een uitgebreide toelichting: zie hoofdstuk 3.

2 Constructieonderdelen steenzetting

De maatregelen tegen materiaaltransport 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.

(Bijna) altijd uitvullen

De vorm van de topplagelementen heeft invloed op het ontwerp van de granulaire laag. Alleen bij zeer uniforme en vlakke topplagelementen is uit uitvoeringstechnisch oogpunt een granulaire uitvullaag onder de topplag niet noodzakelijk. In de praktijk kan alleen bij een topplag 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 topplagelementen 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.

In bijlage A wordt een volledig overzicht gegeven van alle mogelijke bekledingssystemen voor steenzettingen, met daarbij een indicatie van de situaties waarin ze toepasbaar zijn.

Verborgene bekledingen

In dit technisch rapport 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.

2.1.1 Toplaag van standaardelementen

Voor het ontwerp van de topplag 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 2.1.2.

Een topplag van standaardelementen is de meest gebruikelijke topplag van een steenzetting. Normaliter wordt deze topplag 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 hoofdstuk 2 onderscheiden door hun vorm en hun materiaal, zie tabel 2.1.

Elementen met gaten vallen buiten deze categorie, omdat ze in de huidige praktijk slechts zelden en alleen in bijzondere omstandigheden worden toegepast; ze zijn dus niet 'standaard'.

Tabel 2.1
Typen toplagen met
standaardelementen

	Blokken	Zuilen	Nieuw/hergebruik
Beton	Betonblokken	Betonzuilen	Nieuw+hergebruik
Natuursteen	Granietblokken	Basaltzuilen	Alleen hergebruik
Restproducten	Koperslabblokken		Alleen hergebruik en alleen als aan milieu-eisen wordt voldaan



Foto 2.1 Betonzuilen

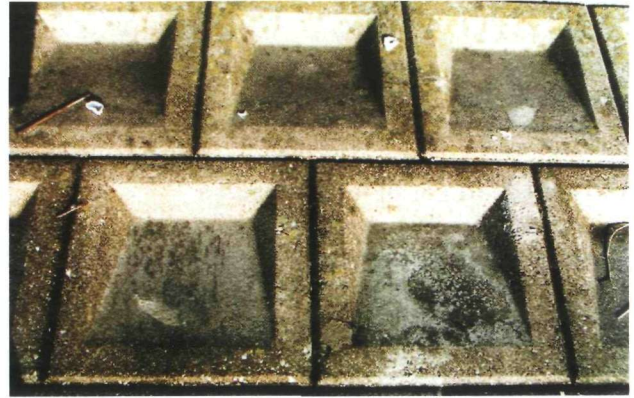


Foto 2.2 Betonblokken



Foto 2.3 Basaltzuilen



Foto 2.4 Granietblokken



Foto 2.5 Koperslabblokken

2 Constructieonderdelen steenzetting

De vorm van toplaagelementen

Er is geen precieze definitie van blokken en zuilen. In tabel 2.2 staan de kenmerkende 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	Meestal meer dan bij blokken
Samenhang	Meestal minder dan bij zuilen	Meestal meer dan bij blokken
Toplaagstabiliteit	Meestal minder dan bij zuilen	Meestal meer dan bij blokken

De verhouding tussen elementhoogte en elementoppervlak is niet bepalend voor het onderscheid tussen zuilen en blokken.

Tabel 2.2
Verschillen tussen blokken en zuilen

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 ontwerp-vrijheid (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 (zie foto 2.6): Basalton, PIT-Polygoonzuilen, Ronaton en Hydroblocks (dit laatste type wordt vanwege de vorm, en ondanks de naam, in dit rapport 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 – de ecotop – om de ecologische eigenschappen te verbeteren (zie foto 2.7) en zijn in verschillende kleuren verkrijgbaar. Deze verschillen spelen vooral een rol bij uitvoering en beheer, zie 5.7.

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:

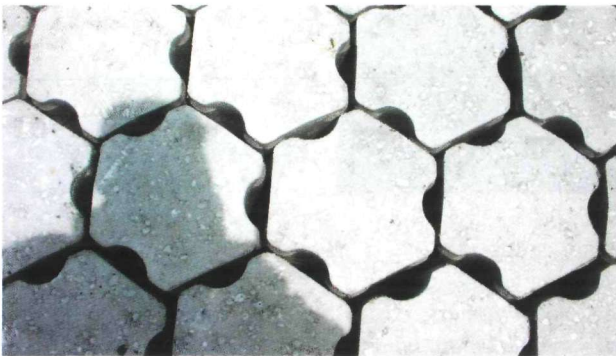
- 1 Bij betonzuilen en betonblokken kan worden gekozen voor het toepassen van een ecotop. Dit is een ruw laagje op de bovenkant van de elementen ter bevordering van flora en fauna. Ecotops worden niet meegeteld in de rekenwaarde van de toplaagdikte, zie bijlage B.3.3.
- 2 In geval van hergebruik van betonblokken en granietblokken is het mogelijk de beschikbare elementen gekanteld toe te passen. Hierdoor neemt de sterkte toe en het bekleedbare oppervlak af. De wijze van plaatsing heeft geen gevolgen voor de te hanteren rekenregels.



Basalton



PIT-Polygoonzuilen



Ronaton



HydroBlocks

Foto 2.6 Vier typen betonzuilen: Basalton, PIT-Polygoonzuilen, Ronaton en HydroBlocks



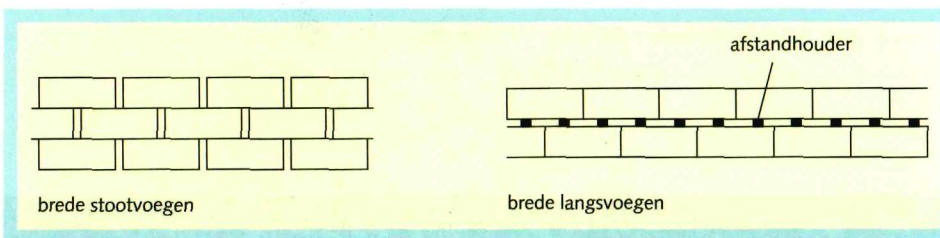
Foto 2.7:
Betonzuilen met ecotop

2 Constructieonderdelen steenzetting



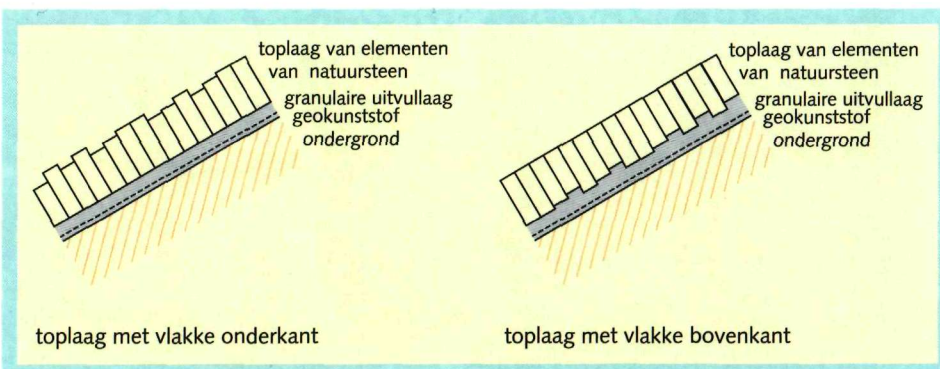
Foto 2.8
Gekantelde betonblokken

- 3 Omdat een kleine open ruimte ongunstig is voor de stabiliteit van de toplaag-elementen, 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 2.2. De ontwerpregels voor steenzettingen met afstandhouders worden apart behandeld in 5.4.5.



Figuur 2.2
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 2.3.



Figuur 2.3
Twee manieren van plaatsing
op de granulaire laag



Foto 2.9
Toplaag natuursteen
vlakke onderkant (links) en
toplaag natuursteen
vlakke bovenkant

Op foto 2.9 staan beide typen. Beheerstechnisch heeft een vlakke bovenkant vaak de voorkeur (zichtbaarheid van verzakkingen en betreedbaarheid); 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 5.4.6.

Twintig principe-varianten voor een steenzetting van standaardelementen

Voor een steenzetting van standaardelementen bestaan twintig varianten, zie tabel 2.3.

	Nieuw	Hergebruik	Ecotop
Betonzuilen			
Basalton	ja	ja	ja
Hydroblocks	ja	ja	ja
Polygoonzuilen	ja	ja	ja
Betonblokken			
Normaal geplaatst	zelden	ja	Komt nog niet voor
Normaal + extra open ruimte	zelden	ja	Komt nog niet voor
Gekanteld	zelden	ja	Komt nog niet voor
Gekanteld + extra open ruimte	zelden	ja	Komt nog niet voor
Basaltzuilen			
Geplaatst met vlakke bovenkant	zelden	ja	nee
Geplaatst met vlakke onderkant	zelden	ja	nee
Granietblokken			
Normaal geplaatst, vlakke bovenkant	zelden	ja	nee
Normaal geplaatst, vlakke onderkant	zelden	ja	nee
Gekanteld, vlakke bovenkant	zelden	ja	nee
Gekanteld, vlakke onderkant	zelden	ja	nee
Koperslakblokken	zelden	ja	nee

Tabel 2.3
Steenzettingen van
standaardelementen

2.1.2 Toplaag van aanverwante bekledingstypen

Soms heeft een steenzetting van standardelementen niet de voorkeur. In dit deel Ontwerp worden vijf alternatieven behandeld: blokkenmatten (onderling verbonden), doorgroeistenen (elementen met gaten), ingegoten steenzettingen, breuksteenoverlagen en steenzettingen met ruwheidselementen. Deze vijf zijn aan standardelementen verwant en worden daarom aanverwante bekledingstypen genoemd.

Blokkenmatten

Blokkenmatten bestaan uit betonblokken die onderling verbonden zijn door kabels of een geokunststof. Een steenzetting met onderling verbonden elementen heet geschakelde steenzetting. De onderlinge verbinding biedt $\pm 10\%$ 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.



Foto 2.10 Blokkenmatten



Foto 2.11 Doorgroeistenen



Foto 2.12 Ingegote steenzetting



Foto 2.13 Breuksteenoverlaging

Doorgroeistenen

Doorgroeistenen (ook wel grasbetonstenen genoemd) zijn betonblokken met gaten erin 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.

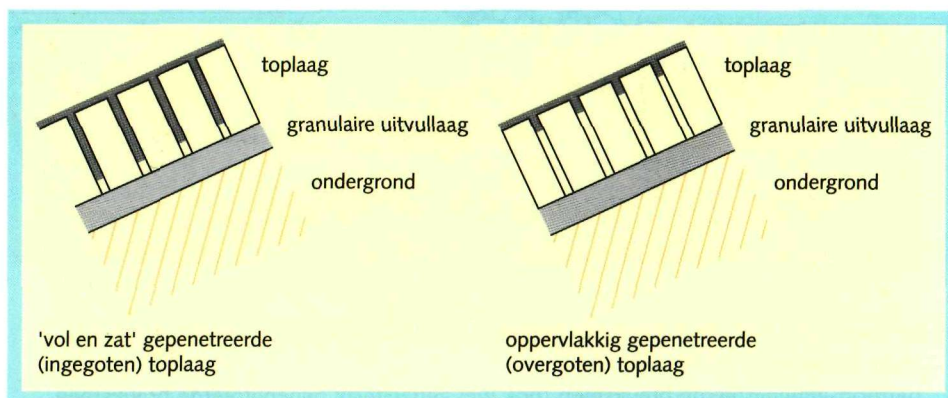
Uit proeven in Engeland is gebleken dat een bekleding van doorgroeistenen een grotere sterkte heeft dan een grasbekleding. De aanwezigheid van het beton beperkt weliswaar de horizontale wortelstructuur en de samenhang van het gras, maar zorgt ook voor afremming van de schade en voor bescherming tegen drijvend vuil. Vergeleken met een grasbekleding ontstaat eerder initiële schade, maar is de uiteindelijke schade kleiner.

Aanbevolen wordt om doorgroeistenen alleen toe te passen als dat beheer technisch nuttig is en alleen bij belasting door golfoploop of langstroming. Voor aandachtspunten zie 5.4.2.

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.

Er zijn nog geen uitgekristalliseerde rekenregels voor ingegoten steenzettingen, zie 5.4.3



Figuur 2.4
Definities gepenetreerde toplaag

Penetratie is mogelijk bij alle genoemde toplaagtypen, behalve bij tegen elkaar geplaatste betonblokken en koperslabblokken, 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 2.4. 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

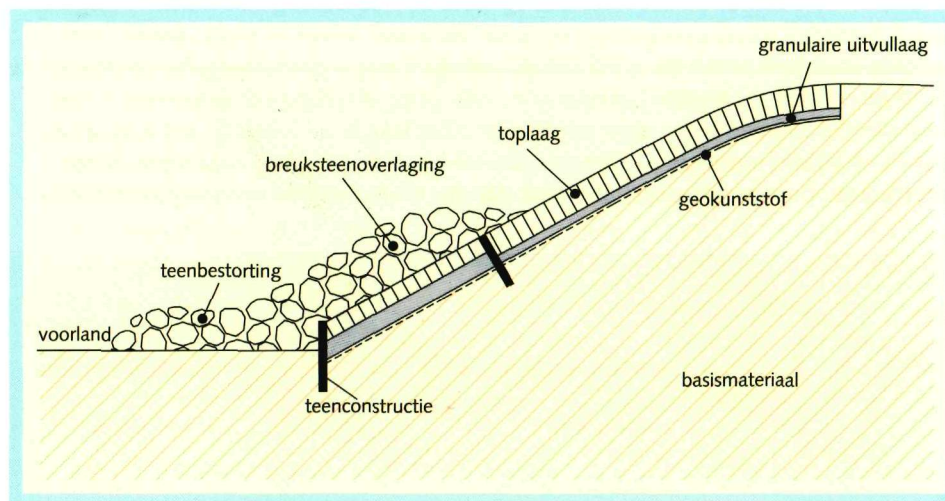
2 Constructieonderdelen steenzetting

het penetratiemateriaal na enkele uren plaatselijk los raken, 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 2.4: bij zo'n constructie moet rekening worden gehouden met de faalmechanismen van een ingegoten steenzetting, maar ook met die van een ongunstige standaard steenzetting.

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 uitmoeten, omdat die tijdens de uitvoering niet meer wordt ondersteund.



Figuur 2.5
Overlaging met losse
breksteen

Bij het overlagen met breksteen zijn drie varianten mogelijk:

- losse breksteen, zie figuur 2.5;
- patroon-gepenetreerde breksteen (ook wel gedeeltelijk gepenetreerde breksteen genoemd);
- 'vol en zat' gepenetreerde breksteen.

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 (zoals 'beverkoppen') toe te passen, bijvoorbeeld als daardoor geen kruinophoging nodig is. In dit technisch rapport wordt niet ingegaan op de berekening van de golfoploop (zie [lit.6]), maar wel op de stabiliteit van de steenzetting met ruwheidselementen zelf.

De dimensionering van patroon-gepenetreerde en 'vol en zat' gepenetreerde overlagingen wordt niet verder behandeld; verwezen wordt naar Technisch Rapport Asphalt voor waterkeren [lit.5].

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 standaard steenzettingen. Buiten die grenzen gelden andere regels. De krachten van het water op de uitsteeksels zorgen voor een bijzondere belastingsituatie, die niet in dit *Technisch Rapport Steenzettingen* wordt behandeld: het kantelen en wrikken van de elementen.

2.1.3 Inwasmateriaal

Tussen de toplaagelementen wordt, indien mogelijk, voegvulling aangebracht om wrijving en/of klemming tussen de toplaagelementen te bevorderen. 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.

NEVENEFFECTEN VOEGVULLING

Een neveneffect van voegvulling is dat de waterdoorlatendheid van de toplaag afneemt, wat ongunstig is voor de stabiliteit van de toplaagelementen. In het algemeen wordt aangenomen dat het positieve effect groter is dan het negatieve effect. Vooralsnog kan echter in de rekenregels (het programma ANAMOS) alleen de negatieve invloed van het inwasmateriaal worden gekwantificeerd, en niet het positieve effect. In de ontwerpberoeeningen wordt daarom normaal gesproken uitgegaan van een niet-inwassende constructie, zodat beide effecten worden verwaarloosd.

Voor onderbouwing van de werkwijze genoemd in kader 2.1, zie Achtergronden 3.7.2.

Kader 2.1

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, zie kader 2.1;
- de grove fractie moet net tussen de toplaagelementen passen.

Voor richtwaarden zie bijlage B.3.1.

De benodigde sortering is dus afhankelijk van vorm en grootte van de open ruimte tussen de toplaagelementen.

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.

2.1.4 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;

2 Constructieonderdelen steenzetting

- een filterfunctie: in nieuwe constructies kan een granulaire filterlaag worden toegepast in bekledingen waarvan het basismateriaal niet uit klei bestaat, zie figuur 2.6;
- overige functies: de granulaire laag heeft een functie in het voorkómen van afschuiving, het spreiden van de lokale belastingen en het voorkómen van drukopbouw bij een zandkern.

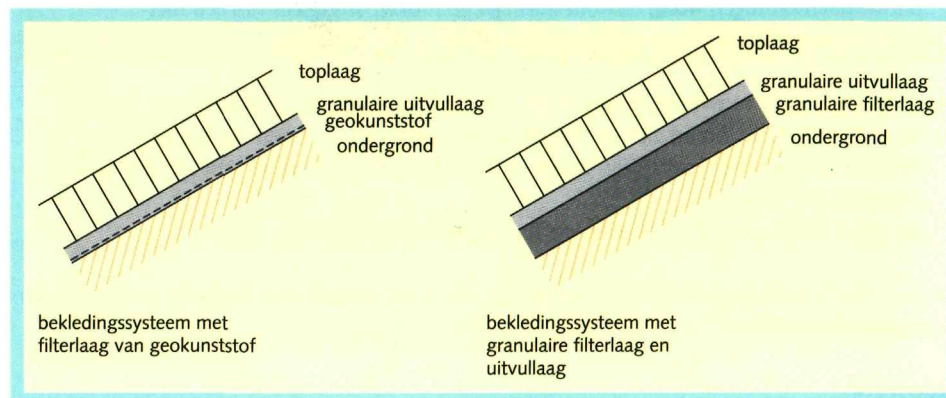
De granulaire laag onder de toplaag fungeert altijd als uitvullaag, en in sommige gevallen ook als filterlaag. In het dagelijks spraakgebruik wordt de granulaire laag vaak filterlaag genoemd, ook als het eigenlijk een uitvullaag betreft. In dit *Technisch Rapport Steenzettingen* wordt de term granulaire laag gebruikt.

HERGEBRUIK GEBROKEN TOPELEMENTEN

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 her te gebruiken.

Kader 2.2

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, zie ook kader 2.2. Voor richtwaarden wordt verwezen naar bijlage B.3.9.



Figuur 2.6
Twee typen filters

2.1.5 Geokunststof

Een geokunststof op de ondergrond (zie figuur 2.6 en foto 2.14) heeft in het algemeen een filterfunctie (voorkómen van uitspoeling van de ondergrond) en vaak ook een uitvoeringstechnische functie (bescherming van de ondergrond, voorkómen dat steentjes de klei in worden gereden). Met het oog op de filterfunctie moet het geokunststof gronddicht 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 5.2.4.

De belangrijkste ontwerpparameter van het geokunststof is de openingsgrootte O_{90} , en daarnaast moeten sterkte-eisen worden gesteld ten behoeve van de uitvoering.



Foto 2.14
Geokunststof op de rol
tijdens aanbrengen

2.1.6 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 en dit is gunstig met het oog op het faalmechisme toplaaginstabiliteit, zie hoofdstuk 3. 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).

2 Constructieonderdelen steenzetting

Verschillende breed-gegradeerde granulaire materialen komen in aanmerking: mijnsteen (een bijproduct van kolenwinning), silex (een restproduct van de cementindustrie) of betonpuin. Materiaal met een nulfractie wordt ook wel 'ongesorteerd' genoemd.

2.1.7 Basismateriaal

Het basismateriaal van een steenzetting is de bovenste laag die behoort tot het grondlichaam van de dijk, dam of oever, zie ook de linker uitvouwflap. 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.

2.2 OVERIGE CONSTRUCTIEONDERDELEN

In het eerste deel van dit hoofdstuk is informatie gegeven over de toplaag en de onderlagen van een steenzetting. In deze paragraaf komen de overige constructieonderdelen aan de beurt. Bij elk constructieonderdeel worden enkele voor ontwerp in aanmerking komende typen genoemd.

2.2.1 Teenbestorting

De bestorting ondersteunt de teenconstructie, en in morfologisch actieve gebieden beschermt ze de teen tegen erosie.

De twee belangrijkste varianten zijn bestortingen van losgestorte steen en bestortingen van gedeeltelijk of patroon-gepenetreerde steen. Meestal gebruikt men hiervoor breuksteen van standaard-sorteringen. In de praktijk komen hiervoor, afhankelijk van de golfbelasting, vijf sorteringen in aanmerking: 5-40 kg, 10-60 kg, 40-200 kg, 60-300 kg en 300-1000 kg. Behalve nieuw aan te voeren breuksteen komen ook vrijkomende toplaagelementen van de bekleding in aanmerking, voor zover de vorm en de massaverdeling van de elementen voldoen aan de eisen van de standaard-sortering.

Voor de grondichtheid wordt vaak een geokunststof gebruikt. Een granulair filter is mogelijk maar wordt zelden toegepast. Onder de zware sorteringen wordt vaak een beschermingslaag aangebracht om beschadiging van het geokunststof in de uitvoering te voorkomen. Voor verdere uitwerking, zie 6.1.

2.2.2 Teenconstructies

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 grondichtheid wordt vaak een geokunststof gebruikt.

Voor verdere uitwerking en concrete typen teenconstructies, zie 6.2.

In 6.3 wordt beschreven 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.

2.2.3 Overgangsconstructies

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 (zie ook 3.7.1), 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.

2.2.4 Aansluitingsconstructies

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 3.7. Daarom wordt in veel gevallen een strook van beperkte breedte ingegoten met gietasfalt of wordt de toplaag overgedimensioneerd.

2.2.5 Berm, bovenbeloop, kruin, binnentalud, overlaten en kribben

In dit technisch rapport worden niet de vorm of constructie van deze constructieonderdelen zelf behandeld, maar alleen de eventuele bekleding van steenzettingen erop. De varianten hiervan zijn in principe hetzelfde als besproken in 2.1.

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 $2 \cdot H_s$) 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).

3 Faalmechanismen steenzetting

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 (3.1). Vervolgens worden de faalmechanismen besproken, met name de drie faalmechanismen van steenzettingen van standaardelementen:

- topplaaginstabiliteit (3.2);
- afschuiving (3.3);
- materiaaltransport (3.4).

Daarna worden kort de faalmechanismen van aanverwante bekledingstypen behandeld, zoals overlaging, doorgroeistenen en blokkenmatten (3.5), en aansluitend de niet-hydraulische faalmechanismen (3.6). Ten slotte wordt falen door en falen van een teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie besproken (3.7).

Een meer gedetailleerde behandeling van de belasting-, sterkte- en faalparameters is te vinden in bijlage B.

3.1 FALEN BEKLEDING VERSUS FALEN WATERKERING

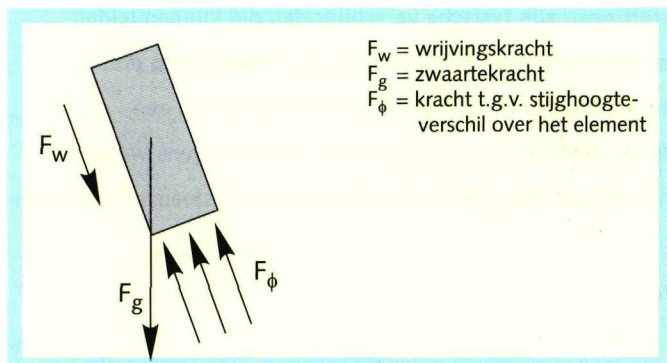
De faalmechanismen van steenzettingen hebben een relatie met de faalmechanismen van de gehele waterkering of oever. Het falen van een waterkering is gedefinieerd als overstroming. Eén van de faalmechanismen van een dijk of dam is 'erosie buitentalud'. Bij een beklede dijk of dam zijn hiervoor twee gebeurtenissen 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. In de wettelijke toetsing op veiligheid is deze combinatie van faalmechanismen expliciet verwerkt: voor een score 'goed' moet de bekleding sterk genoeg zijn onder maatgevende omstandigheden, maar als dat niet zo is kan de weerstand tegen erosie van het grondlichaam (de reststerkte) nog tot een score 'voldoende' leiden. In de huidige praktijk wordt in het ontwerp geen rekening gehouden met de reststerkte: de steenzetting wordt zo sterk ontworpen dat ze in stand blijft bij de maatgevende omstandigheden. Het bekledingsfaalmechanisme erosie van de onderlagen wordt daarom in dit deel Ontwerp niet behandeld.

Voor meer informatie over veiligheidsaspecten, zie Achtergronden, hoofdstuk 1.

3.2 FALEN STEENZETTING DOOR TOPLAAGINSTABILITEIT

De topplagelementen moeten in verband blijven om voldoende sterkte te kunnen leveren. Als dit verband wordt verbroken, is er sprake van falen. Door hydraulische belasting ontstaat onder de topplagelementen een opwaartse waterdruk. Als deze opwaartse waterdruk groter is dan de neerwaartse waterdruk is er sprake van een opwaartse kracht op het topplagelement. 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 3.1. Dit kan zich voordoen bij individuele elementen, maar meestal betreft het een veld van elementen met een oppervlakte tot enkele vierkante meters. Dit faalmechanisme heet voluit Stabiliteitsverlies van topplagelementen, maar wordt meestal topplaaginstabiliteit genoemd.

3 Faalmechanismen steenzetting



Figuur 3.1
Krachten op toplaagelement die van belang zijn voor toplaaginstabiliteit

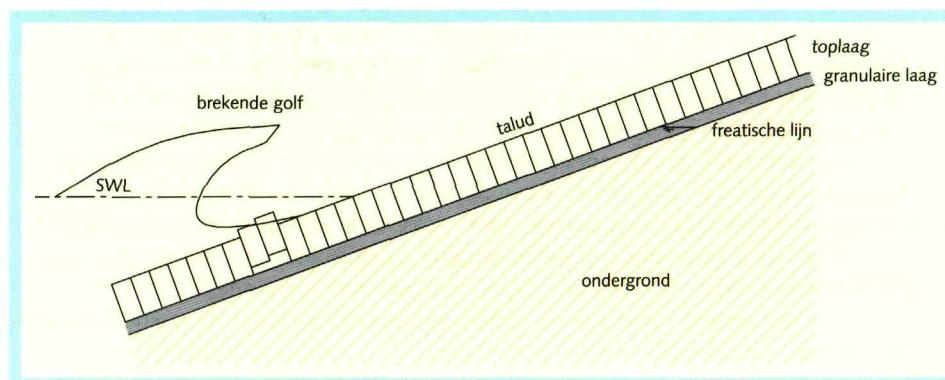
Het faalmechanisme toplaaginstabiliteit kan worden onderverdeeld in vier deelmechanismen:

- belasting door golven, situatie bij maximale golfterugtrekking maatgevend (3.2.1);
- belasting door golven, situatie bij golfklap maatgevend (3.2.2);
- belasting door langsstroming (3.2.3);
- belasting door golfoploop (3.2.4);

Apart wordt aandacht besteed aan toplaaginstabiliteit bij een steenzettingen op een berm (3.2.5).

3.2.1 Toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking

Toplaaginstabiliteit kan worden veroorzaakt door de opwaartse waterdruk op het moment van maximale golfterugtrekking. Het faalmechanisme is weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2
Faalmechanisme toplaaginstabiliteit

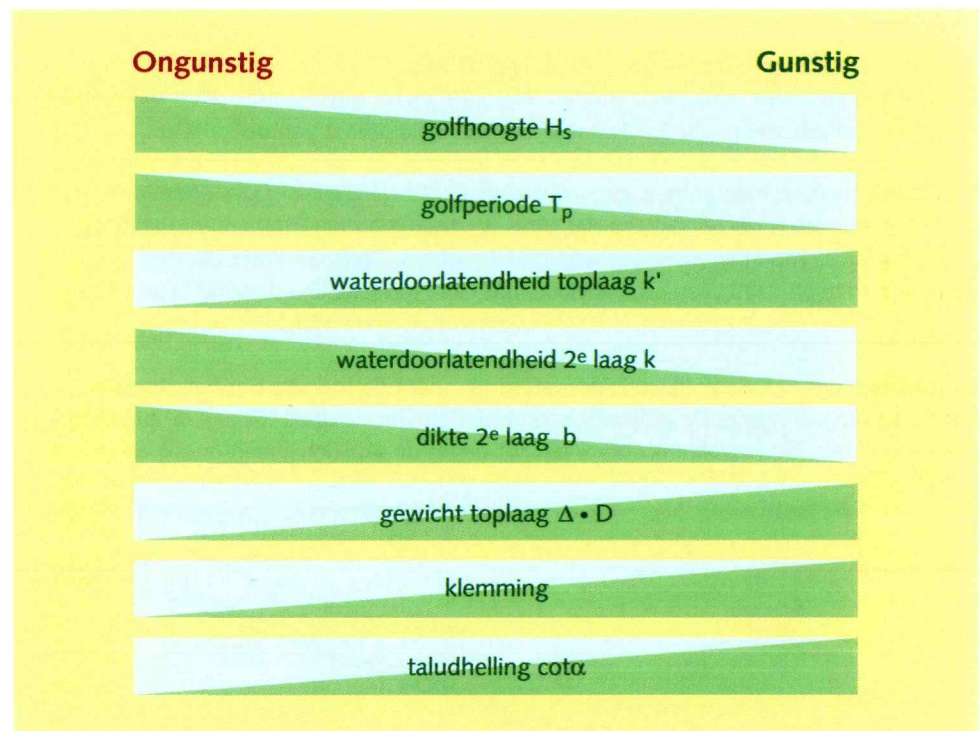
Op het moment van maximale golfterugtrekking is een deel van het talud drooggevallen, terwijl onder de toplaag nog water aanwezig is. Dit veroorzaakt een opwaartse verschildruk op de toplaagelementen, die maximaal is rond het punt tot waar de waterlijn zich heeft teruggetrokken. In werkelijkheid speelt 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 verhinderde toestroming van water onder het toplaagelement, de massa draagbaarheid van het toplaagelement en de invloed van overgangsconstructies.

Bij bepaalde typen steenzettingen is niet het moment van maximale golfterugtrekking maatgevend, maar de situatie op het moment van de golfklap; dit faalmechanisme wordt apart besproken in 3.2.2.

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 3.3 is voor alle relevante parameters weergegeven wat de invloed is op het faalmechanisme. 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 rechts in de figuur).



Figuur 3.3
Parameters
toplaaginstabiliteit bij
maximale golfterugtrekking

- 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 dat levert bij maximale golfterugtrekking een grotere waterdruk onder 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 lek lengte Λ : 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 4, 5 en 6; het begrip lek lengte wordt toegelicht in Achtergronden 3.2).
- 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.

3 Faalmechanismen steenzetting

- 6 Gewicht van de toplaag: het gewicht, 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 golfterugtrekking.
- 8 Taludhelling $\cot \alpha$: hoewel een steilere taludhelling leidt tot betere klemming van de toplaagelementen en dus een positieve bijdrage levert aan de neerwaartse druk, leidt het ook tot een kleinere gewichtscomponent van de zwaartekracht en tot een hogere belasting door golfaanval. Per saldo is een steile taludhelling ongunstig.

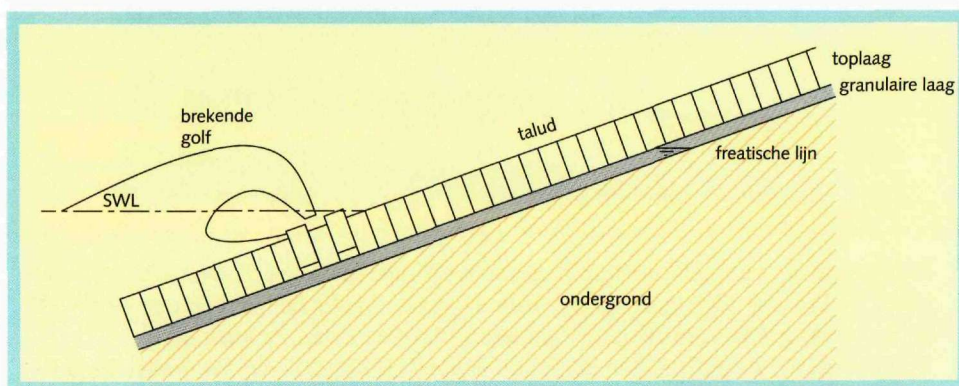
Hierna wordt dit faalmechanisme aangeduid als toplaaginstabiliteit bij maximale golfterugtrekking. Als in de tekst sprake is van toplaaginstabiliteit (zonder nadere specificering), dan betreft het beide mechanismen (3.2.1 en 3.2.2). Ook de rekenregels voor toplaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

3.2.2 Toplaaginstabiliteit door golfklap

Steenzettingen onder golfaanval worden door opwaartse druk belast op het moment van maximale golfterugloop (zie 3.2.1), maar ook op het moment van de golfklap.

De situatie bij maximale golfterugloop is meestal het belangrijkste faalmechanisme, maar uit modelproeven is geconcludeerd dat soms de situatie op het moment van golfklap maatgevend is, vooral bij grote toplaagdoorlatendheid. Concreet komt dit voor bij open bekledingen van zuilen en bij bekledingen van rechthoekige blokken waartussen afstandhouders zijn aangebracht. Het faalmechanisme is weergegeven in figuur 3.4.

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 de meeste



Figuur 3.4
Faalmechanisme
toplaaginstabiliteit door
golfklap

constructies is de toplaag zodanig ondoorlatend dat de druk niet snel kan doordringen tot onder de elementen, en bovendien is de granulaire laag zodanig doorlatend dat de piek in de waterdruk weer snel wegvloeit. Alleen 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 golfterugtrekking. Net als op het moment van maximale golfterugtrekking 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 massastraagheid van het toplaagelement en de invloed van

Hierna wordt dit faalmechanisme aangeduid als topplaaginstabiliteit door golfklap. Als in de tekst sprake is van topplaaginstabiliteit (zonder nadere specificering), dan betreft het beide mechanismen (3.2.1 en 3.2.2). Ook de rekenregels voor topplaaginstabiliteit betreffen beide mechanismen.

overgangsconstructies. Vanwege de korte duur van de belastingsituatie hebben vooral de verhinderde toestroming en de massatraagheid een gunstige invloed op de stabiliteit.

Parameters

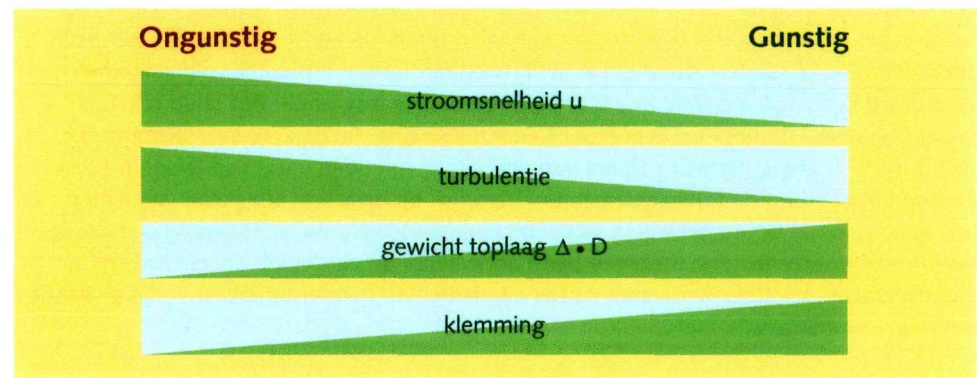
De stabiliteit van de toplaag wordt bepaald door de parameters die de opwaartse waterdruk en de neerwaartse krachten (gewicht en wrijving en/of klemming) bepalen. Voor de opwaartse waterdruk en voor de neerwaartse krachten gelden dezelfde parameters als in 3.2.1.

3.2.3 Toplaaginstabiliteit 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 faalmechanisme het ontstaan van opwaartse druk.

Parameters

In figuur 3.5 staan de belangrijkste belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij topplaaginstabiliteit onder langsstroming.



Figuur 3.5

Parameters langsstroming

- 1 Stroomsnelheid u : een grote stroomsnelheid zorgt voor een grote belasting.
- 2 Turbulentie: behalve de waarde zelf zijn ook de fluctuaties in de stroomsnelheid bepalend voor de belasting; grote fluctuaties 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.

Hierna wordt dit faalmechanisme aangeduid als topplaaginstabiliteit door stroming.

3.2.4 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.

3 Faalmechanismen steenzetting

Voor steenzettingen boven de maatgevende waterstand op het buitentalud bestaan geen afzonderlijke rekenregels: de regels zijn gerelateerd aan de regels voor de golfklapzone. Voor steenzettingen op kruin en binnentalud bestaan wel 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 faalmechanisme 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.

Parameters

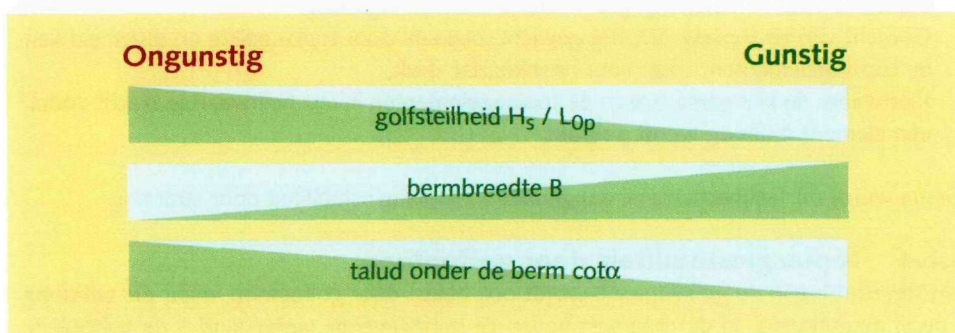
De belasting wordt bepaald door de *golfhoogte* H_s en *golfperiode* T_p in relatie tot de *afstand boven de maatgevende waterstand*. Een grote golfhoogte en -periode is ongunstig, een grote afstand tot de maatgevende waterstand is gunstig. De sterkteparameters zijn hetzelfde als voor de andere vormen van toplaagininstabiliteit.

3.2.5 Falen 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 2.2.5. 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 3.6.



Figuur 3.6
Aanvullende parameters
steenzetting op berm

- 1 Golfsteilheid H_s / L_{0p} : 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.

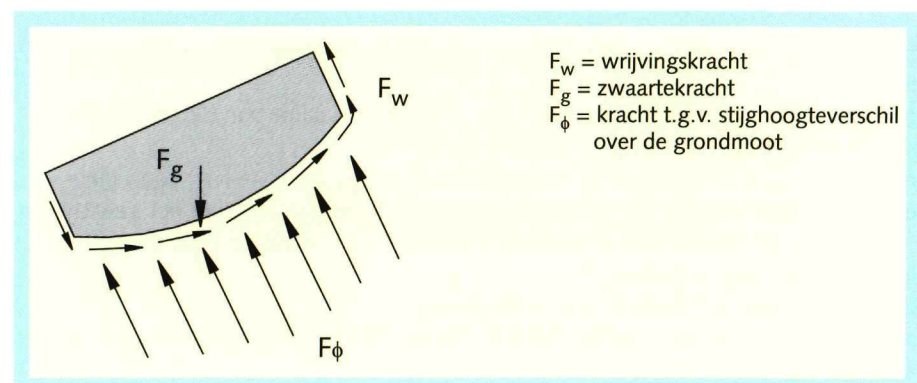
3.3 FALEN STEENZETTING DOOR AFSCHUIVING

Bij het faalmechanisme toplaaginstabiliteit gaat het om beweging van elementen loodrecht op het talud, maar daarnaast kan de bekleding falen door beweging langs het talud. De verschillende faalmechanismen waarbij beweging langs het talud plaatsvindt worden aangeduid met de term afschuiving. Het betreft bijna allemaal faalmechanismen 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 3.2), 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 3.7.

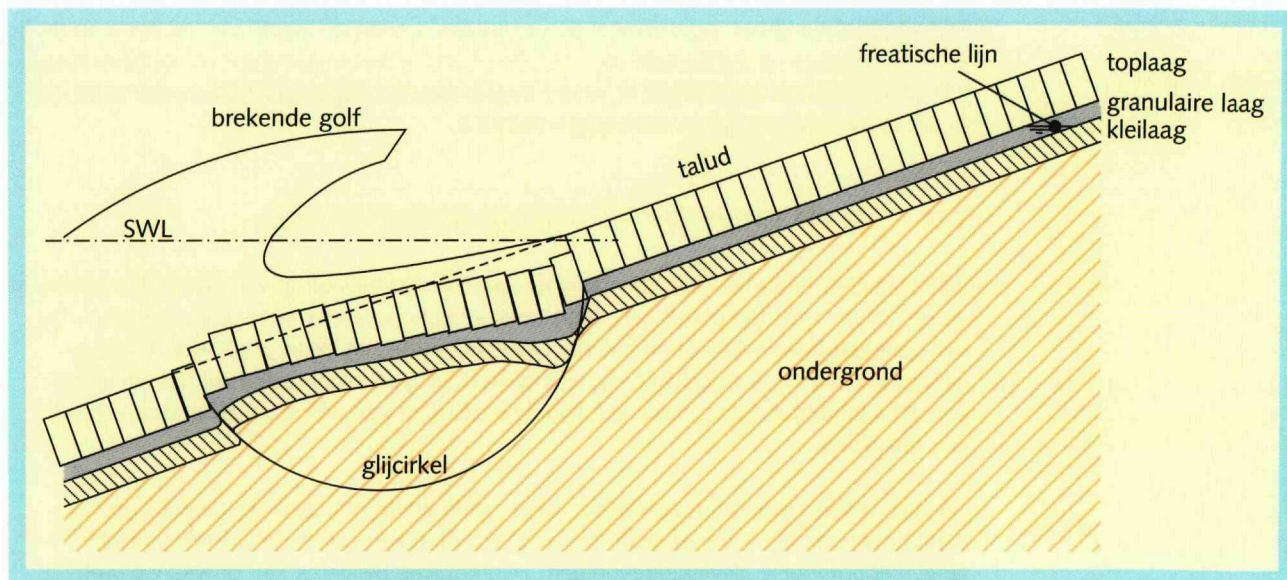
In bijzondere gevallen kan statische wateroverdruk afschuiving veroorzaken. Dit is het geval als zich onder de bekleding een zogenoemde zandscheg bevindt: een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en een oude kleikern (zie 5.6.1). Hier kan wel water inkomen (bij hoogwater of door regen), maar het kan er niet meer uitstromen.

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 laag scheiding 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 groot schaliger afschuiving, waarbij ook de teenconstructie bezwijkt. De rekenregels zijn gebaseerd op lokale afschuiving over een glijvlak in de ondergrond van zand, zie figuur 3.8. De regels zijn echter zo opgesteld dat ze ook de andere vormen van afschuiving bestrijken.



Figuur 3.7
Krachtenevenwicht
afschuiving

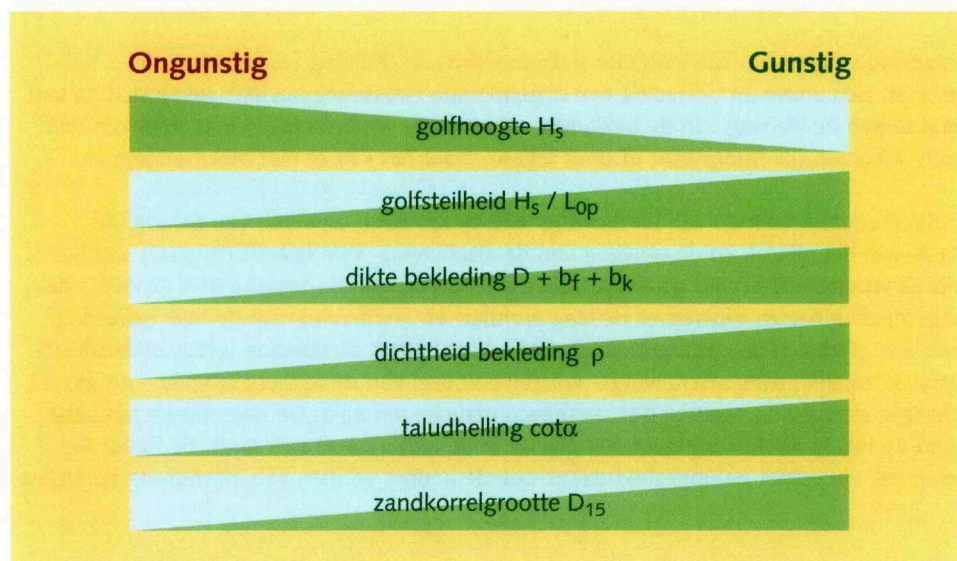
3 Faalmechanismen steenzetting



Parameters

In figuur 3.9 staan de belasting- en sterkteparameters die een rol spelen bij het faalmechanisme afschuiving.

Figuur 3.8
Diepe kleinschalige
afschuiving



Figuur 3.9
Parameters afschuiving

- 1 Golfhoogte H_s : een grotere golfhoogte is ongunstig voor zowel de belasting als de sterkte.
- 2 Golfsteilheid H_s / L_{op} : 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, en het gewicht is de belangrijkste sterkteparameter met betrekking tot afschuiving.
- 4 Dichtheid bekleding ρ , 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.

3.4 FALEN STEENZETTING DOOR MATERIAALTRANSPORT

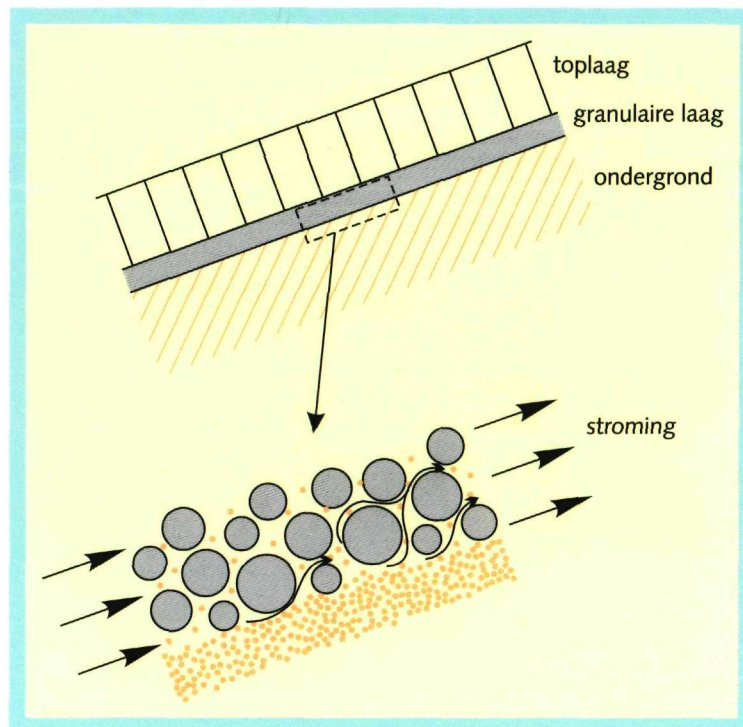
De bekleding beschermt het grondlichaam tegen erosie. Daarom moet de toplaag intact blijven. Het is echter ook noodzakelijk dat uitspoeling van materiaal uit de lagen daaronder wordt voorkomen. De verschillende faalmechanismen waarbij uitspoeling van materiaal plaatsvindt worden aangeduid met de term materiaaltransport.

Voor dit faalmechanisme is ten eerste van belang of de laagovergangen geometrisch dicht of open zijn (d.w.z. 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 (d.w.z. 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.

3.4.1 Materiaaltransport vanuit ondergrond naar granulaire laag

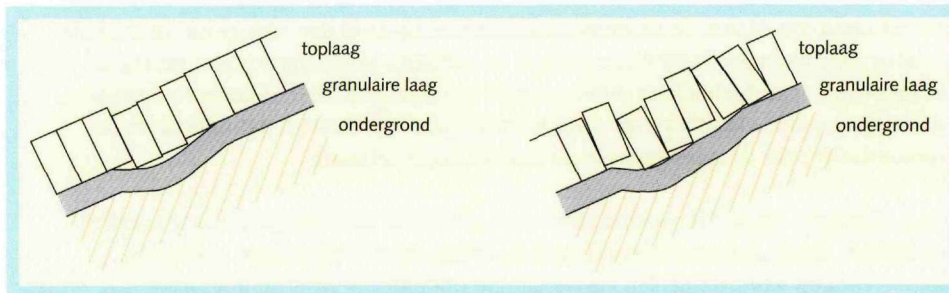
De golfbeweging veroorzaakt een stroming in de granulaire laag, evenwijdig aan het talud, zowel naar boven als naar beneden. Langs het grensvlak met de ondergrond kan deze stroming erosie van klei- of zanddeeltjes veroorzaken, zie figuur 3.10.



Figuur 3.10
Uitspoeling van materiaal
uit de onderlaag

3 Faalmechanismen steenzetting

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 faalmechanisme is weergegeven in figuur 3.11.

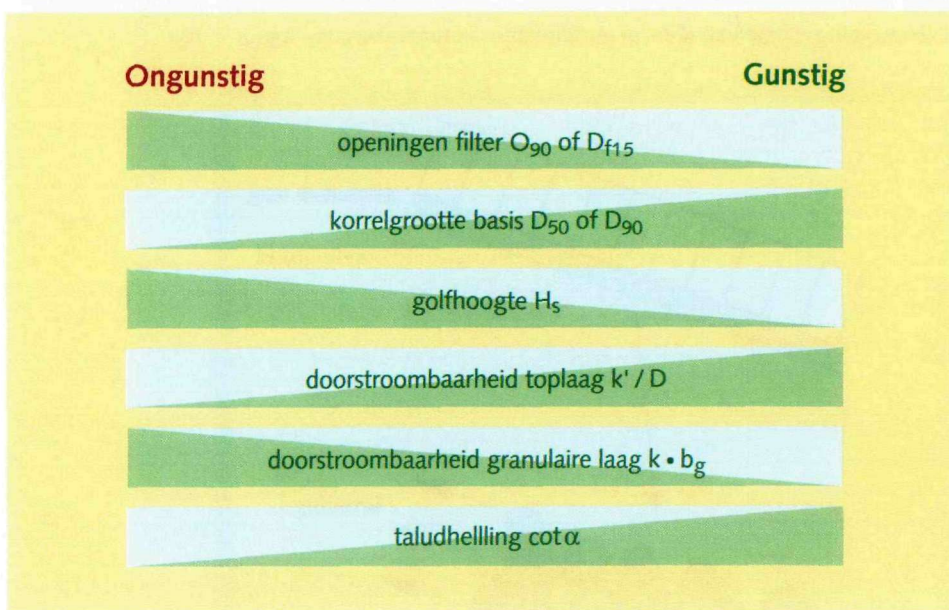


Figuur 3.11
Schadeverloop bij
faalmechanisme
materiaaltransport vanuit de
ondergrond

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 3.12.

In de verdere tekst wordt dit
faalmechanisme aangeduid als
materiaaltransport vanuit de
ondergrond.



Figuur 3.12
Parameters
materiaaltransport
ondergrond > granulaire laag

- 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 granulaire filter zijn de afmetingen van de fijne fractie representatief voor de openingsgrootte; hiervoor wordt de karakteristieke korreldiameter D_{f15} gebruikt, en 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 faalmechanisme toplaagininstabiliteit is feitelijk de lek lengte 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; het begrip lek lengte wordt toegelicht in Achtergronden 3.2).
- 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.

3.4.2 Materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag

De golfbeweging zorgt voor opwaartse waterdruk onder de toplaagelementen, zie 3.2. 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 falen, zie figuur 3.13.



Figuur 3.13
Schadeverloop bij
faalmechanisme
materiaaltransport vanuit de
granulaire laag

3 Faalmechanismen steenzetting

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 3.14.



In de verdere tekst wordt dit faalmechanisme aangeduid als materiaaltransport vanuit de granulaire laag.

Figuur 3.14
Parameters
materiaaltransport
granulaire laag > toplaag

- 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.

3.5 FAALMECHANISMEN VAN AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN

3.5.1 Falen van geschakelde steenzettingen

Voor geschakelde steenzettingen gelden globaal dezelfde faalmechanismen als voor standaard steenzettingen. De onderlinge verbinding maakt de toplaag iets stabiel. Blokkenmatten kunnen falen door het losraken en omklappen van hoekelementen onder golfaanval.

3.5.2 Falen van doorgroeistenen

Het maatgevende faalmechanisme voor doorgroeistenen is de uitspoeling van grond vanuit de gaten in de toplaagelementen, waardoor de toplaag wordt ondermijnd. Dit is alleen mogelijk als de grasbekleding in de gaten bezwijkt. Bij grasbekleding met doorgroeistenen ontstaat weliswaar eerder initiële schade dan bij gewone grasbekleding, maar de uiteindelijke schade is kleiner, zie 2.1.2.

3.5.3 Falen 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 faalmechanismen van belang:

- oplichten van de toplaag
- afschuiving
- materiaaltransport

De mechanismen afschuiving en materiaaltransport zijn niet principieel anders dan voor standaard steenzettingen; daarvoor wordt dus verwezen naar 3.3 en 3.4. In deze paragraaf wordt verder ingegaan op het faalmechanisme 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. 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.

Er zijn nog geen uitgekristalliseerde rekenregels voor het faalmechanisme oplichten van de toplaag, zie 5.4.3.

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 faalmechanisme toplaaginstabiliteit van een standaard steenzetting, zie 3.2. Dit is het geval bij een oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzetting (zie ook 2.1.2) of als getwijfeld wordt aan de kwaliteit van het penetratiemateriaal; bij ontwerp is dat niet relevant.

3.5.4 Falen van breuksteenoverlagingen

Een overlaging met breuksteen wordt alleen aangebracht als de steenzetting zelf niet voldoende sterkte kan bieden en wordt ontworpen op de faalmechanismen van de overlaging zelf, zonder rekening te houden met de (rest)sterkte die wordt geleverd door de steenzetting onder het breuksteenpakket en door de onderlagen. De breuksteenoverlaging faalt als er geen voorbelasting meer aanwezig is op de onderliggende steenzetting.

Er worden drie soorten breuksteenoverlagingen onderscheiden:

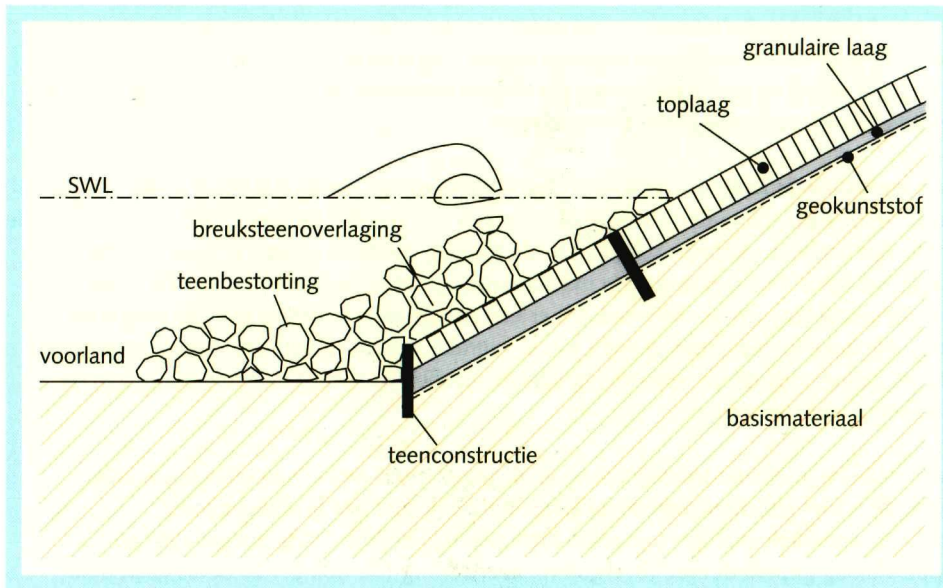
- losse breuksteen;
- gedeeltelijk of patroon-gepenetreerde breuksteen;
- 'vol en zat' gepenetreerde breuksteen.

De eerste twee varianten lijken sterk op een 'normale' oeverbekleding van breuksteen, terwijl de derde variant op een plaatbekleding lijkt. Voor de verschillende typen zijn dus verschillende faalmechanismen maatgevend.

In dit *Technisch Rapport Steenzettingen* wordt alleen het faalmechanisme voor losse breuksteen behandeld: de beweging van individuele stenen onder golfaanval. De constructie faalt als geen voorbelasting meer aanwezig is op de onderliggende, 'onvoldoende' steenzetting. De beweging van de breuksteenelementen wordt voornamelijk veroorzaakt door de klap van de brekende golven en door het water dat terugstroomt vanaf het talud. De belasting door het terugstromende water zorgt voor een essentieel verschil met de belastingsituatie van een doorgaand breuksteentalud, zie figuur 3.15.

Voor de faalmechanismen van een 'vol en zat' gepenetreerde breuksteenoverlaging wordt verwezen naar *Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren* [lit.5].

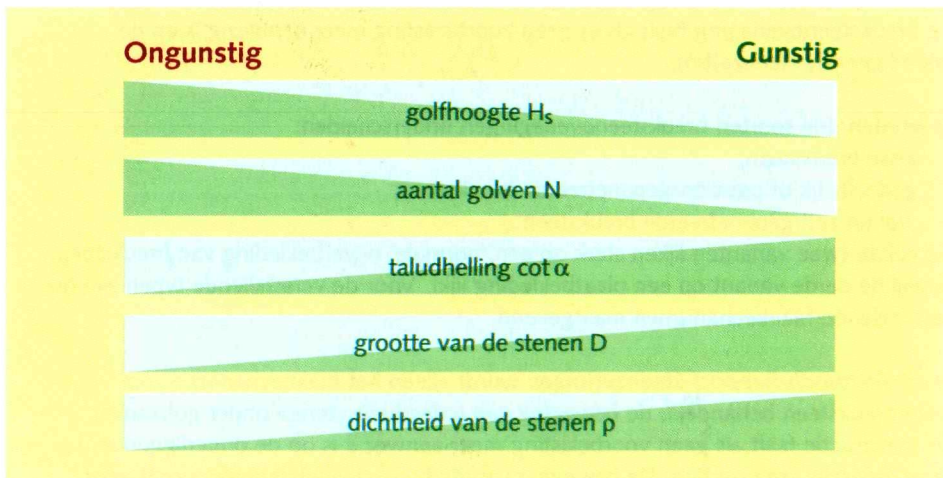
3 Faalmechanismen steenzetting



Figuur 3.15
Faalmechanisme
Toplaaginstabiliteit
overlaging met losse
breuksteen

Parameters

Voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit van een overlaging met losse breuksteen wordt de belasting vooral bepaald door de golfhoogte en het aantal golven; de belangrijkste sterkteparameters zijn de grootte en de dichtheid van de stenen, zie figuur 3.16.

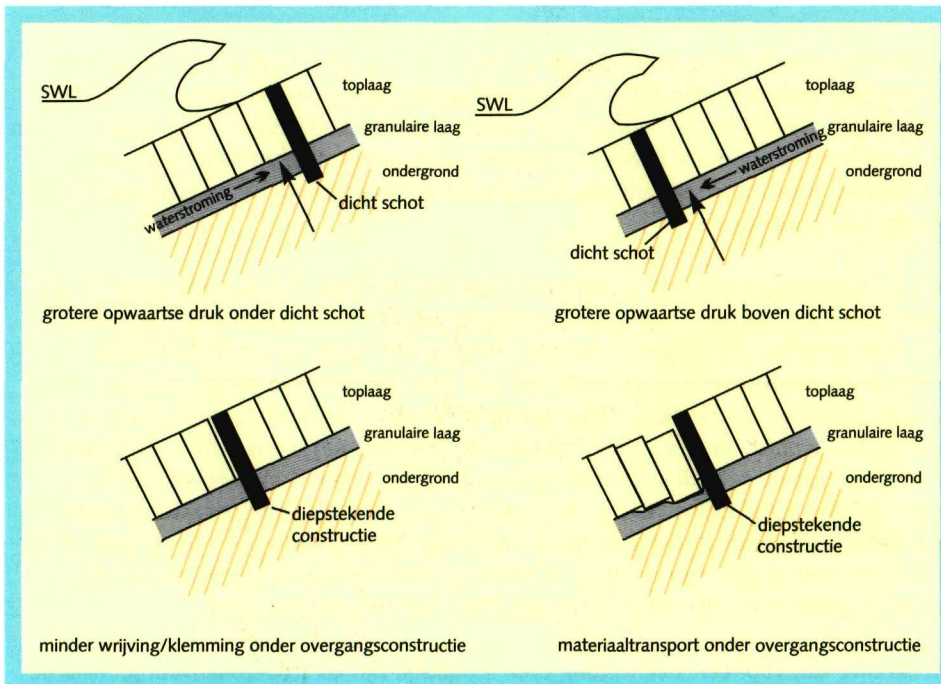


Figuur 3.16
Parameters
breuksteenoverlaging

- 1 Golfhoogte H_s : hoe hoger de golfhoogte, hoe ongunstiger.
- 2 Aantal golven N : de belastingduur speelt een rol in de rekenregels, en wordt gekarakteriseerd door het aantal golven gedurende een storm.
- 3 Taludhelling $\cot \alpha$: een steilere helling is ongunstig.
- 4 Grootte van de stenen D : samen met de dichtheid ρ bepaalt de steendiameter het gewicht van de stenen.
- 5 Dichtheid van de stenen ρ_s , zie punt 4.

3 Faalmechanismen steenzetting

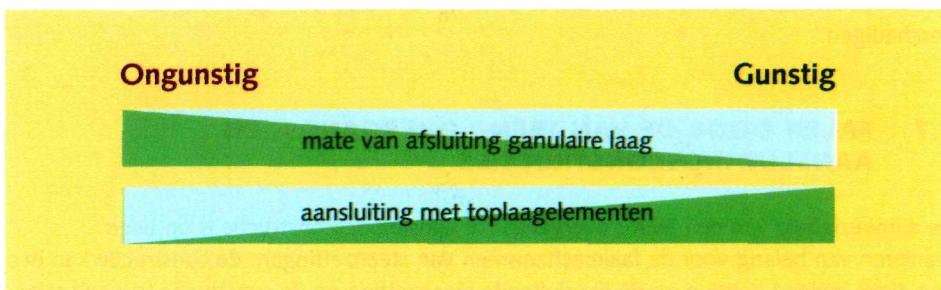
in figuur 3.17; de bovenste twee betreffen het blokkeren van de drukvoortplanting, de onderste twee de minder goede aansluiting tussen steenzetting en overgangsconstructie. In de praktijk blijken toplaaginstabiliteit en materiaaltransport vaak in de buurt van teen- en overgangsconstructies voor te komen.



Figuur 3.17
Ongunstige invloed van overgangsconstructies

Parameters

Voor de invloed op de aansluitende bekleding zijn de parameters zoals genoemd onder toplaaginstabiliteit en materiaaltransport van belang (zie 3.2 en 3.4). Daarnaast zijn enkele specifieke eigenschappen van de overgangsconstructie van belang, zie figuur 3.18.

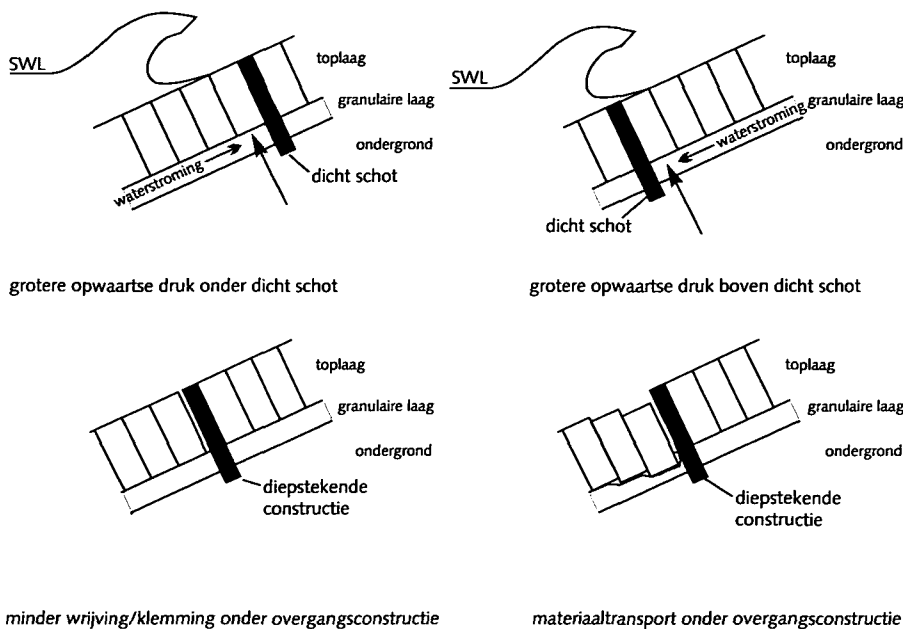


Figuur 3.18
Parameters invloed overgangsconstructies

- 1 Mate van afsluiting van de granulaire laag: hoe meer de drukvoortplanting door de granulaire laag wordt geblokkeerd, hoe groter de maximale toename van de waterdruk en dus de extra belasting op toplaaginstabiliteit.
- 2 Aansluiting met de toplaagelementen: hoe slechter deze aansluiting, hoe groter de kans op materiaaltransport.

3 Faalmechanismen steenzetting

in figuur 3.17; de bovenste twee betreffen het blokkeren van de drukvoortplanting, de onderste twee de minder goede aansluiting tussen steenzetting en overgangsconstructie. In de praktijk blijken toplaaginstabiliteit en materiaaltransport vaak in de buurt van teen- en overgangsconstructies voor te komen.



Figuur 3.17
Ongunstige invloed van overgangsconstructies

Parameters

Voor de invloed op de aansluitende bekleding zijn de parameters zoals genoemd onder toplaaginstabiliteit en materiaaltransport van belang (zie 3.2 en 3.4). Daarnaast zijn enkele specifieke eigenschappen van de overgangsconstructie van belang, zie figuur 3.18.

Ongunstig

Gunstig

mate van afsluiting granulaire laag

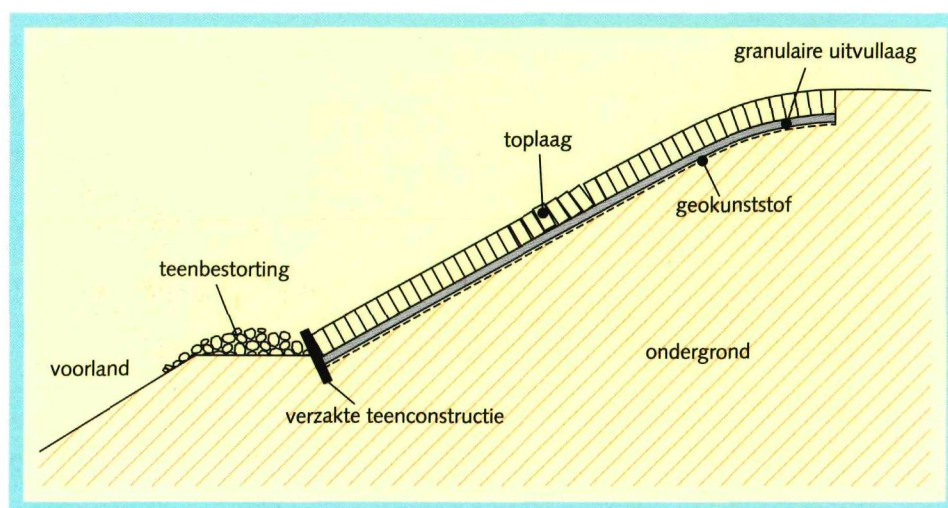
aansluiting met toplaagelementen

Figuur 3.18
Parameters invloed overgangsconstructies

- 1 Mate van afsluiting van de granulaire laag: hoe meer de drukvoortplanting door de granulaire laag wordt geblokkeerd, hoe groter de maximale toename van de waterdruk en dus de extra belasting op toplaaginstabiliteit.
- 2 Aansluiting met de toplaagelementen: hoe slechter deze aansluiting, hoe groter de kans op materiaaltransport.

3.7.2 Falen van teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie

De teen-, overgangs- of aansluitingsconstructie kan ook zelf falen, door grondmechanische instabiliteit en/of materiaaltransport. Een voorbeeld staat in figuur 3.19. Zoals een steenzetting tegen een teen- of overgangsconstructie rust, zo rust een teenconstructie tegen een onderliggende teenbestorting en is gefundeerd in de bodem. Het verdwijnen van deze ondersteuning (bijvoorbeeld door ontgronding) kan leiden tot falen van de teenconstructie.



Figuur 3.19
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.

- 4 VOORBEREIDING ONTWERP**
- 5 ONTWERP BEKLEDING**
- 6 ONTWERP OVERIGE CONSTRUCTIEONDERDELEN**
- 7 OVERDRACHT NAAR BESTEK EN UITVOERING**

VIER STAPPEN IN HET ONTWERPPROCES

In deze sectie, sectie II, wordt het ontwerpproces van een steenzetting beschreven. Het uitgangspunt van het ontwerpproces in dit technisch rapport is dat de vorm van de dijk, dam of oever in grote lijnen bekend is, en dat – aan de hand van de vuistregels in het Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4] – is vastgesteld dat een steenzetting in aanmerking komt als bekleding. Het is niet noodzakelijk dat in dit stadium al een keuze is gemaakt voor het type bekleding, ook een van de andere typen uit het Keuzemodel kust- en oeverwerken kan nog in aanmerking komen. Deze andere bekledingstypen worden echter niet behandeld.

De aanleiding voor een ontwerpproject kan zijn:

- aanleg van een nieuwe dijk, dam of oever;
- aanleg van een steenzetting op een bestaande dijk, dam of oever;
- toetsing van een bestaande bekleding met ‘onvoldoende’ als resultaat.

Het ontwerp is de eerste fase van de levenscyclus van een bekledingssysteem. Na het ontwerp volgen bestek en uitvoering en vervolgens ingebruikname en beheer. Tijdens het beheer vindt wederom toetsing plaats (in ieder geval bij primaire waterkeringen).

Het ontwerp van een steenzetting verloopt in de praktijk volgens een cyclisch proces, dat elk project weer anders is. Toch is het nuttig om een lineair ontwerpproces te schetsen voor de presentatie van de activiteiten die noodzakelijk zijn om tot een ontwerp te komen. Dit standaardproces moet worden gezien als richtsnoer voor de gebruiker, dus nadrukkelijk niet als voorschrift.

In grote lijnen worden in de ontwerpfase vier stappen onderscheiden. Hoofdstuk 4, 5, 6 en 7 behandelen ieder een fase. Op de rechteruitvouw van dit rapport staat een overzicht van de relatie tussen het ontwerpproces en de komende vier hoofdstukken:

H.4 Voorbereiding ontwerp

H.5 Ontwerp bekleding

H.6 Ontwerp overige onderdelen

H.7 Overdracht naar bestek en uitvoering

Kader 4.1

4 Voorbereiding ontwerp



 zie ook het uitvouwblad

De eerste stap in het ontwerpproces van een steenzetting is het vaststellen van het programma van eisen. In 4.1 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 doorlopend proces mogelijk te maken, is het noodzakelijk om vooraf na te denken over de methode van gegevensverzameling, dit wordt uitgewerkt in 4.2.

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 4.3.

In bijlage B staat hoe de benodigde waarden voor het dimensioneren van de steenzetting per parameter kunnen worden vastgesteld.

4.1 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 in en de uitgebreidheid en diepgang van het programma van eisen hangen af van de situatie. In dit technisch rapport 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 (4.1.1) en vanuit de omgeving (4.1.2).

4.1.1 Eisen en wensen vanuit de techniek

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. Als de steenzetting deel uitmaakt van een primaire waterkering is de veiligheidsnorm vastgesteld in de Wet op de waterkering en worden de maatgevende hydraulische omstandigheden aangeleverd door Rijkswaterstaat, zie bijlage B.1.

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 nuttig zijn om de eis van uitvoerbaarheid in deze globale termen vast te leggen in het programma van eisen, als

4 Voorbereiding ontwerp

aandachtspunt voor het ontwerp. Meestal volstaat dat, maar in sommige gevallen gelden concretere eisen of afspraken ten aanzien van uitvoerbaarheid.

Bepaalde uitvoerbaarheidsaspecten 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 repareerbaarheid van schade. Bovendien kan het voorkómen van schade door vandalisme een aandachtspunt zijn.

Net als bij uitvoerbaarheid is het nuttig 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.

4.1.2 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.).

Zie ook bijlage C:
Milieueffectrapportage in relatie tot het ontwerp van steenzettingen

Milieu-eisen

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 het Bouwstoffenbesluit, provinciale verordeningen of de Wet verontreiniging oppervlaktewater. 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 [lit.4].

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 vóórkomen; 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. Voor een concrete uitwerking, zie het voorbeeld in hoofdstuk 8.

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. Voor een concrete uitwerking, zie het voorbeeld in hoofdstuk 8.

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.

4 Voorbereiding ontwerp

Er zijn twee 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, zoals behandeld in 2.1.2. In dat geval blijft de constructie aanwezig, maar is niet zichtbaar en bovendien zal het vaak bijna onmogelijk zijn om de constructie later ongeschonden weer zichtbaar te maken.

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.

4.2 VERZAMELEN GEGEVENS

De ontwerper heeft gegevens nodig voor verschillende fasen in het ontwerpproces. De gegevensbehoefte voor al deze fasen wordt in 4.3 en de hoofdstukken 5 en 6 uitgebreid beschreven. Grofweg betreft het drie soorten basisgegevens:

- 1 geometrie: bestaande situatie (bekleding, taludhelling, geotechnische gegevens);
- 2 hydraulische randvoorwaarden (ontwerpcriterium, bijbehorende waterstanden en golfgegevens);
- 3 overige aspecten (met name wensen en eisen die niet rechtstreeks met de waterkerende functie te maken hebben, zie 4.1).

In bijlage B wordt per parameter de vaststelling van de waarden besproken.

In 4.2.1 staan de verschillen tussen de gegevens voor ontwerp en voor toetsing. Vervolgens worden in 4.2.2 de methodes voor het verzamelen van gegevens kort besproken en 4.2.3 geeft een overzicht van de belangrijkste instanties die een rol kunnen spelen bij de gegevensverzameling.

4.2.1 Verschillen in gegevens voor ontwerp en toetsing

Als een steenzetting wordt ontworpen om een bekleding te vervangen 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 de hydraulische randvoorwaarden. In zo'n geval moet echter zorgvuldig worden omgegaan met de verschillen tussen ontwerp en toetsing:

- Ten aanzien van de hydraulische randvoorwaarden is een principieel verschil dat de toetsing wordt uitgevoerd met de formeel vastgestelde randvoorwaarden in HR 2001 [lit.7], terwijl dat voor ontwerp in de praktijk alleen een minimumeis is. Bij ontwerp moet rekening worden gehouden met de hydraulische randvoorwaarden in de gehele functionele levensduur.
- Toetsing is gericht op de eerstvolgende vijf jaar, terwijl ontwerp is gericht op een langere periode (bijvoorbeeld vijftig jaar). Dit is vooral van belang voor de hydraulische randvoorwaarden (zeespiegelrijzing) 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. De veiligheidsaspecten bij het ontwerp van steenzettingen worden behandeld in het deel Achtergronden, hoofdstuk 1.

4.2.2 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 4.2.3. 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 meer 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. In sectie III komt deze afweging ook aan de orde.

4.2.3 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 steenzet

ting op een primaire waterkering, maar 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 RIKZ of RIZA: zorgt voor aanlevering van de hydraulische randvoorwaarden;
- Provincie: is bevoegd gezag met betrekking tot m.e.r.-plicht of m.e.r.-beoordelingsplicht.
- Regionale directie 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, zie ook [lit.2].

Veranderlijke informatie, zoals bijvoorbeeld de morfologische ontwikkeling van het voorland, kan niet op het moment zelf worden gemeten. Het kan nodig zijn om hiervoor bijvoorbeeld het beheersregister te raadplegen.

4 Voorbereiding ontwerp

4.3 INDELEN IN VAKKEN EN STROKEN

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 ontwerpdoorsnede 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, zie ook het schema op de linker uitbouw.

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 4.3.1 wordt de horizontale vakindeling besproken, in 4.3.2 de begrenzing in verticale richting (stroken).

4.3.1 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:

- verloop van de hydraulische randvoorwaarden langs het projectgebied (of: de vakindeling die is gebruikt bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden).
- 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.
- verloop van de geotechnische omstandigheden langs het projectgebied.
- verloop van wensen en eisen voor overige functies (ecologie, landschap, cultuurhistorie en recreatie) langs het projectgebied.
- bijzondere locaties (constructies, scherpe bochten, etc.).

Hieronder worden deze aspecten nader uitgewerkt.

Hydraulische randvoorwaarden als criterium voor vakindeling

Het verloop van de hydraulische randvoorwaarden is sterk bepalend voor de vakindeling van het ontwerp. De golfrandvoorwaarden worden aangeleverd in de vorm van tabellen met waterstandsafhankelijke golfparameters, of worden berekend met de Hydra-programmatuur, zie bijlage B.1. 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'n geval wordt de vakgrens halverwege de uitvoerpunten van de golfberekening gelegd.

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 golfrandvoorwaarden plaatsvinden met behulp van specialistische studie.

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 ontwerprijheid van enkele tienden op de cotangens zoals besproken in bijlage B.2.2, 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 bijlage B.2.1. 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 4.3.2.

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.

Andere invloeden op de vakindeling

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.

4.3.2 Criteria voor de indeling in bekledingsvakken (verticale richting)

Binnen de ontwerpvlakken 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.

Zoals besproken in i.3 kunnen voor de zone boven dat niveau andere overwegingen bestaan om geen grasbekleding maar een steenzetting toe te passen (landschap, beheer); voor deze afweging, zie Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4].

4 Voorbereiding ontwerp

Hier is het uitgangspunt dat alleen een steenzetting wordt toegepast op plaatsen waar een grasbekleding niet voldoende sterkte heeft. Eerst wordt een standaard buitentalud (zonder berm) besproken, vervolgens een buitentalud met berm.

buitentalud zonder berm

Voor de beoordeling van de toepasbaarheid van gras is het van belang dat het gedeelte onder ontwerppeil maatgevend wordt belast door de golfklappen, terwijl op het gedeelte daarboven geen golfklap voorkomt, zodat daar de golfploop maatgevend is. De belasting op de grasbekleding is normaal gesproken maximaal op het ontwerppeil. Naar beneden toe neemt de belasting af doordat bij lagere waterstanden lagere golven horen, en naar boven toe neemt de belasting af doordat de golfploop afneemt met de afstand tot aan de waterstand. Bij rivierdijken is het mogelijk alleen rond het ontwerppeil een steenzetting aan te brengen en daaronder een grasbekleding. Bij zee- en meerdijken is een grasbekleding meestal alleen toepasbaar in de oploopzone, vanaf het ontwerppeil of een bepaald niveau daarboven.

De exacte toepasbaarheidsgrens van een grasbekleding kan worden berekend met de ontwerpregels voor grasbekledingen zoals opgenomen in de Leidraad Zee- en Meerdijken [lit.2]. Het betreft tamelijk ingewikkelde berekeningen waarbij onder meer rekening moet worden gehouden met golfparameters, waterstandsverloop, overslagdebiet en graskwaliteit. Zowel voor de golfklapzone als de golfploopzone kunnen wel indicatieve toepassingsgrenzen worden gegeven, zie kader 4.2 en figuur 4.1.

TOEPASBAARHEID GRASBEKLEDING

IN DE GOLFKLAPZONE onder ontwerppeil,

- een grasbekleding is zeker niet toepasbaar als de taludhelling steiler is dan 1:4 én de golfhoogte H_g groter is dan 1 m;
- een grasbekleding is wel toepasbaar als wordt voldaan aan de volgende eis:
 $4H_g \tan \alpha < 0,2 \text{ m}$;
- als aan deze voorwaarden niet wordt voldaan is de toepasbaarheid afhankelijk van de graskwaliteit en moeten de rekenregels uit [lit.2] worden gebruikt.

IN DE GOLFOPLOOPZONE boven ontwerppeil

- een grasbekleding is, vlak boven ontwerppeil, zeker niet toepasbaar als de golfhoogte H_g groter is dan 3 m;
- een grasbekleding is wel toepasbaar als als het oploopdebiet kleiner is dan 0,1 l/m/s (zie [lit.6] voor de bepaling daarvan);
- als aan deze voorwaarden niet wordt voldaan is de toepasbaarheid afhankelijk van de graskwaliteit en moeten de rekenregels uit [lit.2] worden gebruikt.

Kader 4.2

De volgende werkwijze wordt aanbevolen:

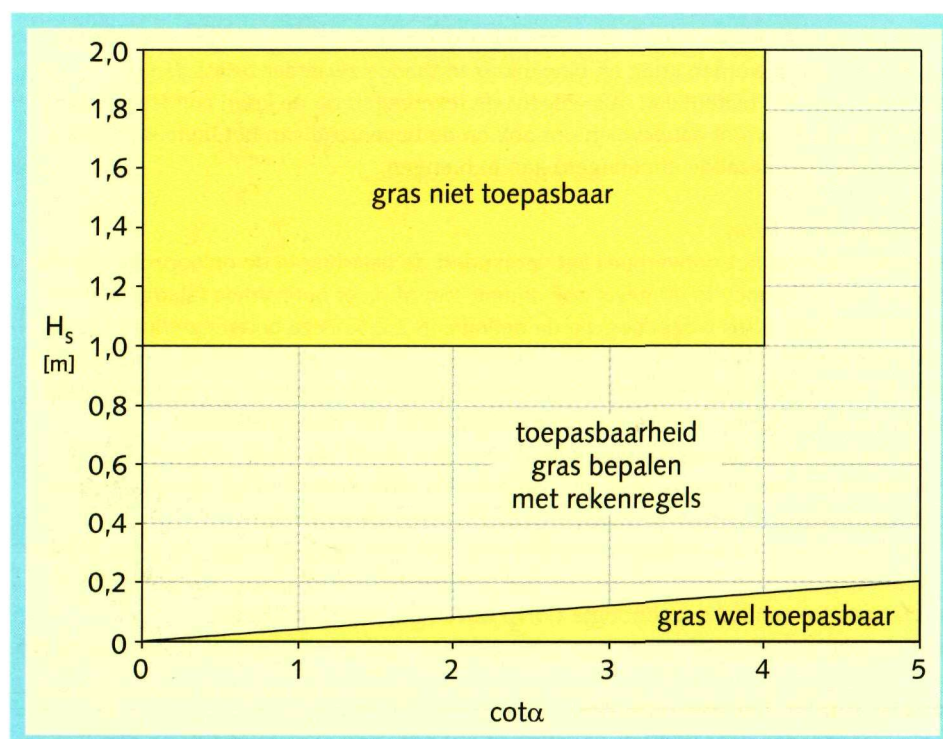
stap 1

Ga na of een grasbekleding toepasbaar is in de golfklapzone, eerst met de regels uit Kader 4.2, vervolgens eventueel met [lit.2].

Als hieruit volgt dat een grasbekleding toepasbaar is, hoeft uit sterkte-oogpunt in het hele dwarsprofiel geen harde bekleding te worden toegepast (niet in de golfklapzone, maar ook niet in de oploopzone). De verdere procedure hoeft niet te worden gevolgd.

Als uit de berekeningen volgt dat een grasbekleding niet toepasbaar is, is in de hele golfklapzone, tot aan ontwerppeil, een harde bekleding nodig. Als voor een steenzetting

Figuur 4.1
Toepasbaarheid
grasbekledingen in de
golflapzone



wordt gekozen, wordt deze ontworpen met de regels in hoofdstuk 5. In dit geval moet worden gekeken of een harde bekleding ook nodig is in de oploopzone. De procedure wordt voortgezet met stap 2.

stap 2

Ga na of een grasbekleding toepasbaar is in de golfoploopzone *nét* boven ontwerppeil, eerst met de regels uit kader4.3, vervolgens eventueel met [lit.2].

Als hieruit volgt dat een grasbekleding *nét* boven ontwerppeil toepasbaar is, geldt dat voor de gehele oploopzone (want de belasting neemt naar boven toe af). De verdere procedure hoeft niet te worden gevolgd. Aanbevolen wordt om de harde bekleding aan te brengen tot aan het niveau ontwerppeil + $\frac{1}{2}H_s$, omdat in de grasregels geen rekening wordt gehouden met de turbulentie rond een overgang. Bovendien is het verstandig om in het ontwerp ook op dit punt enige veiligheidsmarge op te nemen. In theorie volstaat hier een lichtere bekleding, maar het is vaak praktisch om hiervoor hetzelfde ontwerp te gebruiken als net onder ontwerppeil.

Als *nét* boven ontwerppeil een grasbekleding niet toepasbaar is, wordt de procedure voortgezet met stap 3.

stap 3

Ga met de regels van [lit.2] na vanaf welk niveau een grasbekleding wel toepasbaar is.

Als deze grens onder de buitenkruinlijn ligt, wordt aanbevolen om de harde bekleding aan te brengen tot een halve golfhoogte ($\frac{1}{2}H_s$) boven de berekende grens.

Als uit de berekening volgt dat een grasbekleding op het hele buitentalud niet toepasbaar is, wordt aanbevolen om de harde bekleding aan te brengen tot aan de buitenkruinlijn en minimaal 1 m door te trekken op het horizontale gedeelte.

Ook in deze twee gevallen geldt dat boven ontwerppeil in theorie een lichtere bekleding volstaat, maar dat in de praktijk de bekleding van onder ontwerppeil naar boven toe wordt doorgetrokken.

4 Voorbereiding ontwerp

Vooral bij havendammen is de kruin soms lager dan ontwerppeil + de golfploophoogte $z_2\%$. In zo'n geval worden kruin en binnenknik in theorie zwaarder belast dan de bovenrand van het buitentalud. Als volgens de rekenregels op de kruin een steenzetting nodig is (zie 6.7), wordt aanbevolen om ook op de bovenrand van het buitentalud een steenzetting (van dezelfde afmetingen) aan te brengen.

buitentalud met berm

Een berm die rond het ontwerppeil ligt vermindert de belasting in de oploopzone. Onder de term 'berm' kunnen in dit geval ook andere min of meer horizontale taludgedeelten worden verstaan, zoals weggetjes, zie de definitie in 2.2.5. Deze belastingreductie is ook onderdeel van de rekenregels voor gras. Daarom is ook voor een buitentalud met een berm de hierboven beschreven werkwijze in drie stappen toepasbaar om de bovengrens van de harde bekleding te bepalen. Voor buitentaluds met berm geldt echter:

- als de berekende toepasbaarheidsgrens voor gras óp of net onder de berm ligt, volstaat het om de harde bekleding op te trekken tot de buitenknik van de berm en deze minimaal 1 m door te trekken op het horizontale gedeelte;
- als de berekende toepasbaarheidsgrens voor gras zich bevindt boven de berm óf meer dan $\frac{1}{2}H_s$ onder de berm, wordt ook hier aanbevolen om de harde bekleding aan te brengen tot een halve golfhoogte ($\frac{1}{2}H_s$) boven de berekende grens.

Voor steenzettingen op of boven een berm geldt een aparte rekenmethode, zie 6.4 en 6.5.

Als de buitenberm niet binnen $\frac{1}{2}H_s$ boven of onder het ontwerppeil ligt, zou overwogen moeten worden om het bermniveau te veranderen: een berm op ontwerppeil is het meest effectief voor het beperken van de golfploop. Verdere uitwerking hiervan valt buiten het kader van dit technisch rapport.

Variatie binnen het dwarsprofiel

Er zijn vier redenen voor verticale variatie van het ontwerp: aanwezigheid van een berm, variatie in de ondergrond, variatie in de taludhelling en variatie in de hydraulische belasting.

- 1 Als in het buitentalud een berm aanwezig is, worden automatisch drie vakken onderscheiden: onder de berm, de berm zelf en boven de berm.
- 2 De aanwezige ondergrond kan reden zijn voor verticale detaillering. Ter voorkoming van afschuiving is een minimale laagdikte van bekleding plus kleilaag nodig; als de aanwezige kleilaag op een deel van het dwarsprofiel te dun is, moet hiervoor in het ontwerp een oplossing worden gevonden, zie 5.6.
- 3 Soms kan de taludhelling sterk variëren binnen het dwarsprofiel in de bestaande situatie. Van oudsher is het talud onderin het dwarsprofiel vaak steiler dan bovenin. In het ontwerp kan worden besloten om een nieuw dwarsprofiel te ontwerpen met één taludhelling, maar het is natuurlijk ook mogelijk om een apart ontwerp te maken voor bijvoorbeeld twee stroken.
- 4 De hydraulische belasting kan aanleiding zijn voor detaillering in verticale richting. Onder ontwerppeil (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 golfrandvoorwaarden, maar het is niet zinnig om deze indeling te gedetailleerd te kiezen. Als de te ontwerpen strook hoger is dan bijvoorbeeld 2 m (verticaal gemeten) kan het zinnig zijn de verticale indeling verder te verfijnen, afhankelijk van de verticale variatie van de golfrandvoorwaarden. Hierdoor kan lager op het talud een lichtere bekleding worden toegepast; vooral bij hergebruik is het zinnig om deze grens in detail te bepalen, zie bijvoorbeeld 5.3.2. In de praktijk wordt in het ontwerp meestal geen onderscheid gemaakt tussen de zones boven en onder ontwerppeil; in theorie kan boven ontwerppeil een lichtere bekleding worden toegepast, maar dit kan onhandig zijn voor de uitvoering en de mogelijke besparing van materiaalkosten is meestal niet zo groot.

5 Ontwerp bekleding

 zie ook het uitvouwblad

Niet alle varianten voor het bekledingssysteem die zijn opgesomd in hoofdstuk 2 komen in aanmerking voor een ontwerp. Op basis van 'ja/nee-afwegingen' kunnen de varianten in bekledingstypen worden 'uitgefilterd' die absoluut niet in aanmerking komen, zodat met een overzichtelijke set varianten aan het verdere ontwerpproces kan worden begonnen. Dit wordt in paragraaf 5.1 behandeld. Vervolgens komen aan de orde: de keuze van de filterconstructie (5.2), de dimensionering op toplaaginstabiliteit (5.3 en 5.4), het samenstellen van varianten (5.5), de controle op afschuiving (5.6) en de afweging en keuze van de bekleding per vak (5.7).



Het ontwerp verloopt in de praktijk nooit volgens een lineair proces: nieuwe gegevens komen ter beschikking en afwegingen kunnen veranderen, waardoor het proces eerder cyclisch verloopt.

Het gepresenteerde ontwerpproces is gericht op de situatie waar de meeste gebruikers mee te maken hebben: het ontwerpen van een steenzetting op een bestaande dijk, dam of oever. Dit is met name van belang voor de volgorde waarin de drie faalmechanismen worden behandeld (eerst materiaaltransport, dan toplaaginstabiliteit en tenslotte afschuiving), zie kader 5.1.

VOLGORDE BEHANDELEN FAALMECHANISMEN

De volgorde waarin de faalmechanismen worden behandeld heeft geen gevolgen voor de veiligheid van het resulterende ontwerp (want dat moet voldoen aan de eisen ten aanzien van alle drie de mechanismen), maar wel voor de snelheid en efficiency van het ontwerpproces. Bij het ontwerp van een nieuwe dijk, dam of oever met een steenzetting ligt het voor de hand om het grondlichaam eerst af te stemmen op de eisen ten aanzien van afschuiving, vervolgens een filterconstructie te kiezen met het oog op materiaaltransport en tenslotte de toplaag te ontwerpen op het mechanisme toplaaginstabiliteit.

Kader 5.1

Ook andere bekledingstypen dan steenzettingen kunnen in aanmerking komen (gras, plaatbekleding, etc.). Die worden in dit hoofdstuk echter niet besproken; voor de afweging van steenzettingen ten opzichte van andere bekledingstypen, zie Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4].

5.1 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 bijlage A voor een overzicht van alle mogelijke varianten.

5.1.1 Aandachtspunten bij de voorselectie van bekledingstypen

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

- beschikbaarheid toplaagelementen;
 - technische eisen (en wensen): bescherming tegen erosie, uitvoering, beheer;
 - 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 aan de orde maar in de afweging, zie 5.7.

5 Ontwerp bekleding

Beschikbaarheid van toplaagelementen

Dit criterium is alleen van belang voor hergebruik: nieuwe materialen (betonzuilen) zijn in voldoende mate beschikbaar. Granietblokken, basaltzuilen en koperslabblokken worden in de huidige praktijk alleen toegepast bij hergebruik. 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.

Technische eisen: bescherming tegen erosie

Een aanzet voor de voorselectie op het niveau van bekledingssystemen is de klasse-indeling in bijlage A. 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 doorgroeistenen (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 ontwerpproces (met name 5.3). In extreme gevallen, bijvoorbeeld bij een significante golfhoogte van 3 m, kan wel direct worden geconcludeerd dat lichtere toplaagtypen (dunne betonblokken, kleine basaltzuilen) niet toepasbaar zijn. Ontwerpervaring speelt hierbij een grote rol.

Doorgroeistenen worden alleen toegepast als dat vanuit het beheer de voorkeur heeft boven een grasbekleding, en zijn alleen toepasbaar als stromingsbelasting maatgevend is (langsstroming of golfoploop), 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).

Technische eisen: 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. Overlaging met breuksteen is niet mogelijk als het breuksteenpakket niet kan worden ondersteund (bijvoorbeeld als vlak voor de teen een diepe geul loopt). Als een steenzetting geheel onder water moet worden aangebracht zijn blokkenmatten handig, maar ook breuksteen is mogelijk.

In te scherpe bochten is toepassing van betonblokken niet mogelijk of ongewenst. Bij een bochtstraal kleiner dan 100 m kan dit een beperkende factor zijn; in de praktijk is dit meestal geen ja/nee- maar een plus/min-criterium, zie 5.7.1.

Technische eisen: 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.

Voor beperkt beschikbare typen toplaagelementen (hergebruik) kan een afweging worden gemaakt tussen de ontwerpvakken binnen het projectgebied, maar dat kan pas als is bepaald op welke vakken en stroken binnen de ontwerpvakken de beschikbare materialen technisch toepasbaar zijn, zie 5.3.

Overlaging met breuksteen wordt in de huidige praktijk alleen overwogen als de onderste strook van een steenzetting moet worden verbeterd, terwijl daarboven steenzettingen liggen die kunnen worden gehandhaafd.

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.

Omgevingseisen: ecologie

Uit het oogpunt van begroeibaarheid kunnen aan een ontwerpvlak 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), zie 4.1.2. 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 5.7.1.

Omgevingseisen: landschap, cultuurhistorie en recreatie

Uit het criterium landschap volgen slechts zelden absolute eisen waardoor bekledingstypen in de voorselectie afvallen. Het is mogelijk dat aparte ontwerpvlakken 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 5.7.1.

5.2 KIEZEN EN ONTWERPEN FILTERCONSTRUCTIE (DIMENSIONERING OP MATERIAALTRANSPORT)

Deze fase in het ontwerp-proces is niet relevant voor de verbeteringsvariant overlagen met breuksteen: daarbij wordt de bestaande steenzetting, inclusief filter, gehandhaafd.

Alleen als voor een hydraulisch-dicht filterontwerp wordt gekozen heeft de toplaagdikte invloed op het filterontwerp, zie 5.2.1. In dat geval is een iteratieslag nodig

Doorgroeiëtenen worden vaak rechtstreeks op een ondergrond van klei toegepast.

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 3.4). Om dit faalmechanisme te voorkomen wordt in een bekledingssysteem van steenzettingen normaal gesproken een filterconstructie opgenomen, bestaand uit geokunststof en/of granulair materiaal.

Het ontwerp van de filterconstructie wordt aanbevolen als de eerste 'rekenstap' 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.

Het ontwerp van filterconstructies wordt uitgebreid behandeld in CUR-rapport 161 [lit.8]. In deze paragraaf zijn alleen de hoofdlijnen van het ontwerp opgenomen, voor zover specifiek geldig voor een filter in een steenzetting. Eerst worden in 5.2.1 enkele principes van filterontwerp besproken. Daarna wordt in drie stappen het ontwerpproces besproken:

- keuze wel of geen filter (5.2.2);
- keuze geokunststof of granulair filter (5.2.3);
- keuze soort geokunststof/granulair filter en ontwerp (5.2.4).

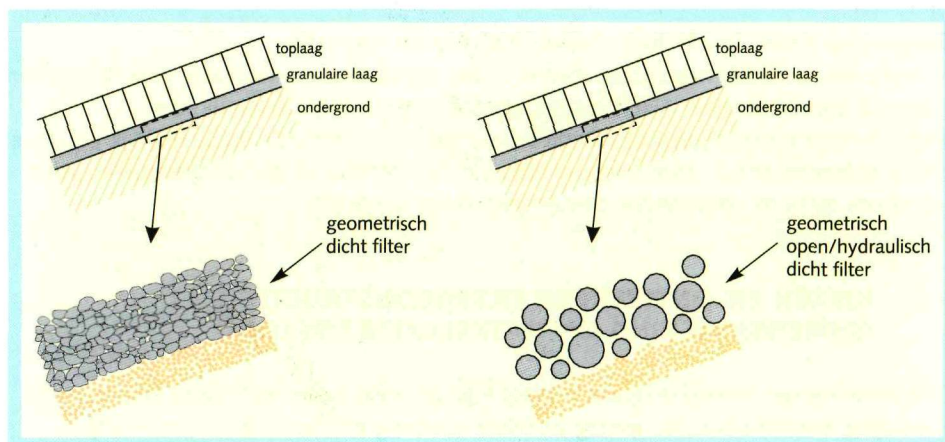
De dimensioneringsregels zijn samengevat in bijlage D.

5 Ontwerp bekleding

5.2.1 Principes filterontwerp

Filters moeten grond dicht en waterdoorlatend zijn. Dit zijn de belangrijkste functionele eisen. Daarnaast kunnen met het oog op de uitvoering sterkte-eisen worden gesteld.

Een belangrijke basiskeuze bij filterontwerp is het ontwerpcriterium voor de grond-dichtheid: geometrisch-dicht of hydraulisch-dicht. In 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 hydraulisch-dicht 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. Een hydraulisch-dicht filter kan dus geometrisch-open zijn, maar een geometrisch-dicht filter is in alle gevallen hydraulisch-dicht, zie figuur 5.1.



Figuur 5.1
Geometrische en
hydraulische dichtheid van
granulaire filters

Bij elk van beide ontwerpcriteria horen ontwerpregels voor de verhouding van de openingsgrootte van de filterconstructie en de korrelgrootte van de ondergrond, zie kader 5.2. De openingsgrootte wordt voor een geokunststof uitgedrukt in de karakteristieke openingsgrootte O_{90} , zie bijlage B.3.10. Bij een granulaair 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 bijlagen B.3.9 en B.3.11. 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.

BASISMATERIAAL OF ONDERGROND?

In de ontwerprichtlijnen voor filters wordt de term 'basismateriaal' gebruikt voor de onderliggende laag waarvan de uitspoeling moet worden voorkomen. In dit hoofdstuk wordt, in lijn met de terminologie in dit technisch rapport, voor dit begrip consequent de term 'ondergrond' gebruikt: in dit technisch rapport wordt de term 'basismateriaal' gebruikt voor de bovenste laag van het grondlichaam (meestal zand of klei), terwijl onder de term 'ondergrond' ook de eventuele granulaire aanvulling valt.

Kader 5.2

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). In 3.4.2 is dit mechanisme '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), zie kader 5.3.

Tenslotte moet rekening worden gehouden met de waterdoorlatendheid: de filterconstructie moet niet veel minder waterdoorlatend zijn dan de ondergrond om opbouw van waterspanning te voorkomen. Aanbevolen wordt om specialisten te raadplegen als de ondergrond (dus het materiaal direct onder de filterconstructie) uit doorlatend materiaal bestaat (bijvoorbeeld gesorteerd granulair materiaal).

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_{f15} nodig (tegen uitspoeling vanuit de ondergrond), bij een open toplaag met golfbelasting is een grote D_{f50} 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. 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, zie 5.2.4.

Kader 5.3

5.2.2 Keuze wel of geen filter

Zoals beschreven in 2.1 is een steenzetting zonder filter slechts mogelijk in uitzonderlijke gevallen, als 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 (golfploopzone of golfklapzone met golven kleiner dan 0,5 m), met een uitspoelingsbestendige ondergrond (klei of keileem) en een kleine open ruimte tussen de toplaagelementen (toplaag van nauw aansluitende elementen). De eventuele gevolgen kunnen acceptabel zijn als de bekleding geen belangrijke rol speelt in de veiligheid tegen overstroming (niet-primaire waterkeringen, oevers, kruin en binnentalud).

ERVARINGSFEIT STEENZETTING ZONDER FILTER

In de jaren '80 zijn op Nederlandse zeedijken boven de getijzone grote oppervlakten aangelegd met betonblokken op klei, vanuit de gedachte dat materiaaltransport zou worden voorkomen door de cohesie van de klei en de zeer kleine open ruimte tussen de toplaagelementen. De ervaring hiermee heeft echter aangetoond dat ook bij deze soort steenzetting materiaaltransport op kan treden. Verwacht wordt dat ook bij licht belaste steenzettingen zonder filter op lange termijn materiaaltransport op zal treden. Op basis van deze ervaring wordt toepassing van een steenzetting zonder filter in het algemeen afgeraden.

Kader 5.4

5 Ontwerp bekleding

De enige voordelen van een steenzetting zonder filter zijn de besparing op de aanlegkosten en de betere doorgroeibaarheid. Deze voordelen moeten door de ontwerper worden afgewogen tegen het nadeel dat op termijn grote kans bestaat op materiaaltransport, zie kader 5.4.

5.2.3 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 cm dik moet zijn en bovendien nog dikker wordt als meer lagen nodig zijn, zie kader 5.3. 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.

DUURZAAMHEID GEOKUNSTSTOFFEN

Over de duurzaamheid 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.

Kader 5.5

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

5.2.4 Keuze soort geokunststof of granulair filter en dimensionering

Keuze soort geokunststof

Zoals besproken in 2.1.5 komen normaal gesproken 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 gronddichtheid, waterdoorlatendheid en uitvoeringssterkte. De keuze wordt vaak bepaald door persoonlijke ervaring en voorkeur van de ontwerper, en 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, zie kader 5.6.

TOEPASSEN FOLIES

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 m 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 5.6.1.

Kader 5.6

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 bestek 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 bijlage B.3.10. Voor de dimensioneringsregels, zie bijlage D. Opgemerkt wordt dat in bijlage D deels aparte dimensioneringsregels worden gegeven voor geokunststof filters met daarop een granulaire laag. Praktijkvoorbeelden zijn opgenomen in sectie III.

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.

Zoals besproken in 2.1.4 komen vooral steenslag en gebroken grind in aanmerking. Indien beschikbaar kan ook breed gegradeerd granulair materiaal worden gebruikt (mijnsteen, 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, zie bijlage D voor de dimensioneringsregels. Deze 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 bestek 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.

In de praktijk zal binnen grotere projecten, met tamelijk constante omstandigheden, vaak worden gewerkt met standaardoplossingen voor geokunststof. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het Project Zeeweringen in Zeeland, zie sectie III.

5 Ontwerp bekleding

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 10 cm.

5.3 DIMENSIONERING OP TOPLAAGINSTABILITEIT – STANDAARD STEENZETTINGEN

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 bijlage A 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 5.6, de dimensionering op toplaaginstabiliteit in deze paragraaf 5.3 voor standaard steenzettingen en in paragraaf 5.4 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 Hoofdstuk 6. 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 terdege 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 5.6. Eventuele problemen die daarbij naar voren komen, kunnen vaak relatief eenvoudig worden opgelost met ontwerp-ingrepen in constructieonderdelen die geen invloed hebben op de faalmechanismen materiaaltransport en toplaaginstabiliteit (zoals bijvoorbeeld een dikkere kleilaag, zie 5.6). Eventueel is in dat stadium een terugkoppeling nodig naar deze stap, de dimensionering op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit.

Van de bekledingstypen uit bijlage A worden in deze paragraaf de rekenmethodes voor toplaaginstabiliteit behandeld. Voor verschillende typen gelden verschillende methoden; daarom is deze paragraaf als volgt ingedeeld:

- 5.3.2: standardelementen op granulaire laag - hergebruik;
- 5.3.3: standardelementen op granulaire laag - nieuw aan te voeren;
- 5.3.4: standardelementen zonder granulaire laag;

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.

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

Met het oog op de andere faalmechanismen dan materiaaltransport (met name toplaaginstabiliteit) moet bij granulaire filters zowel voor de sortering als de laagdikte rekening worden gehouden met veiligheidsmarges, zie bijlage B.3.9, B.3.10 en B.3.11.

Praktijkvoorbeelden zijn opgenomen in sectie III.

Zoals eerder besproken wordt in de huidige ontwerp-praktijk geen rekening gehouden met de reststerkte van de onderlagen (het faalmechanisme erosie van de onderlagen).

In dit hoofdstuk wordt het rekenwerk niet in detail behandeld; in de rekenprocedure wordt verwezen naar de bijbehorende rekenmethodes en -gereedschappen. Een beknopte gebruiksaanwijzing van deze methodes is opgenomen in de bijlagen; zie Achtergronden, hoofdstuk 3, voor de onderbouwing.

5.3.1 Verschil 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, zie i.3. 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 2 (standaardelementen zonder granulaire laag, blokkenmatten, doorgroeistenen) is in de praktijk alleen de situatie met nieuw aan te voeren elementen van belang.

5.3.2 Standaardelementen op granulaire laag - hergebruik

Rekenmethode

Voor steenzettingen op een granulaire laag (uitvullaag en/of filterlaag) kan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit onder golfaanval worden berekend met de analytische methode die is verwerkt in het computerprogramma ANAMOS, zie bijlage E. Voor het bijzondere geval dat langsstroming relevant is staat de algemene dimensioneringsregel voor toplaaginstabiliteit in kader 5.7.

DIMENSIONERING OP TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER LANGSSTROMING

Voor dimensionering op het faalmechanisme toplaaginstabiliteit onder langsstroming wordt de volgende rekenregel gegeven:

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

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid toplaagelementen (B.3.4)	[-]
D	=	dikte toplaag (= hoogte toplaagelementen) (B.3.3)	[m]
u	=	diepte-gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de teen (B.1.6)	[m/s]
g	=	zwaartekrachtsversnelling	[m/s ²]

Benadrukt wordt dat dit een globale rekenregel is. In veel praktische gevallen met grote stromingsaanval is de belastingsituatie zo specifiek, dat specialistisch onderzoek zal worden uitgevoerd, bijvoorbeeld met schaalmodellen. Hetzelfde geldt voor situaties met een combinatie van sterke stroming en sterke golfaanval.

Kader 5.7

5 Ontwerp bekleding

Twee benaderingen voor ontwerp met her te gebruiken elementen

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:

- a berekening tot welk niveau het bekledingstype toepasbaar is, uitgaand van een eerste benadering van de ontwerpwaarde voor de taludhelling;
- b berekening van de steilste taludhelling waarbij het bekledingstype toepasbaar is tot aan de bovengrens van het ontwerpvlak.

a 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 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: bij een hoog talud neemt de golfbelasting vaak toe met het niveau (tot aan de maatgevende hoogwaterstand), zie bijlage B.1. 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 (de verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage B):

- 1 Kies voor de bovenrand van de bekleding in eerste instantie de bovenkant van de ontwerpstrook (B.2.1).
- 2 Zoek de bijbehorende golfrandvoorwaarden op (B.1).
- 3 Neem de ontwerpwaarden voor de gegevens van de toplaag (B.3.2, B.3.3 en B.3.4), de gegevens van de granulaire laag (B.3.8 en B.3.9) en de taludhelling (B.2.2); houd hierbij rekening met de eventuele veiligheidsmarges voor dichtheid, laagdikte granulaire laag en taludhelling.
- 4 Controleer of het resultaat van ANAMOS bij deze invoerwaarden stabiel is.
- 5 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 decimaal. Het hoogste niveau waarbij het resultaat van ANAMOS stabiel is, is het maximale niveau tot waar de beschikbare elementen bij de gekozen taludhelling toepasbaar zijn.

b berekening taludhelling voor toepassing tot bovengrens

Als uit de rekenprocedure in A. 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.

Benadering B 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.

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 bijlage B.2.2 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 (bijv. 0,1 groter).
- 3 Controleer of het resultaat van ANAMOS 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 ANAMOS 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 bijlage B.2.2.

5.3.3 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 ANAMOS, zie bijlage E. Constructief is er geen verschil met 'hergebruik', maar voor de bepaling van de toepasbaarheid is wel een andere procedure nodig.

In de praktijk alleen betonzuilen

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

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

In het algemeen neemt de zwaarte van de golfrandvoorwaarden af met het waterstandsniveau. Elke strook die binnen een ontwerpvlak wordt onderscheiden, wordt ontworpen op

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.

Als langstroming relevant is, gebruik dan de algemene dimensioneringsregel voor toplaaginstabiliteit in kader 5.7.

Uitgangspunt van de rekenprocedure is dat de zwaarst leverbare betonzuilen in het hele ontwerpvlak toepasbaar zijn, zie i.3. Als dit niet het geval is, kan met de rekenprocedures uit 5.3.2 worden bepaald op welk deel van het ontwerpvlak de zwaarst leverbare elementen wél technisch toepasbaar zijn.

5 Ontwerp bekleding

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 ontwerpvlak 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 (zie bijlage B.1), 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 (de verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage B):

- 1 Neem de golftrandvoorwaarden die horen bij de ontwerpstrook (B.1).
- 2 Neem de ontwerpwaarde voor de open ruimte (B.3.2) en voor de kenmerken van de granulaire laag (B.3.8 en B.3.9).
- 3 Neem de ontwerpwaarde voor de cotangens van de ontwerphelling (B.2.2).
- 4 Bepaal voor alle praktisch leverbare waarden voor de dichtheid de kleinste mogelijke zuilhoogte; bij de dichtheid kan worden gewerkt met stappen van 50 à 100 kg/m³ en bij de zuilhoogte met stappen van 5 cm. Eind 2002 waren dichtheden van 2300 tot 2900 kg/m³ en zuilhoogtes van 15 tot 50 cm leverbaar (B.3.3 en B.3.4). Werkwijze voor elke waarde van de dichtheid:
 - 4a Kies een waarde voor de zuilhoogte.
 - 4b Controleer of het resultaat van ANAMOS bij deze invoerwaarden stabiel is.
 - 4c Zo nee: kies een grotere zuilhoogte en voer stap 4b opnieuw uit; zo ja: de laatst 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 bekledingsvlak tot een aantal mogelijke combinaties van dichtheid en zuilhoogte. Bij de range van betonzuiltypen die eind 2002 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 m, dichtheid 2300 kg/m³;
- zuilhoogte 0,25 m, dichtheid 2550 kg/m³;
- zuilhoogte 0,20 m, 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.

Voor het beheer is het 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.

Voor 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. 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 5.6.

5.3.4 Standaardelementen zonder granulaire laag

Rekenmethode

Zoals besproken in 2.1 wordt deze variant alleen bij uitzondering toegepast

Voor steenzettingen zonder granulaire laag, direct op een geokunststof of op een ondergrond van klei, kan de weerstand tegen toplaaginstabiliteit niet worden berekend met de analytische methode volgens ANAMOS. Voor dit bekledingssysteem is alleen een globale ontwerpmethodiek beschikbaar, gebaseerd op de relatie tussen de belastingparameter ξ_{op} (zie bijlage B.1.8) en de parameter $H_s / \Delta D$ (zie bijlagen B.1.2, B.3.3 en B.3.4) waarbij de steenzetting sterk genoeg is. Deze relatie is weergegeven in grafieken, die kunnen worden gebruikt als ontwerpgereedschap. Omdat dit ontwerpgereedschap niet is gebaseerd op de theorie van het faalmechanisme, maar alleen op empirische gegevens, wordt in de praktijk gesproken over de 'black-boxmethode'. De ontwerpgrafiek is opgenomen in bijlage F.

Als langsstroming relevant is, staat de algemene dimensioneringsregel voor toplaaginstabiliteit in kader 5.7.

In de praktijk alleen hergebruik van betonblokken

Voor zover een steenzetting zonder granulaire laag in de huidige praktijk voorkomt betreft het bijna altijd betonblokken. Bij toepassing van betonblokken zal in de praktijk meestal sprake zijn van hergebruik van een bepaalde partij die beschikbaar is. De tekst in deze paragraaf is daarom gebaseerd op hergebruik van betonblokken. Het principe van de rekenprocedure is ook toepasbaar voor een toplaag die uit een ander soort steenzetting met vaste afmetingen is opgebouwd. Net als bij hergebruik van steenzettingen met granulaire laag kunnen twee benaderingen worden gevolgd voor de bepaling van de technische toepasbaarheid.

Twee benaderingen voor ontwerp met te hergebruiken elementen

Benadering *b* 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.

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, net als bij hergebruik van standaardelementen met een granulaire laag (zie 5.3.2):

- a berekening tot welk niveau het bekledingstype toepasbaar is, uitgaand van een eerste benadering van de ontwerpwaarde voor de taludhelling;
- b berekening van de steilste taludhelling waarbij het bekledingstype toepasbaar is tot aan de bovengrens van het ontwerpvlak.

a berekening maximaal niveau bij gekozen taludhelling

Vastgesteld wordt tot welk niveau de beschikbare elementen kunnen worden toegepast als het geometrisch ontwerp van de dijk of dam wordt gehandhaafd. In 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

5 Ontwerp bekleding

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 wel of niet toepasbaar is bij de gekozen taludhelling. In de praktijk is er wel vaak variatie: bij een hoog talud neemt de golfbelasting vaak toe met het niveau (tot aan de maatgevende hoogwaterstand), zie bijlage B.1. 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 (de verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage B):

- 1 Kies voor de bovenrand van de bekleding in eerste instantie de bovenkant van de ontwerpstrook (B.2.1).
- 2 Zoek de bijbehorende golfrandvoorwaarden op (B.1).
- 3 Neem de ontwerpwaarden voor de gegevens van de toplaag (B.3.3 en B.3.4) en de taludhelling (B.1.8); houd hierbij rekening met de eventuele veiligheidsmarges voor dichtheid en taludhelling.
- 4 Bereken de waarde van belastingparameter ξ_{op} (zie B.1.8) en de verhouding $H_c / \Delta D$ en kijk in de ontwerpgrafiek in bijlage F of het bijbehorende punt in het gebied 'goed' ligt.
- 5 Zo nee: kies een lager niveau voor de bovenrand en voer stap 2, 3 en 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 decimaal. Het hoogste niveau waarbij de ontwerpgrafiek een resultaat 'goed' geeft, is het maximale niveau tot waar de beschikbare elementen bij de gekozen taludhelling toepasbaar zijn.

b berekening taludhelling voor toepassing tot bovengrens

Als uit de rekenprocedure in A. 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.

Zoals aangegeven in bijlage B.2.2 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 worden gevarieerd. In de praktijk zal voor hoogstens twee 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).

Eventueel kan ook het openruimtepercentage van de toplaag worden gevarieerd. De hier gegeven procedure gaat over de taludhelling, maar is in principe ook toepasbaar voor het openruimtepercentage.

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.

Rekenprocedure:

- 1 Neem voor de gegevens van de toplaag dezelfde waarden als bij de bepaling van het maximale niveau; neem voor de golftrandvoorwaarden 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 (bijv. 0,1 groter).
- 3 Bereken de waarde van belastingparameter ξ_{0p} (zie B1.8) en de verhouding $H_s / \Delta D$ en kijk in de ontwerpgrafiek in bijlage F of het bijbehorende punt in het gebied 'goed' ligt.
- 4 Zo nee: kies een grotere waarde voor de cotangens van de taludhelling en voer stap 2 en 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 de ontwerpgrafiek een resultaat 'goed' geeft, is de helling tot waar het talud minimaal moet worden verflauwd om de beschikbare elementen op het ontwerpvlak toe te kunnen passen.

5.4 DIMENSIONERING OP TOPLAAGINSTABILITEIT - AANVERWANTE BEKLEDINGSTYPEN

In deze paragraaf worden de aanverwante bekledingstypen op dezelfde manier behandeld als de standaardsteenzettingen in 5.3. 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. Een beknopte gebruiksaanwijzing van deze methodes is opgenomen in de bijlagen, zie Achtergronden, hoofdstuk 8, voor de onderbouwing.

5.4.1 Blokkenmatten

In 2.1.2 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 5.3.3, voor blokkenmatten met of zonder geokunststof op klei, zie 5.3.4.

5.4.2 Doorgroeistenen

Zoals aangegeven in 2.1.2 zijn doorgroeistenen alleen toepasbaar onder langsstroming of golfploep, en dan alleen als ook een grasbekleding volstaat. Als toepassing van doorgroeistenen gewenst is, moet de technische toepasbaarheid daarom worden bepaald met de rekenmethodes voor grasbekledingen. Daarbij kan worden uitgegaan van een goede graskwaliteit, mits daarvoor in het beheer voorwaarden worden geschapen.

Voor het bijzondere geval dat langsstroming relevant is staat de algemene dimensioneringsregel voor toplaaginstabiliteit in kader 5.7. Ook hierbij kan rekening worden gehouden met 10% extra stabiliteit.

De rekenmethodes voor gras worden niet behandeld in dit technisch rapport, zie Leidraad Zee- en Meerdijken (Hoofdstuk B6.2 van het Basisrapport) [lit.2].

5 Ontwerp bekleding

Verdere aandachtspunten bij het ontwerp van doorgroeistenen:

- Zoals aangegeven in 5.1.1 moeten doorgroeistenen niet onnodig worden toegepast, maar alleen daar waar het vanuit het beheer nuttig is.
- Op de overgang van doorgroeistenen naar gras moet er 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.

5.4.3 Ingegoten steenzetting

Bij het ontwerp van 'vol en zat' gepenetreerde (ingegoten) steenzettingen speelt het mechanisme topaaginstabiliteit van losse elementen geen rol, maar in plaats daarvan moet rekening worden gehouden met oplichten van de toplaag door golfaanval of statische wateroverdruk, waardoor migratie van granulair materiaal kan ontstaan.

Er wordt gewerkt aan rekenregels voor dit faalmechanisme, maar op het moment van verschijnen van dit technisch rapport zijn deze nog niet uitgekristalliseerd. Voor het ontwerp van een ingegoten steenzetting wordt daarom verwezen naar de Helpdesk Waterkeren van Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

5.4.4 Overlaging met breuksteen

Rekenmethode

Zoals aangegeven in 2.1.2 zijn er drie varianten voor overlaging van steenzettingen met breuksteen. Deze drie varianten verschillen constructief zodanig dat voor alle drie een afzonderlijke rekenmethode geldt. In deze paragraaf wordt alleen de dimensionering van overlagingen met losse breuksteen behandeld. De methode daarvoor is afgeleid van de formules van Van der Meer voor stabiliteit van breuksteen onder golfaanval.

Berekening kleinste diameter en dichtheid

De maatgevende belasting op een overlaging met losse breuksteen is de golfklap, in combinatie met de golfterugloop over de niet-overlaagde (hoger op het talud gelegen) bekleding. De rekenprocedure in deze paragraaf levert de lichtste combinatie van nominale steendiameter D_{n50} en relatieve steendichtheid Δ op die technisch toepasbaar is.

Rekenprocedure (de verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage B):

- 1 Neem de golfrandvoorwaarden die horen bij een waterstand op het niveau van de bovenkant van de overlaging, zie B.1.5 en de opmerking hieronder. Neem de ontwerpwaarde voor de cotangens van de taludhelling, zie B.2.2.
- 2 Bereken met behulp van bijlage G de minimaal benodigde waarde van de parameter ΔD_{n50} .
- 3 Neem de ontwerpwaarde voor de dichtheid van water (zie B.1.7) en neem de ontwerpwaarde voor de dichtheid van de breuksteen; in de meeste gevallen bedraagt die 2650 kg/m^3 , maar afhankelijk van de beschikbaarheid van breuksteen kunnen ook andere waarden voorkomen (tussen circa 2500 en 3400 kg/m^3).
- 4 Bereken de minimaal benodigde waarde van steendiameter D_{n50} en zoek de bijbehorende standaardsoortering op.

In stap 1 van de procedure is het niveau van de bovenkant van de overlaging nodig, maar dat niveau hangt af van het rekenresultaat (want de laagdikte van de breuksteenoverlaging moet minimaal gelijk zijn aan $2D_{n50}$, gemeten loodrecht op het talud, zie onder *detaillering*). Bij een conservatief ontwerp kan voor het gemak

Oppervlakkig gepenetreerde (overgoten) steenzettingen komen niet in aanmerking voor ontwerp (zie 2.1.2) en worden daarom niet behandeld.

Voor patroon-gepenetreerde breuksteen en 'vol en zat' gepenetreerde breuksteen wordt verwezen naar *Technisch Rapport Asfalt voor Waterkeren* [lit.5].

In deze paragraaf wordt een procedure gegeven die de vereiste breuksteensortering oplevert. Binnen deze procedure worden berekeningen gemaakt volgens een methode die wordt toegelicht in bijlage G.

Bij zeer grote projecten is het ook mogelijk om op basis van de minimaal benodigde dichtheid en dikte een aangepaste sortering te ontwerpen, in plaats van uit te gaan van een standaardsoortering.

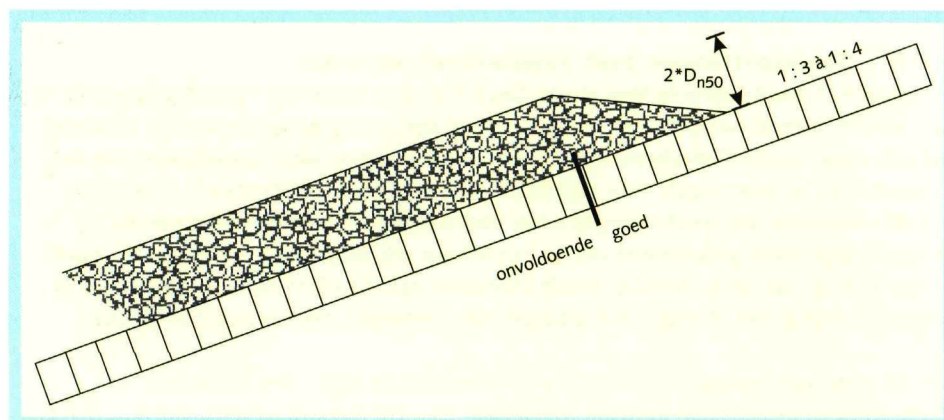
worden gerekend met de zwaarst mogelijke randvoorwaarden. Als het gewenst is om scherp te ontwerpen kan door iteratie worden bepaald wat de optimale combinatie van steendiameter en waterstand/golfrandvoorwaarden is. Zoals aangegeven in bijlage B.1.5 kan in de eerste iteratieslag worden gerekend met een waterstand op 1 m boven de bovenkant van de te overlagen steenzetting. Op basis van de steendiameter D_{n50} die volgt uit stap 4 kan de procedure opnieuw worden doorlopen.

Net als bij steenzettingen is het ook bij het ontwerp van een overlaging in principe mogelijk om de taludhelling en het niveau van de bovengrens aan te passen, ter optimalisatie van het ontwerp. In zo'n geval kan het nodig zijn om de rekenprocedure andersom in te steken (de parameter ΔD_{n50} als invoer, de bovengrens of de taludhelling als resultaat van de procedure). De resulterende waarde van ΔD_{n50} kan worden toegepast in het gehele dwarsprofiel.

detailering

De laagdikte van de breuksteenoverlaging moet minimaal gelijk zijn aan $2D_{n50}$. Deze laagdikte wordt naar boven toe doorgezet tot aan de bovengrens van de te verbeteren steenzetting. Vanaf dat punt wordt het breuksteenpakket horizontaal afgewerkt, zie figuur 5.2. Hierdoor ontstaat bovenin het pakket een breuksteenreserve die een essentieel onderdeel is van de ontwerpregels: de extra breuksteen dient om te voorkomen dat eventuele schade aan de bovenzijde van de overlaging de onderliggende steenzetting bereikt. In combinatie met deze breuksteenreserve kan het bovenste niveau worden gepenetreerd met asfalt of beton.

Voor onderbouwing, zie
Achtergronden 8.5.



Figuur 5.2
Bovengrens overlaging

Een ontwerp volgens deze
regels moet gecombineerd
worden met een
monitoringprogramma.

Aandachtspunten

Een belangrijk aandachtspunt bij breuksteenoverlaging is, dat bij een ontwerp volgens de gegeven regels relatief veel steenbeweging zou kunnen voorkomen (het schadegetal S is 4, zie bijlage G en Achtergronden 8.5), niet alleen bij de zeer zeldzame ontwerpstorm (de wettelijke norm) maar wellicht ook al bij vaker voorkomende, minder zware stormen. Het is van belang dat deze steenbeweging wordt hersteld vóór de volgende storm.

De hier gepresenteerde rekenmethode (met een schadegetal S van 4 en een laagdikte van $2D_{n50}$) is bewezen in de praktijk en leidt tot een veilig ontwerp, maar het beoogde effect van een overlaging (voorbelaasting van de steenzetting) kan ook worden bereikt met een andere combinatie van rekenparameters, bijvoorbeeld een dunnere laag van grotere stenen en met een lager schadegetal S . Dit kan tot een goedkopere constructie leiden. Hiervoor is specialistische kennis nodig.

5 Ontwerp bekleding

5.4.5 Steenzettingen met afstandhouders

Steenzettingen met afstandhouders worden toegepast omdat de vergroting van de toplaagdoorlatendheid zorgt voor toename van de stabiliteit van de toplaagelementen. Voor dit bekledingstype gelden normaal gesproken exact dezelfde rekenregels als voor standaard steenzettingen. Alleen de bepaling van de rekenwaarde van de open ruimte is afwijkend, zie bijlage B.3.2.

Een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp is, dat de afstandhouders ook onder maatgevende omstandigheden hun functie moeten blijven vervullen. In de praktijk is gebleken dat dat alleen mogelijk is als daarvoor speciale voorzieningen zijn getroffen, bijvoorbeeld in de vormgeving van de afstandhouders. Een tweede aandachtspunt is de duurzaamheid van de afstandhouders: de afstandhouders moeten hun functie blijven vervullen gedurende de beoogde levensduur.

Bij het ontwerp op toplaaginstabiliteit wordt afwijkend omgegaan met platgeplaatste blokken met afstandhouders. Zoals beschreven in 2.1.3 en bijlage B.3.1 wordt in de rekenregels voor ontwerp op toplaaginstabiliteit (het programma ANAMOS) gerekend alsof er geen granulaire voegvulling aanwezig is, omdat het rekenmodel alleen de negatieve invloed kwantificeert. De enige uitzondering op deze regel wordt gevormd door rechthoekige blokken waarvan de elementhoogte (dus de toplaagdikte) kleiner is dan de elementlengte of -breedte: met modelonderzoek is vastgesteld dat dit type veel ongunstiger is; daarom moet bij het ontwerp in dit geval wél worden ingevoerd dat er inwassing is.

5.4.6 Steenzettingen met ruwheidselementen

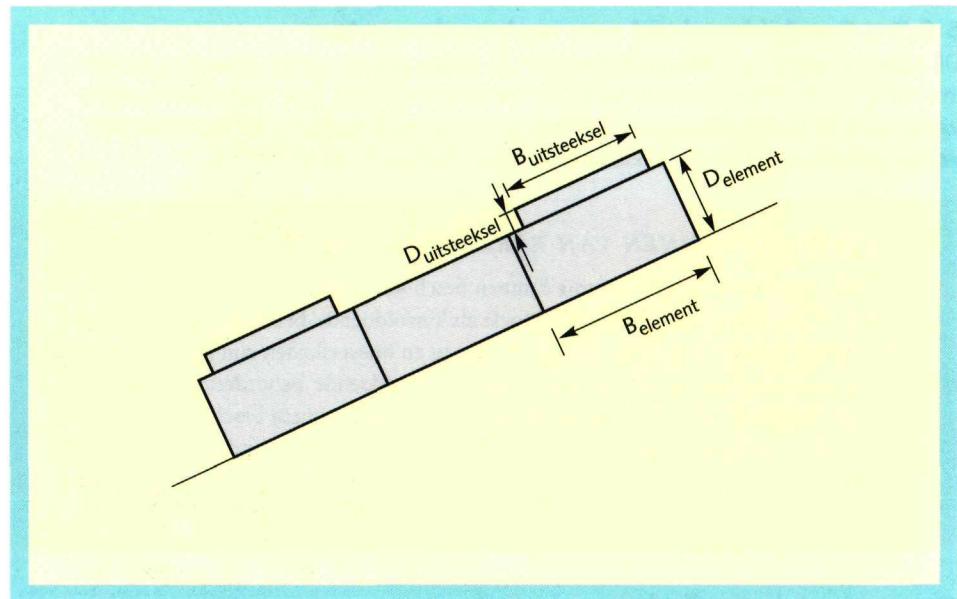
Toplagen met ruwheidselementen (zoals 'beverkoppen') komen in bijzondere gevallen in aanmerking voor ontwerp als het nodig is om de golfoploop te verkleinen. De krachten van het water op de uitsteeksels zorgen voor een bijzondere belastingssituatie, die niet is verwerkt in de rekenregels voor standaard steenzettingen: 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 [lit.6]; in deze paragraaf wordt besproken hoe in het ontwerp met dit type steenzettingen moet worden omgegaan.

Aan de hand van modelproeven is geconstateerd dat de regels van standaard steenzettingen in bepaalde gevallen toepasbaar zijn. De toepasbaarheidsvoorwaarden zijn dus gerelateerd aan de omstandigheden waarbij de modelproeven zijn uitgevoerd. De voorwaarden zijn (zie figuur 5.3):

- de dikte van de uitsteeksels ($D_{\text{uitsteeksel}}$) moet kleiner zijn dan 1/3 van de breedte van de elementen (B_{element} , zie figuur 5.3);
- 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.

Als aan deze voorwaarden wordt voldaan kunnen de rekenprocedures en -regels uit 5.3 worden gebruikt. In de berekeningen moet in dat geval geen rekening worden gehouden met de extra toplaagdikte.

Voor de dimensionering op toplaaginstabiliteit van steenzettingen met ruwheidselementen geldt exact dezelfde rekenprocedure als voor steenzettingen zonder ruwheidselementen (zie 5.3), 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 5.3
Definitie breedte en dikte bij
ruwheidselementen

5.5 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 ontwerpvakken 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 5.7.

De eerste stap is het maken van een tabel waarin voor elk ontwerpvak is aangegeven welke bekledingstypen in aanmerking komen, als samenvatting van de voorselectie in de voorgaande stappen van het ontwerpproces (5.5.1). In aanvulling daarop moet in dit stadium de precieze beschikbaarheid van toplaagelementen in beeld worden gebracht, voor zover sprake is van hergebruik (5.5.2). In de praktijk wordt de afweging vaak niet gemaakt op basis van een abstracte tabel van bekledingstypen, maar wordt per ontwerpvak een beperkt aantal dwarsprofielen samengesteld en uitgewerkt (5.5.3). 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 (5.6).

5.5.1 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 ontwerpvakken waarvoor meerdere bekledingstypen in aanmerking komen.

Elk ontwerpvak 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 m^2 op te nemen, zie ook 5.5.2.

5 Ontwerp bekleding

5.5.2 Beschikbaarheid van toplaagelementen

Dit aspect is alleen van belang bij hergebruik: nieuw aan te voeren bekledingstypen zijn in voldoende mate beschikbaar. In de voorselectie (5.1) is al voor elk bekledingstype vastgesteld óf het beschikbaar is voor het projectgebied. In deze stap moet worden vastgesteld hoevéél van elk bekledingstype beschikbaar is, zie kader 5.8.

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.

Kader 5.8

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 5.1.

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	

Tabel 5.1
Voorbeeldtabel
beschikbaarheid

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 duurzaamheid 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. De duurzaamheid van het materiaal is normaal gesproken zo groot dat bijna alle elementen geschikt zijn voor hergebruik. Incidenteel kunnen basaltzuilen in de loop der tijd echter sterk verweren. Dit verschijnsel heet 'zonnebrand'. Net als de soms aanwezige elementen met asfaltvervuiling zijn deze zuilen niet geschikt voor hergebruik in een steenzetting.
- Bij handmatig zetwerk kan het ook gebeuren dat juist de zwaardere elementen worden uitgeselecteerd omdat ze minder handelbaar zijn.

Kader 5.9

De oppervlakte van het bekledingstype in de bestaande bekleding is een uiterste bovengrens van de bekleedbare oppervlakte in de nieuwe bekleding, zie kader 5.9.

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.

5.5.3 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 5.7.

5.6 CONTROLEREN OP AFSCHUIVING

De dwarsprofielen zoals beschreven in 5.5.3 voldoen allemaal aan de eisen vanuit de faalmechanismen topklaaginstabiliteit 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.

5.6.1 Controle op afschuiving

Bij deze controle kan in principe dezelfde werkwijze worden gevolgd als bij het toetsen van een steenzetting op afschuiving: ten eerste wordt nagegaan of de beschikbare rekenmethode nodig en toepasbaar is, en daarna volgt een berekening. Aparte aandacht wordt besteed aan de relatie van de relevante parameters met de micro- en macrostabiliteit van de dijk.

Toepassingsvoorwaarden van de rekenregel

Er zijn een aantal gevallen waarvoor de rekenregel niet toepasbaar is (afhankelijk van constructie-opbouw en taludhelling), en er zijn een aantal gevallen waarbij toepassing van de rekenregel niet nodig is omdat direct kan worden gesteld dat de weerstand tegen afschuiving groot genoeg is.

Als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) direct op de kleikern van de dijk ligt, zonder dat een zandlaag aanwezig is tussen kleikern en bekleding, is afschuiving geen probleem.

Voor alle steenzettingen in de dwarsprofielen geldt, dat indien mogelijk tussen de topklaagelementen voegvulling wordt aangebracht om wrijving en/of klemming tussen de topklaagelementen te bevorderen. De sortering en de hoeveelheid van de inwassing hangen af van het topklaagtype, zie bijlage B.3.1. Zoals besproken in 2.1.3 wordt het inwasmateriaal niet expliciet in de berekeningen betrokken.

Een bijzonder geval wordt gevormd door steenzettingen op een folie, zie 5.2.4: als de helling steiler is dan 1:4, is specialistische kennis nodig om de weerstand tegen afschuiving te beoordelen. De rekenregel is dan niet toepasbaar.

5 Ontwerp bekleding

Als de steenzetting op een profiel ligt met een zandscheg, is de rekenregel niet toepasbaar en is specialistische studie nodig, zie kader 5.10.

INVLOED ZANDSCHEG OP AFSCHUIVING

De rekenregel is niet toepasbaar als de steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) op een profiel ligt met een tussenzandlaag (zandscheg). Dit komt voor bij een kleikern die is aangevuld met zand, waarop vervolgens een afdekkende kleilaag is aangebracht. De steenzetting (inclusief eventuele granulaire laag en/of geokunststof) ligt op de kleilaag. In de zandscheg kan een zeer hoge freatische lijn ontstaan (statische wateroverdruk), met daardoor een reëel gevaar voor afschuiving. Voor controle op afschuiving van een dwarsprofiel met zandscheg is specialistische studie nodig (zie Achtergronden, hoofdstuk 4), maar voor het ontwerp wordt aanbevolen om het dwarsprofiel zodanig aan te passen dat statische wateroverdruk niet op zal treden, bijvoorbeeld door waterafvoer vanuit het zand mogelijk te maken of de zandscheg te verwijderen.

Kader 5.10

De gedetailleerde rekenregel kan alleen worden toegepast als de taludhelling flauwer is dan 1:2,7. Voor controle op afschuiving van een steiler dwarsprofiel is specialistische studie nodig (zie Achtergronden 4.4), maar voor het ontwerp wordt aanbevolen om een flauwer talud aan te brengen.

Voor profielen zonder zandscheg kan als eerste controle een eenvoudige rekenregel worden toegepast: de weerstand tegen afschuiving volstaat zeker als de dikte van de kleilaag groter is dan de significante golfhoogte H_s . Benadrukt wordt dat de andere bekledingslagen in deze deelstap niet mogen worden meegerekend. De toepasbaarheid van de regel is onafhankelijk van de taludhelling. Behalve voor steenzettingen is deze regel overigens ook van belang voor grasbekledingen. Als aan deze eenvoudige regel al wordt voldaan, is het niet nodig om de 'gedetailleerde' rekenregel onder het volgende kopje toe te passen.

Toepassing van de rekenregel

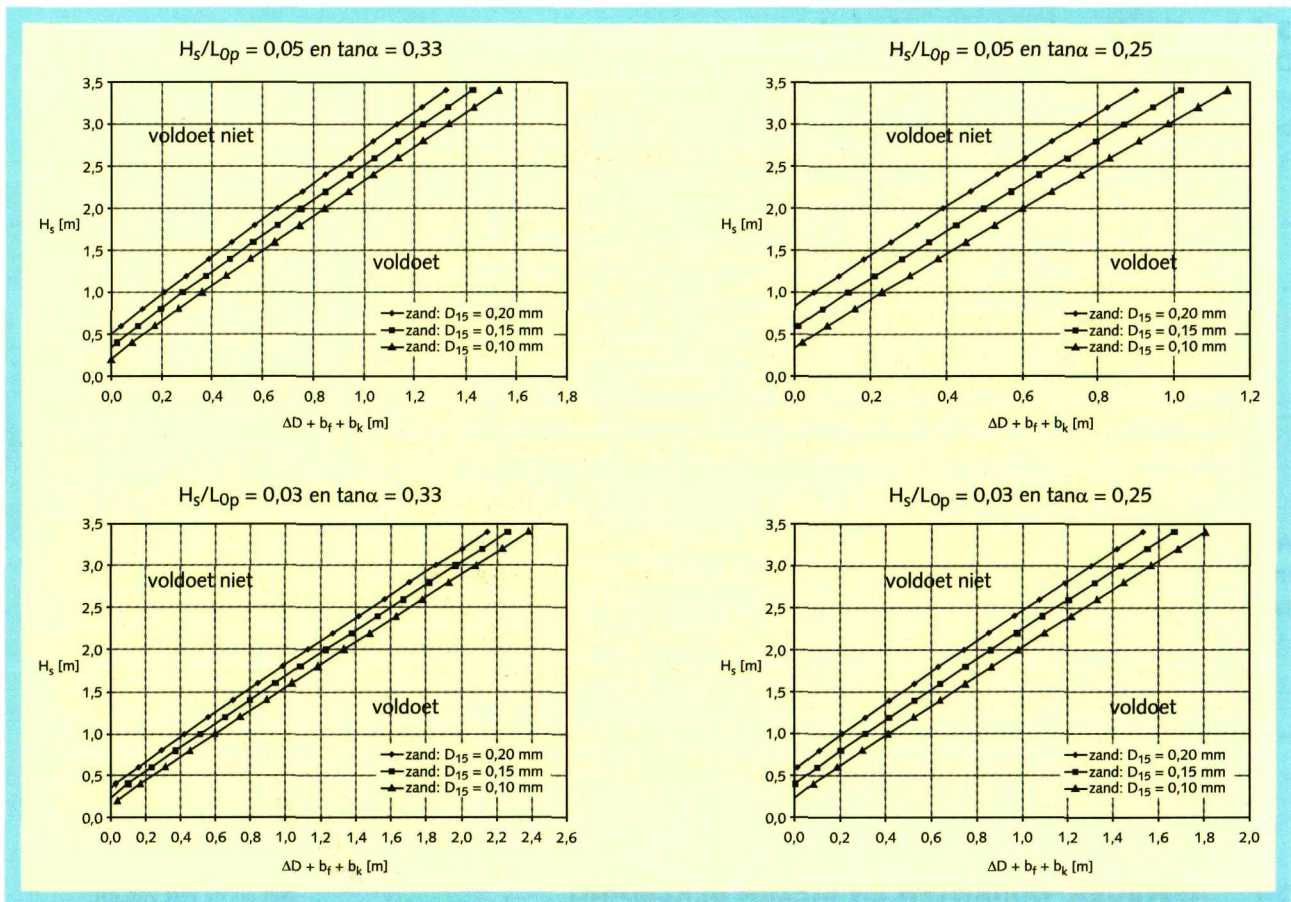
De weerstand tegen afschuiving is groot genoeg als aan de volgende eis wordt voldaan:

$$\Delta D + b_f + b_k > \min\{0,16H_s^{0,2} T_p^{1,6} (\tan\alpha)^{0,8}; 1,5H_s\} - 1334 \cdot (1 - 1,19 \cdot \tan\alpha) D_{15} \sqrt{T_p}$$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid van de top laag	[-]
D	=	dikte van de top laag	[m]
b_f	=	dikte van de granulaire laag	[m]
b_k	=	dikte van de kleilaag	[m]
α	=	lokale taludhelling	[-]
D_{15}	=	representatieve korrelgrootte van het onderliggende zand	[m]

Ter verduidelijking: het is de bedoeling om bij de berekening het minimum te gebruiken van de twee factoren tussen de accolades. In figuur 5.4 is deze formule ter indicatie weergegeven voor een aantal combinaties van waarden. In de grafieken staat de vereiste verhouding tussen de totale laagdikte $\Delta D + b_f + b_k$ en de golfhoogte H_s voor combinaties van de golfsteilheid (het quotiënt van golfhoogte H_s en golf lengte L_{0p}), taludhelling α en korrelgrootte van het zand D_{15} .



Figuur 5.4
Rekenregel voor de
weerstand tegen afschuiving

Bij tussenliggende waarden en ook bij waarden buiten de grafieken kan de formule worden gebruikt (behalve bij taludhellingen steiler dan 1:2,7, zie onder toepassingsvoorwaarden).

Relatie met andere faalmechanismen

De kleilaagdikte is een belangrijke parameter bij de controle op afschuiving, maar kan ook een belangrijke rol spelen in andere faalmechanismen van de dijk, die niet in dit technisch rapport worden behandeld: de kleilaagdikte beïnvloedt de freatische lijn in de dijk en is dus van belang voor de microstabiliteit en de binnenwaartse macrostabiliteit. Het is mogelijk dat uit deze faalmechanismen strengere eisen volgen voor de kleilaagdikte.

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 m 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, etc.

5 Ontwerp bekleding

5.6.2 Maatregelen tegen afschuiving

De weerstand tegen afschuiving kan worden verbeterd door het pakket van toplaag, 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 ontwerp-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 toplaagelementen met een grotere dichtheid kiezen; als de bovenkant van de toplaag 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 toplaag niet verandert;
- toplaagelementen toepassen met grotere hoogte en dichtheid dan nodig uit het oogpunt van toplaaginstabiliteit. 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 5.2.
- Als er iets verandert aan de toplaag of aan dikte of doorlatendheid van de granulaire laag, moet de constructie opnieuw worden gecontroleerd op toplaaginstabiliteit, volgens de methodes in 5.3 en 5.4.

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

5.7 AFWEGEN VARIANTEN EN KIEZEN BEKLEDING

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 per vak, op basis van plus/min-criteria, worden in deze paragraaf besproken.

Eerst worden in 5.7.1 de afwegingscriteria behandeld die in deze fase van het ontwerp-proces van belang zijn. Per criterium worden aandachtspunten gegeven. Vervolgens wordt in 5.7.2 aandacht besteed aan de verschillende methoden die gebruikt worden voor het maken van een keuze.

5.7.1 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 tenslotte op de kosten. Ze worden hieronder nader uitgewerkt.

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.

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 constructie-onderdelen van belang zijn: de berm en het bovenbeloop. Het ontwerpproces van berm en bovenbeloop, inclusief de afweging en keuze, wordt beschreven in 6.4 en 6.5.

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 typen betonelementen en regelmatige koperslakblokken 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 beton zuilen bestaan uit dit oogpunt kleine verschillen, maar voor alle typen zijn speciale voor zeningen 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 voorkómen van vandalisme een aandachtspunt zijn. Hieruit kunnen ja/nee-criteria volgen (zie 5.1.1), 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. Overlaging met breuksteen is wat dit betreft 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

5 Ontwerp bekleding

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 (zie 2.1.1).

repareerbaarheid

Schade aan de bekleding moet zo eenvoudig mogelijk en zo goed mogelijk kunnen worden gerepareerd. De keuze van het top laagtype kan hierop invloed hebben. Voor de beheerder kan het belangrijk zijn dat de top laag 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 omgeving

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.

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 [lit.2].

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.

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.

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 [lit.4]. 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 dit technisch rapport 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 6 à 8 goedkoper. Een bekleding van bestaande elementen die per element worden gezet is ongeveer een factor 3 goedkoper dan een bekleding van nieuwe elementen die machinaal per pakket worden gezet.

5.7.2 Vergelijking en keuze

De verschillende criteria kunnen niet een-op-een 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 [lit.4]. In de praktijk wordt vaak volstaan met een scoretabel waarin de waardering voor de relevante criteria gepresenteerd wordt, zie de voorbeelden in sectie III van dit deel Ontwerp voor een concrete uitwerking.

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

6 Ontwerp overige constructieonderdelen

 zie ook het uitvouwblad

In dit hoofdstuk staan de afweging, keuze en uitwerking van de constructieonderdelen anders dan de bekleding van het buitentalud onder ontwerppeil. Dit hoofdstuk heeft voor deze onderdelen dus dezelfde functie als hoofdstuk 5 voor de taludbekleding onder ontwerppeil. Elk constructieonderdeel wordt in een aparte paragraaf behandeld, met in sub-paragrafen de afweging en keuze van varianten en de dimensionering.

6.1 TEENBESTORTING

Ontwerpprocedure

Eerst moet worden afgewogen of een teenbestorting nodig is of niet. Zo ja, dan wordt vervolgens de afweging gemaakt tussen drie mogelijke typen bestortingen. In combinatie daarmee wordt de steensortering gedimensioneerd. Het gekozen type wordt vervolgens uitgedetailleerd (laagdikte, aansluitingen, etc.).

Wel of geen teenbestorting

Een teenbestorting wordt in principe altijd aangelegd als de teenconstructie in de getijzone ligt (of rond de waterlijn bij meerdijken), maar is niet altijd nodig voor een teenconstructie boven de getijzone, als het voorland hoog is.

Binnen de getijzone of rond de waterlijn zal het voorland meestal zo los gepakt zijn dat een teenconstructie zonder teenbestorting enigszins naar voren moet komen (vervorming) om de kracht van de bekleding op te kunnen nemen. Dit is zeer ongewenst vanwege het negatieve effect op wrijving/klemming van de toplaagelementen en omdat de toplaagelementen voorover zullen gaan hellen (kammen). Verder is de kans op erosie van het voorland groter bij een teenconstructie binnen de getijzone. Voor een teenconstructie boven de getijzone kan de benodigde ondersteuning ook worden verkregen door voldoende diepe fundering (damwand of palen); een teenbestorting is in dat geval meestal niet nodig, tenzij er een risico bestaat van erosie van het voorland.

Losse bestorting, patroon-gepenetreerd of vol en zat gepenetreerd

Een gepenetreerde bestorting is duurder dan een losse bestorting en heeft verder de volgende nadelen: er is een extra slag nodig in de uitvoering en toepassing van asfalt kan ongewenst zijn uit het oogpunt van ecologie, milieu en landschap. Als de belasting niet te zwaar is, wordt daarom in principe een losse bestorting toegepast. Patroonpenetratie komt in aanmerking als de stenen van een losse bestorting te groot zouden worden uit het oogpunt van beschikbaarheid, landschap of betreedbaarheid. Als ook bij patroonpenetratie te grote stenen nodig zijn, komt 'vol en zat'-penetratie in aanmerking.

Dimensionering steensortering

Voor de rekenregels van gepenetreerde teenbestortingen wordt verwezen naar het Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren [lit.5].

Voor teenbestortingen van losse breuksteen bestaan aparte dimensioneringsregels voor de situaties met en zonder golfaanval-reducerend voorland. Ten eerste moet worden bepaald of het voorland voldoende hoog en lang is om de reducerende invloed in rekening te kunnen brengen. Vervolgens kan de benodigde breuksteensortering worden berekend.

Bij vervanging van een steenzetting is het mogelijk dat de teenbestorting samen met de teenconstructie nog in goede staat is en kan worden gehandhaafd.

Als toplaagelementen voor hergebruik beschikbaar zijn en technisch toepasbaar als bestortingsmateriaal, zal in principe daarvoor worden gekozen.



6 Ontwerp overige constructieonderdelen

golfaanval-reducerend voorland of niet?

De golfaanval-reducerende werking van het voorland kan in rekening worden gebracht als de lengte van het hoge voorland groter is dan de golflengte L_{op} bij die waterstand waarbij de maatgevende golven nog juist dieptebeperkt zijn. Voor alle elementen van deze vergelijking wordt de wijze van bepaling besproken.

De linkerkant van de vergelijking is de lengte van het voorland; deze volgt uit inmetingen. Daarbij mag alleen het gedeelte vanaf de teen in rekening worden gebracht waarvan de helling flauwer dan 1:30 is.

De rechterkant van de vergelijking is ingewikkelder: eerst moet worden bepaald bij welke waterstand de maatgevende golven diepte-beperkt zijn en vervolgens moet de bijbehorende golflengte worden bepaald. Hiervoor wordt een stapsgewijze rekenprocedure gegeven. Een golf is dieptebeperkt als de golfhoogte groter dan of gelijk aan de helft van de waterdiepte is. Bij het ontwerp van een dijkbekleding zijn normaal gesproken de hydraulische randvoorwaarden beschikbaar op een locatie buitendijks van het voorland. Als deze golven boven een voorland komen, en als de golfhoogte groter is dan de helft van de waterdiepte, neemt hun hoogte ter plaatse van het voorland af tot de helft van de waterdiepte. Bij het ontwerp van een bekleding is, zeker bij zee- en meerdijken, informatie beschikbaar over het verloop van de maatgevende golfhoogte met de waterstand (buitendijks van het voorland); dit verloop wordt aangeduid als 'de randvoorwaardentabel'. De golflengte L_{op} die nodig is om te bepalen of het voorland de golfaanval reduceert, kan als volgt worden bepaald:

- 1 Bepaal het niveau van het voorland. Als het voorland niet vlak is, wordt het voorland-niveau gebruikt op een halve golflengte L_{op} vanaf de teen. Daarbij gaat het om de waarde van L_{op} die het resultaat is van deze rekenprocedure, dus er is een iteratie nodig. Als eerste benadering kan worden uitgegaan van de grootste golflengte volgens de randvoorwaardentabel. Omdat de golflengte L_{op} gelijk is aan $gT_p^2 / 2\pi$ (zie bijlage B.1.3) volgt deze uit de grootste waarde voor de piekperiode T_p .
- 2 Bepaal de waterstand waarbij de golfhoogte gelijk is aan de helft van de waterdiepte. Een praktische methode hiervoor is, om de golfhoogte volgens de randvoorwaardentabel en de halve waterdiepte (op basis van de waterstand volgens de randvoorwaardentabel en het voorlandniveau uit stap 1) in één grafiek en op dezelfde schaal uit te zetten tegen de waterstand. De gezochte waterstand hoort bij het kruispunt van deze twee lijnen.
- 3 Bepaal de golflengte L_{op} met de randvoorwaardentabel ($L_{op} = gT_p^2 / 2\pi$, zie bijlage B.1.3).

Als het voorland vlak is, is het resultaat van de eerste iteratie de gezochte waarde. Als het voorland niet vlak is, moet de aanname voor het voorlandniveau in stap 1 worden geverifieerd en moeten de stappen 2 en 3 eventueel opnieuw worden doorlopen. Omdat het alleen over flauwe voorlanden gaat (helling flauwer dan 1:30) zal een extra iteratie vaak niet nodig zijn.

Als de linkerhelft van de vergelijking (lengte van het voorland) groter is dan de rechterkant (de gevonden waarde voor de golflengte L_{op}) mogen de dimensioneringsregels voor de situatie met golfaanval-reducerend voorland worden gebruikt; er zijn aparte regels voor het andere geval.

dimensioneringsregel voor situatie met golfaanval-reducerend voorland

Als de bovenkant van de teenbestorting zich bevindt op het niveau van het voorland (waarvan in het voorgaande aangetoond is dat het golfaanval-reducerend werkt), kan in alle gevallen worden volstaan met een breuksteensortering 10-60 kg. Dit is onafhankelijk van de golfaanval.

Als de bovenkant van de teenbestorting boven het voorlandniveau ligt, wordt de breuksteensortering bepaald door de golfhoogte H_g die hoort bij de waterstand waarbij de maatgevende golven nog dieptebeperkt zijn (dezelfde waterstand die is bepaald om vast te stellen of het voorland lang genoeg is). Als deze golfhoogte H_g kleiner is dan 2 m, volstaat ook in dit geval een breuksteensortering van 10-60 kg; bij een grotere golfhoogte is een sortering van 40-200 kg nodig.

dimensioneringsregel voor situatie zonder golfaanval-reducerend voorland

Als niet kan worden aangetoond dat het voorland golfaanval-reducerend werkt, moet worden aangenomen dat de teenbestorting rechtstreeks wordt belast door golfaanval. Ook in dit geval geldt dat minimaal een sortering 10-60 kg moet worden toegepast, maar aanvullend daaraan moet een controleberekening worden gemaakt volgens de ontwerpregels voor taludbekledingen van breuksteen (regels van Van der Meer, verwerkt in Breakwat). In de berekening moet worden uitgegaan van een taludhelling van 1:5 (alhoewel de werkelijke helling meestal flauwer is) en van een schadegetal S van 3. De maatgevende belasting hoort bij een waterstand op het niveau van de bovenzijde van de toplaag van de teenbestorting, zie bijlage B.1.

Detailering van de constructie

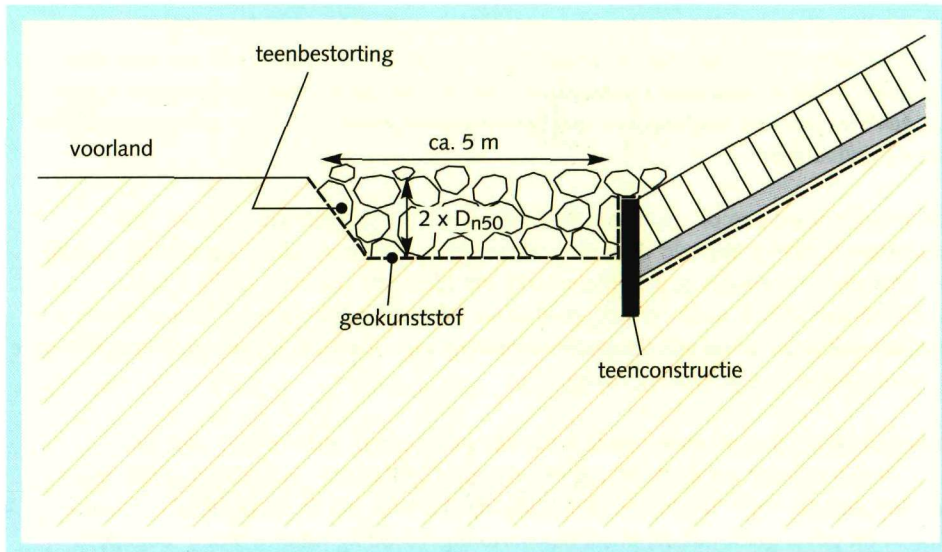
Als de breuksteensortering van de teenbestorting gekozen is, moet de verdere vormgeving worden vastgesteld: de hoogte, de breedte en de filterconstructie.

Voor de hoogte wordt een standaardwaarde van $2 \cdot D_{n50}$ aangehouden. Voor de breedte kunnen in de praktijk de volgende praktische, conservatieve waarden worden aangehouden: 5 m bij breuksteensorteringen tot en met 60-300 kg, 10 m bij een sortering van 300-1000 kg.

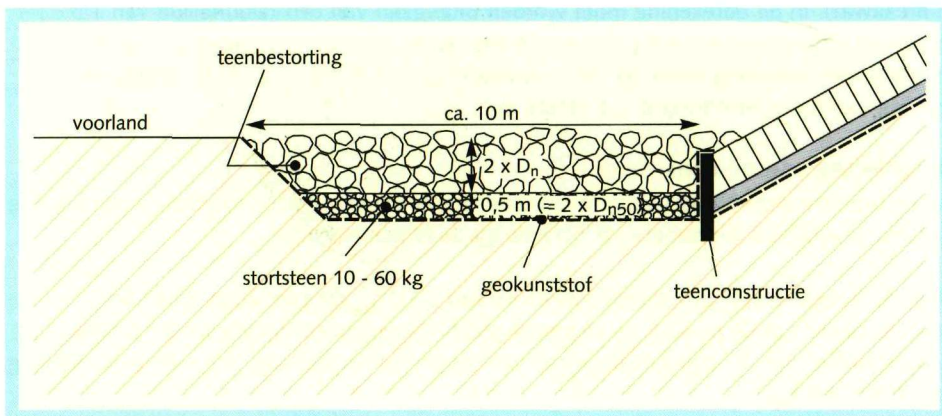
Onder de teenbestorting wordt in het algemeen een geokunststof toegepast om uitspoeling van het basismateriaal te voorkomen en de bestorting goed aan te kunnen brengen. Dit is overigens niet nodig als de teenbestorting op een bestaande bekleding rust. Meestal wordt geweven geokunststof toegepast, omdat daarmee de vereiste zanddichtheid en sterkte kunnen worden bereikt. In de uitvoering kan op het geokunststof extra bescherming worden aangebracht, zoals een vlies (non-woven) of rietmat.

Bij het aanbrengen van de breuksteen kan het onderliggende geokunststof worden beschadigd; onder een toplaag van 300-1000 kg wordt daarom een beschermingslaag toegepast, met een sortering van bijvoorbeeld 5-40 kg of 10-60 kg. Vaak worden hiervoor vrijkomende toplaagelementen gebruikt. Bij lichtere sorteringen is deze tussenlaag niet nodig, mits de toplaag met zorg wordt aangebracht. Overwogen kan worden om de tussenlaag van 10-60 kg voor de zekerheid ook bij lichtere toplaagsorteringen toe te passen. Ook in dat geval moet de breuksteen zorgvuldig worden aangebracht om beschadiging van het geokunststof te voorkomen, zie figuur 6.1 en 6.2.

6 Ontwerp overige constructieonderdelen



Figuur 6.1
Voorbeeld teenbestorting tot en met sortering 60-300 kg



Figuur 6.2
Voorbeeld teenbestorting vanaf sortering 300-1000 kg

6.2 TEENCONSTRUCTIE

Ontwerprocedure

Voor een steenzetting die tot onderaan een talud reikt is in principe altijd een teenconstructie nodig. 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 m boven de laagwaterstand aangebracht. Als de teenconstructie houten onderdelen bevat is een ligging onder water overigens juist gunstig, uit het oogpunt van duurzaamheid.

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, 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 'ongeroid' te laten.

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 meer dan 30 jaar in geval van hardhout en 10 à 15 jaar bij andere houtsoorten. Als een langere levensduur van de constructie gewenst is, komen houten onderdelen alleen in aanmerking als inspectie en vervanging mogelijk zijn.

Detailering 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 ANAMOS, zie 5.3 en bijlage E. 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 teenconstructie ligt op de overgang tussen het weefsel onder de teenbestorting en de filterlaag onder de taludbekleding (geokunststof of granulaire filter). Deze overgang moet zorgvuldig worden vormgegeven, om uitspoeling bij de teenconstructie te voorkomen.

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 topklaag en onderklaag 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 ±1,8 m. Bij een damwand is vooral de inheidiepte van belang, bijvoorbeeld ±1,5 m. De benodigde lengte is groter als de teenconstructie niet wordt ondersteund door een bestorting.

Voor praktijkvoorbeelden, zie sectie III.

6.3 OVERGANGS- EN AANSLUITINGSCONSTRUCTIES

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 topklaagstabiliteit van de omringende bekleding. Tenslotte wordt de constructie gedetailleerd (stap 4).

Stap 1 Keuze van het type betonband

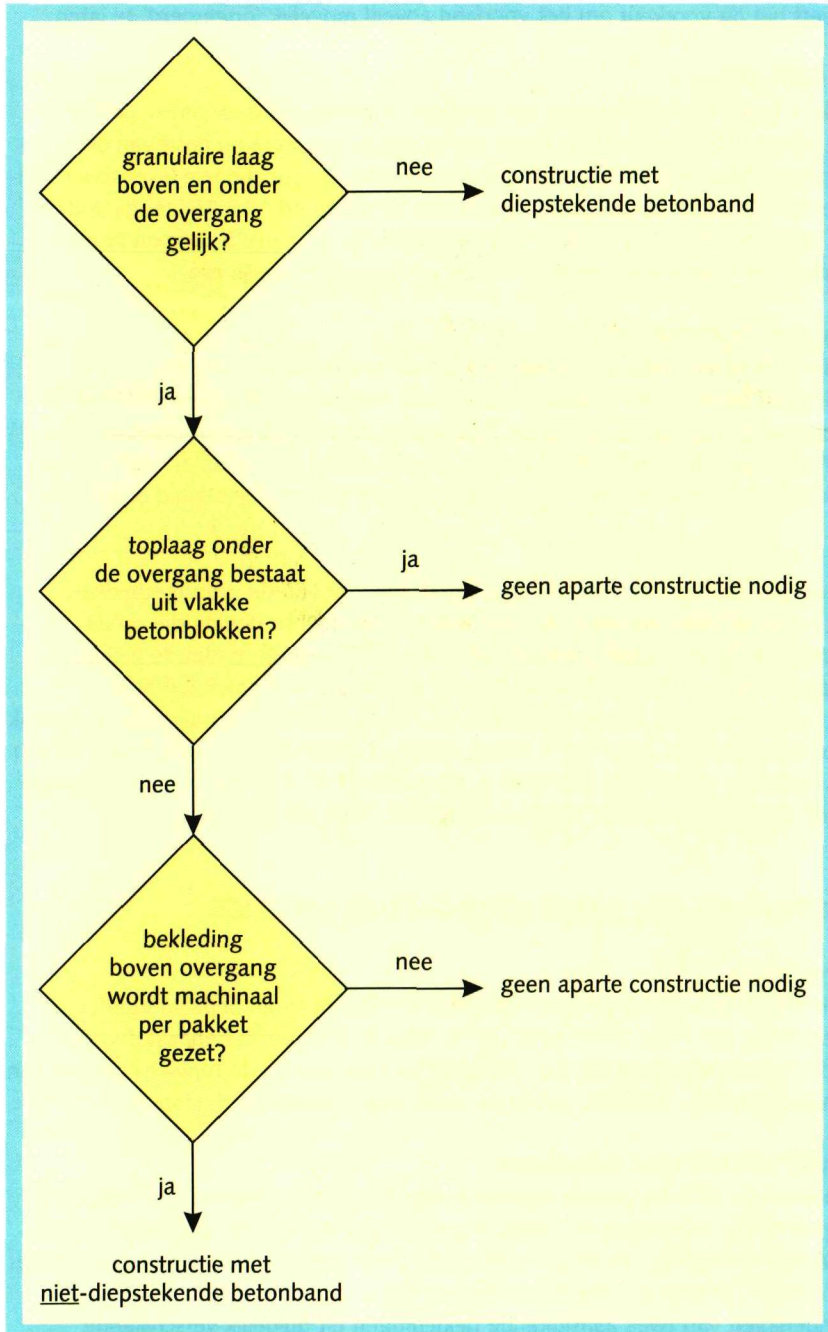
Zoals besproken in 2.2.3 is ter plaatse van de overgang een diepstekende betonband, een niet-diepstekende betonband of helemaal geen betonband nodig, afhankelijk van de constructieve eigenschappen van de granulaire laag en de topklaag van beide aansluitende bekledingen. Daarbij gelden de volgende overwegingen.

- 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.

6 Ontwerp overige constructieonderdelen

- Als de lagerliggende toplaag niet uit rechthoekige elementen bestaat, is een rechtlijnig 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 6.3 het type betonband worden gekozen.



*Figuur 6.3
Werkwijze voor het kiezen
van het type betonband*

In de praktijk wordt vaak zonder meer besloten om de overgang in te gieten (een bijzondere voorziening, zie de volgende stap); zonder verder rekenwerk mag worden aangenomen dat de negatieve invloed van de overgang daardoor afdoende wordt gecompenseerd. In dat geval kunnen de berekeningen in deze stap dus achterwege worden gelaten.

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. Er kunnen twee oorzaken zijn voor ongunstige invloed van de overgang:

- de granulaire laag wordt door de overgangsconstructie afgesloten;
- de doorlatendheidseigenschappen van toplaag en onderlaag boven en onder de overgang verschillen sterk (sprong in de leklengte groter dan 20%).

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.

Met het computerprogramma ANAMOS kan worden gecontroleerd of de toplaag van een steenzetting ondanks de negatieve invloed van de overgangsconstructie stabiel is. In het algemeen worden de berekeningen in ANAMOS zodanig uitgevoerd dat de invloed van de overgangsconstructies niet in rekening wordt gebracht, zie bijlage E.4, onder 1.c. Om deze invloed wél in rekening te brengen, moeten de werkelijke niveaus van de boven- en ondergrens van steenzettingen worden ingevoerd.

Omdat de meest ongunstige situatie zich voordoet bij een waterstand die enige afstand boven de overgangsconstructie ligt, moeten ANAMOS-berekeningen worden gemaakt voor een aantal waterstanden tussen de overgangsconstructie en de maatgevende waterstand, met de bijbehorende golf-parameters.

Het resultaat van deze berekeningen bepaalt of bijzondere voorzieningen nodig zijn:

- als ANAMOS bij al deze berekeningen een resultaat 'stabiel' geeft, kan worden geconcludeerd dat de steenzetting voldoet op toplaaginstabiliteit, ondanks de negatieve invloed van de overgangsconstructie; dan zijn uit dit oogpunt geen bijzondere voorzieningen nodig;
- als bij één of meer van de berekende waterstanden het resultaat 'instabiel' is, moet in het ontwerp wel rekening worden gehouden met de invloed van de overgang. In dat geval zijn wel bijzondere voorzieningen nodig, zie de volgende stap. Zoals besproken is de invloed alleen onder de overgangsconstructie ongunstig.

sprong in de leklengte

De tweede oorzaak voor ongunstige invloed van de overgang is een grote sprong in de leklengte. Als de waterbeweging in de granulaire laag niet door de overgang wordt onderbroken, moet worden nagegaan of de doorlatendheidseigenschappen van de twee aaneengesloten bekledingsvakken vergelijkbaar zijn. De belasting op de toplaag (de stijghoogte in de granulaire laag) verloopt bij een overgang geleidelijk van het ene

6 Ontwerp overige constructieonderdelen

bekledingstype naar het andere. In geval van een grote sprong in de doorlatendheids-eigenschappen leidt dit tot een belastingtoename voor één van de twee bekledingen (en tot een belastingreductie voor de andere bekleding, maar die wordt in het ontwerp verwaarloosd).

Van belang is het verschil in de leklengte tussen de twee aaneengesloten bekledingen. De makkelijkste manier om de leklengte van een steenzetting te berekenen, is met behulp van ANAMOS: de leklengte staat in het uitvoerscherm onder Tussenresultaten. Voor beide steenzettingen moet dus een ANAMOS-berekening worden gemaakt.

De grootte van het verschil tussen de leklengtes van de twee steenzettingen bepaalt of rekening moet worden gehouden met de invloed van de overgang:

- als de sprong in de leklengte kleiner is dan 20%, is de invloed van de overgang verwaarloosbaar en zijn uit dit oogpunt geen bijzondere voorzieningen nodig;
- als de sprong in de leklengte groter is dan 20%, moet in het ontwerp wel rekening worden gehouden met de invloed van de overgang. Bekeken moet worden of de steenzetting door deze invloed onvoldoende stabiel wordt, want alleen dan zijn bijzondere voorzieningen nodig.

De invloed is alleen van belang voor de bekleding met de kleinste van de twee leklengtes (dus boven óf onder de overgang) en speelt over een strook ter breedte van de leklengte, met een minimum van 0,5 m. In die zone moet rekening worden gehouden met een stijghoogteverschil gelijk aan het gemiddelde van de twee aaneengesloten steenzettingen. Dit kan als volgt worden berekend:

- 1 Zoek in het uitvoerscherm van ANAMOS voor beide steenzettingen het maximale stijghoogteverschil (onder Tussenresultaten, en tevens als Belasting S onder Stabiliteit topklaag bij Eindresultaten);
- 2 Bepaal het gemiddelde van de twee stijghoogteverschillen;
- 3 Vergelijk deze nieuwe waarde voor Belasting S met de waarde van de Sterkte R van de steenzetting met de kleinere leklengte. De Sterkte R staat in het uitvoerscherm van ANAMOS bij Eindresultaten, direct onder Belasting S.
- 4 Als de nieuwe waarde van de Belasting S nog steeds kleiner is dan de Sterkte R, is er blijkbaar voldoende ruimte in het ontwerp. Als de Belasting groter wordt dan de Sterkte zijn bijzondere voorzieningen nodig, zie de volgende stap.

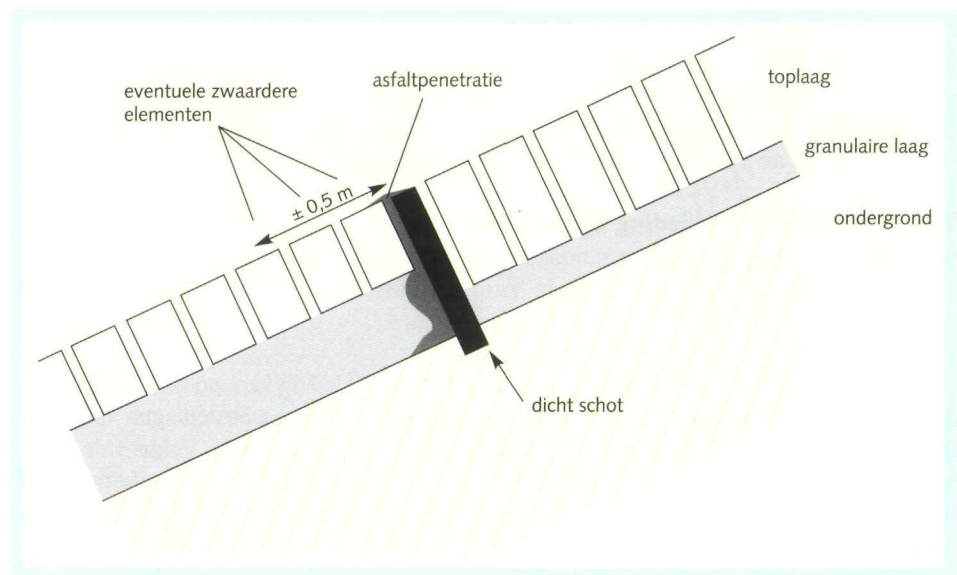
Stap 3 Bijzondere voorzieningen

Bijzondere voorzieningen zijn penetratie en zwaardere uitvoering van de topklaag, zie figuur 6.4.

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 topklaag nog niet is ingewassen; bij een wel ingewassen topklaag kan het vloeibaarder mastiek worden toegepast, mits er voor wordt gezorgd dat dit tot in de granulaire laag doordringt. Als de topklaag is ingezand, bereikt de penetratie zeker niet de granulaire laag en is 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.

De leklengte is een parameter die wordt bepaald door de laagdikte en waterdoorlatendheid van de topklaag en de granulaire laag en is een maat voor de verhouding tussen het gemak waarmee water door de granulaire laag (langs het talud) en door de topklaag (loodrecht op het talud) kan stromen. Er is een negatief verband tussen de leklengte en de stabiliteit.

De sprong in de leklengte zal in de praktijk vaak geen problemen opleveren als het de hogergelegen bekleding is die door dit verschijnsel ongunstig wordt belast, omdat de betreffende elementen zijn berekend op de zwaardere golfbelasting hoger in de strook.



Figuur 6.4
Overgangsconstructie met
bijzondere voorzieningen

Zwaardere uitvoering van de topplaat houdt in dat enkele rijen worden uitgevoerd met zwaardere elementen. Bij een door de overgangsconstructie onderbroken granulaire laag betreft het twee à drie rijen vlak onder de overgangsconstructie. Bij een sprong in de leklengte betreft het de zone met een breedte van 1 maal de leklengte vanaf de overgang.

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 topplaat. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een bekleding van gekantelde betonblokken koud tegen elkaar, onder een bekleding van waterbouwasfaltbeton.

Stap 4 Detaillering van de overgangs- en aansluitingsconstructies

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.

6.4 BEKLEDING BERM

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van buitenbermen van zee- en meerdijken, zie de Leidraad Zee- en Meerdijken 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 m.

WAT IS EEN BERM?

Zoals aangegeven in 2.2.5 zijn er voorwaarden waaronder een talud in de rekenregels wordt beschouwd als een berm: een strook die flauwer is dan 1:9 over een breedte van minimaal twee maal de maatgevende waarde van H_s wordt in alle gevallen behandeld als een berm. Daarnaast worden smallere stroken (met een breedte tussen H_s en $2 \cdot H_s$) ook als berm behandeld als:

- het talud flauwer is dan 1:9 (dezelfde voorwaarde als bij een bredere berm);
- de strook lager ligt dan ontwerppeil;
- er waterstands-golfcombinaties voorkomen 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).

Kader 6.1

6 Ontwerp overige constructieonderdelen

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 beheer technisch oogpunt en soms vanwege recreatie.

In 4.3.2 is behandeld hoe de bovengrens van de harde bekleding kan worden bepaald, ook in relatie met een berm. Hierbij zijn de ontwerpregels voor grasbekledingen van belang, die worden behandeld in de Leidraad Zee- en Meerdijken [lit.2]. 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 5.7.

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 5.2.

Voor het mechanisme toplaaginstabiliteit van steenzettingen op bermen bestaat een aparte dimensioneringsmethode, gerelateerd aan de methoden voor toplaaginstabiliteit op taluds in 5.3. Ten opzichte van een steenzetting op een talud zijn zowel de sterkte als de belasting verschillend.

De rekenmethode wordt beschreven in bijlage H. Met de methode worden twee parameters bepaald: de fictieve taludhelling α_{fict} en de bermfactor f_{berm} . Bij de dimensionering van een steenzetting op een berm wordt ten eerste de steenzetting gedimensioneerd alsof die op een talud ligt met de fictieve helling α_{fict} , met behulp van de regels in 5.3. Vervolgens wordt de berekende toplaagdikte van de steenzetting vermenigvuldigd met de bermfactor f_{berm} , zie Achtergronden 3.6 voor een verdere onderbouwing.

Detaillering 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 bestek kan worden opgenomen dat de knik met een bepaalde minimale bochtstraal moeten worden aangebracht, bijvoorbeeld 10 m.

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 $H_{s, \text{ontwerppeil}}$ onder ontwerppeil), heeft geen invloed op de topaagstabiliteit 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 5.3.
- 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 zodanig beperkt, dat de lichtst leverbare steenzetting sterk genoeg is, zie 6.5.

6.5 BEKLEDING BUITENTALUD IN GOLFOPLOOPZONE

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van buitentaluds van zee- en meerdijken die belast worden door golfoploop, dus boven het ontwerppeil, zie de Leidraad Zee- en Meerdijken voor de bepaling van de taludhelling. 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 6.4.

Ontwerpprocedure oploopzone

Eerst dient te worden vastgesteld of in 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

Een steenbekleding is nodig als een grasbekleding volgens de rekenregels niet sterk genoeg is. Daarnaast is soms een steenbekleding in de oploopzone gewenst uit beheers-technisch oogpunt. De bepaling van de bovengrens van de harde bekleding wordt behandeld in 4.3.2. Zoals daar al vermeld is het ongewenst om op de bovenrand van het buitentalud een grasbekleding toe te passen als op de kruin volgens de rekenregels een steenzetting nodig is. Aanbevolen wordt om de steenzetting van de kruin door te trekken op het buitentalud.

Keuze van het type steenzetting in de oploopzone

Zie het Keuzemodel kust- en oeverwerken [lit.4] voor de afweging tussen verschillende clusters van bekledingstypen, zie i.3.

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 in het algemeen 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 5.7.

6 Ontwerp overige constructieonderdelen

Dimensionering van de toplaag in de oploopzone

De dimensionering hangt af van het niveau ten opzichte van het ontwerppeil. In de zone onder ontwerppeil+ $\frac{1}{2}z_2$ wordt de benodigde toplaagdikte gerelateerd aan de benodigde toplaagdikte in de bijbehorende golfklapzone: in de oploopzone hoeft de toplaag niet dikker te zijn dan 80% van de toplaagdikte in de golfklapzone. In de zone boven ontwerppeil+ $\frac{1}{2}z_2$ is de belasting zodanig gereduceerd, dat een standaard steenzetting met de minimaal leverbare afmetingen volstaat (bijvoorbeeld toplaagdikte van 0,20 m met een dichtheid van 2300 kg/m³).

Detailering 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 ingeschat dat zowel de kans op schade als de mogelijke gevolgen zo klein zijn dat geen filterconstructie nodig is, zie 5.2.2.

6.6 BEKLEDING KRUIN BOVEN ONTWERPPEIL EN BINNENTALUD

Deze paragraaf behandelt de steenbekleding van kruin en bijbehorend 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. Verwezen wordt naar kader 4.1 en naar [lit. 2]. De afweging en keuze tussen verschillende typen steenzettingen wordt gemaakt op basis van de criteria die ook voor het buitentalud boven ontwerppeil gelden (6.5), 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 standaard steenzetting met de minimaal leverbare afmetingen (bijvoorbeeld toplaagdikte van 0,20 m met een dichtheid van 2300 kg/m³). Als de kruin daarentegen lager ligt dan ontwerppeil+ H_s is de belasting zo zwaar, dat de standaard rekenregel niet toepasbaar is (dit betreft normaal gesproken geen dijken maar bijvoorbeeld havendammen): in zo'n geval moet specialistische hulp worden ingeroepen. Situaties waarbij de kruin onder ontwerppeil ligt, worden behandeld in 6.7.

In tussenliggende gevallen, als de kruin tussen H_s en $z_{2\%}$ boven ontwerppeil ligt, volgt de benodigde toplaagdikte uit de volgende rekenregel:

$$\Delta D \geq \frac{1}{4} \cdot (\text{ontwerppeil} + z_{2\%} - h_{kr})$$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid toplaagelementen (A.3.4)	[-]
D	=	dikte toplaag (= hoogte toplaagelementen) (A.3.3)	[m]
$z_{2\%}$	=	golfploopniveau, verticaal g $\frac{1}{4}$ antal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven	[m]
h_{kr}	=	absolute hoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn op de peildatum	[m+NAP]

Deze rekenregel wordt onderbouwd in Achtergronden 3.6.2.

6.7 BEKLEDING 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, zoals bijvoorbeeld overlaten en kribben.

De belastingsituatie van overstroombare havendammen is zo specifiek, dat het ontwerp daarvan altijd maatwerk is en specialistische kennis vereist.

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. Voor nadere dimensionering, zie de rekenregels voor stromingsbelasting (zie kader 5.7), eventueel in combinatie met specialistisch onderzoek. Voor kribben onder golfaanval, zie ontwerpmethodieken voor golfbrekers.

7 Overdracht naar bestek en uitvoering

 zie ook het uitvouwblad

7.1 SAMENWERKING ONTWERPERS, BESTEKSCRIJVERS EN DIRECTIE

Na afronding van het ontwerpproces wordt het resultaat vaak overgedragen aan andere personen of afdelingen: eerst aan de bestekschrijvers, daarna aan directie en toezichthouders 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 bestek niet door hem wordt gemaakt, controleren of het concept-bestek, 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 toezichthouders.
- 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.

7.2 SPECIFIEKE AANDACHTSPUNTEN

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 top laaginstabiliteit kritischer is dan het faalmechanisme afschuiving). In de uitvoering wordt soms gedacht dat juist een dikke granulaire laag constructief gunstig is, zie ook bijlage B.3.8.
- 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 grond dicht 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 (zie bijlage B.2.2), maar gecontroleerd moet worden of de uiteindelijk aangelegde taludhelling overeenkomt met de aannamen.
- 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. Normaal gesproken is gietasfalt te grof voor het ingieten van steenzettingen, en moet het vloeibaarder mastiek worden gebruikt.
- 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



7 Overdracht naar bestek en uitvoering

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 opengeboren 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.

SECTIE III

Voorbeelden

8 VOORBEELD ZEEDIJK

9 VOORBEELD MEERDIJK



Foto 8.1
De Hellegatpolderdijk tijdens
de reconstructie

8 Voorbeeld zeedijk

Dit voorbeeld is ontleend aan de praktijk van het Project Zeeweringen in Zeeland, dat zich richt op het verbeteren van steenzettingen in het Deltagebied. Het is op enkele punten aangepast en wordt beschreven in de lijn van het ontwerpproces in sectie II van dit technisch rapport.

8.1 PROJECTOMSCHRIJVING

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 onder- en de boventafel.

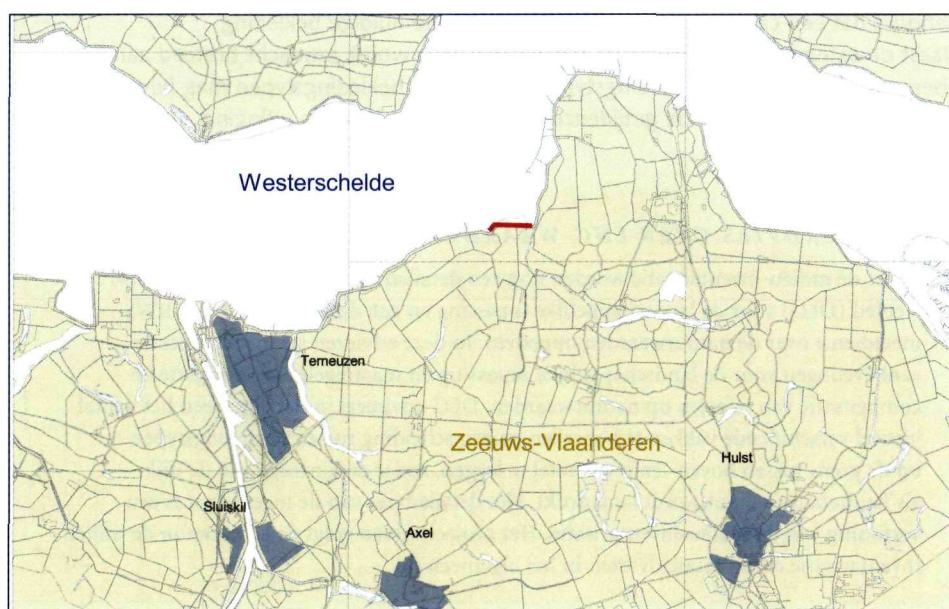
De aangrenzende dijkvakken zijn een paar jaar geleden verbeterd. Het dijkvak aan de oostzijde is verbeterd met betonzuilen, het dijkvak aan de westzijde is verbeterd met gepenetreerde breuksteen op de ondertafel en betonzuilen op de boventafel.

De Hellegatpolder ligt in Zeeuws-Vlaanderen. Voor de Hellegatpolderdijk ligt een schor. De dijk 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 en 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 overgang tussen onder- en boventafel is een knik in het talud die op NAP +3,00 m 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 koperslakblokken tussen NAP 0,0 m tot NAP +3,0 m, van NAP +3,0 m tot NAP +6,0 m liggen vlakke betonblokken. Van dp 0 tot en met dp 9 ligt een hoog voorland tot circa NAP +1,5 m. 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 m en NAP +2,50 m, beneden dat peil ligt op dat gedeelte geen steenzetting.

De basis voor verbetering van een bekledingssysteem wordt gelegd door het systeem te toetsen. Bij de toetsing blijkt welke delen van een dijk verbeterd moeten worden. In het geval van de Hellegatpolderdijk is de gehele steenzetting als 'onvoldoende' beoordeeld.

8.2 ONTWERPCONDITIES

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



Figuur 8.1
Ligging projectlocatie
dijkvak Hellegatpolder

8 Voorbeeld zeedijk

8.2.1 Golfrandvoorwaarden

RIKZ heeft voor dijkvak Hellegatpolder golfrandvoorwaarden op drie niveaus aangeleverd. Voor tussenliggende, hogere en lagere waterstanden mag worden geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd, met de restrictie dat de minimale golfhoogte 0,50 m is. RIKZ heeft de golfrandvoorwaarden berekend op een grid van 250x250 m. De grenzen van de randvoorwaardenvakken stemmen overeen met de vakindeling hierboven. Het ontwerppeil is gebaseerd op het Maatgevend Hoogwater (MHW) met zeespiegelstijging over 50 jaar (30 cm). Het MHW is ook aangeleverd door het RIKZ. Het ontwerppeil ligt op NAP +6,45 m 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 m. Dit valt ongeveer samen met de scheiding tussen onder- en boventafel.

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]	ws [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

Tabel 8.1
Golfrandvoorwaarden

8.2.2 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.

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 milieueisen voor verschillende bekledingstypen. Een aantal bekledingstypen mag bijvoorbeeld niet toegepast worden in de getijdenzone vanwege de kans op uitlogging.

Door de categorisatie wordt het aspect ecologie volwaardig betrokken bij het ontwerp. Daardoor hoeft geen m.e.r. gemaakt te worden voor (onderdelen van) het project.

DETAILADVIES OVER LNC-WAARDEN

Naast de milieu-inventarisatie worden nog een detailadvies van de Dienst Landelijk Gebied (DLG) voor de landschappelijke inpassing en een detailadvies van de RWS meetdienst over de natuurwaarden opgesteld. In deze adviezen staan aanvullende aanbevelingen voor de landschappelijke inpassing en maatregelen ter mitigatie en compensatie van effecten op 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.

Kader 8.1

In tabel 8.2 worden per bekledingsvak de categorieën bekledingstypen genoemd waaruit een type bekleding xmoet worden de natuurwaarden om de natuurwaarden te herstellen / te verbeteren.

Tabel 8.2
Advies natuurwaarden
volgens milieu-inventarisatie
en detailadvies

De indeling van de dijkvakken van Hellegatpolder op basis van het detailadvies en de milieu-inventarisatie staat in tabel 8.2. In het detailadvies is een meer gedetailleerde vakindeling gebruikt, omdat deze niet op de golfrandvoorwaarden is gebaseerd maar op de expositie en daarmee samenhangend 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 ($H_s > 2$ m), zie tabel 8.1.

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

8.3 KEUZE BEKLEDINGSTYPEN

8.3.1 Beschikbaarheid

Hergebruik van materialen uit het dijkvak zelf

Bij Project Zeeweringen wordt 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. Berekeningen van het aantal vrijkomende elementen en van het oppervlak dat daarmee gemaakt kan worden bepalen of het zinvol is de elementen te hergebruiken.

Tabel 8.3
Vrijkomende hoeveelheden
toplaagelementen

toplaag	afmetingen [m×m×m]	oppervlakte huidig [m ²]	oppervlakte gekanteld [m ²]
vlakke betonblokken	0,20x0,50x0,50	21.200	8.480
koperslabblokken	0,33x0,20x0,20	14.400	*

*koperslabblokken 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.

8 Voorbeeld zeedijk

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.

8.3.2 Voorselectie

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

- ze nog niet eerder toegepast zijn;
- niet bekend is of ze wel duurzaam genoeg zijn;
- 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.

8.3.3 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 golfrandvoorwaarden 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 grootst 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.

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. Bij het dijkvak Hellegatpolder wordt de berm opgetrokken tot ontwerppeil. Daardoor verandert de taludhelling. Vanwege tonrondte en uitvoeringsonnauwkeurigheden 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 8.4.

Uit de berekeningen blijkt dat koperslakblokken maar op 1 randvoorwaardenvak toepasbaar zijn tot maximaal NAP +3,30 m, 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 m (GHW) en +3,30 m.

Berekeningen van blok- en zuilelementen worden gemaakt in een spreadsheet gebaseerd op ANAMOS. In de berekeningen wordt uitgegaan van standaard sorteringen voor de granulaire laag per bekledingstype.

Getracht wordt het grondverzet zo veel mogelijk te beperken. Daarnaast moet de vereiste dikte van de kleilaag gehandhaafd blijven.

Tabel 8.4
Overzicht van
bekledingstypen en hun
maximale toepassingsniveau
per dijkvak

Materiaal	betonzuilen	vlakke betonblokken		koperslabblokken
	0,50/2900	dik 0,20 m	dik 0,25 m	
Dijkvak	[m +NAP]	[m +NAP]	[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

8.3.4 Ecologische toepasbaarheid

Tabel 8.5 geeft 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 afgevalen zijn, worden niet meer genoemd.

Locatie [dijkvak / dp - dp]	ondertafel herstel	verbetering	boventafel herstel	verbetering
101 oost / 0 - 7	n.v.t.	n.v.t.	<ul style="list-style-type: none"> - betonblokken - breuksteen w/n gepenetreerd - koperslabblokken - gebroken blokken w/n gepenetreerd - betonzuilen - ecozuilen 	<ul style="list-style-type: none"> alle bekledings- typen, advies om af te dekken met grond
101 west / 7 - 9	n.v.t.	n.v.t.	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen 	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen
101 west / 9 - 11	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen 	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen 	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen 	<ul style="list-style-type: none"> - breuksteen gepenetreerd - betonzuilen - betonblokken gekanteld - ecozuilen
102 / 11 - 26			<ul style="list-style-type: none"> - betonblokken - breuksteen w/n gepenetreerd - koperslabblokken - gebroken blokken w/n gepenetreerd - betonzuilen - ecozuilen 	

Tabel 8.5
Voorkeuren uit milieu-
inventarisatie en detailadvies

8 Voorbeeld zeedijk

8.3.5 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, zie tabel 8.

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 eco-toplaag
102	11	26	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen

Alternatief 2

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 eco-toplaag
102	11	26	+ 0,50 m	+ 6,45 m	betonzuilen

Alternatief 3

dijkvak	van [dp]	tot [dp]	niveau		bekledingstype
			van [NAP]	tot [NAP]	
101 oost	0	7	+ 1,50 m	+ 6,45 m	breuksteen patroongepentreed
101 west	7	9	+ 0,50 m	+ 3,00 m	breuksteen patroongepentreed
			+ 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 patroongepentreed

Tabel 8.6
Alternatieven

8.3.6 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.

De scores van de alternatieven op de verschillende aspecten worden ingevuld door een aantal intern en externe deskundigen in het voorontwerpoverleg. De deskundigen zijn onder andere de beheerder, de provincie, een landschapsdeskundige van DLC, een ecooloog en deskundigen van het projectbureau. De scores staan weergegeven in tabel 8.7. In de laatste kolom van de tabel staat de rangorde van voorkeur zoals deze vastgesteld is op basis van de scores van de experts.

Tabel 8.7
Afweging tussen
alternatieven voor de
bekleding onder de berm

Alternatief	uitvoering	hergebruik	landschap		beheer	kosten	milieu	voorkeur
			onder	boven				
alternatief 1	-	+	-	-	-	0	++	2
alternatief 2	0	+	-	+	0	+	+	1
alternatief 3	-	-	-	-	-	-	0	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 onderhoudstrook. 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 onderhoudstrook van koperslakblokken is doorgroeibaar, tevens gunstiger vanuit het oogpunt van ecologie en landschap.

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

8.4 NADERE DIMENSIONERING

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

8.4.1 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.

De teenbestorting ligt langs het hele dijkvak, is 5 m breed en 0,80 m 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.

8.4.2 Steenzetting

Toplaag betonzuilen

Voor de delen waar betonzuilen worden aangebracht, is een nadere dimensionering uitgevoerd. Dit resulteert in tabel 8.8, met de hoogtes en bijbehorende dichtheden per dijkvak. De hoogtes zijn voor de berekening van de stabiliteit afgerond op 5 cm 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.

8 Voorbeeld zeedijk

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.

Dijkvak/locatie	helling	type betonzuil ondertafel	type betonzuil 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

Tabel 8.8
Minimaal toepasbare
betonzuilen

Kostentechnisch wordt de zuil met de laagst leverbare dichtheid toegepast. Beheerstechnisch 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 uitvullaag 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 8.9

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 (eco-top)
102	1:3,8	0,45/2300	0,45/2300

Tabel 8.9
Gekozen type betonzuilen

De topklaag 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.

Topklaag betonblokken

Er is besloten tot het toepassen van betonblokken op dijkvak 101 oost en west. De beton-blokken die vrijkomen uit het dijkvak zijn blokken met de afmetingen 0,20 x 0,50 x 0,50 m. De maximale toepassingsniveaus staan in tabel 8.4. 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 topklaag 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 topklaagelementen kan wegspoelen. De fijnste sortering die voor betonzuilen mogelijk is, is 16/32 mm. In ontwerpberekeningen wordt

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

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.

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 het geokunststof 1 m doorgetrokken onder de onderhoudsstrook.

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 rekenwaardes voor de minimaal vereiste laagdiktes voor de nieuw aan te brengen bekleding zijn gegeven in tabel 8.10.

Tabel 8.10
Minimale laagdiktes
klei/mijnsteen

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

De bekledingen worden zo goed mogelijk aangesloten. Eventueel te grote kieren worden gepenetreerd met beton. Beton is minder schadelijk voor het milieu dan asfalt/mastiek en past qua kleur beter bij de zetsteen.

8.4.3 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 m;
- van betonblokken naar betonzuilen tussen dp 7 en dp 9 op NAP +2,40 m;
- van betonzuilen naar de koperslabblokken op de berm.

Een bekleding van betonzuilen kan zonder overgangsconstructies op betonblokken aangesloten worden. De overgang tussen de betonzuilen en de koperslabblokken wordt verder gedetailleerd in de paragraaf onderhoudsstrook.

Daarnaast zijn er verticale overgangsconstructies te onderscheiden van gekantelde betonblokken naast betonzuilen tussen NAP +2,40 m en NAP + 4,70 m bij dp 7. De bestaande verticale overgangsconstructies met de naastgelegen dijkvakken dienen verwijderd te worden.

8.4.4 Onderhoudsstrook

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

Tijdens de uitvoering van de dijkverbetering bestaat de onderhoudsstrook uit een 0,4 m dikke laag fosforslakken van de sortering 0/40 mm op een geokunststof. Het toegepaste

8 Voorbeeld zeedijk

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. De slakken worden na uitvoering niet verwijderd, maar met koperslakblokken afgewerkt tot een definitieve onderhoudsstrook. De koperslakblokken komen vrij uit het werk of zijn voorradig in depot. Onder de koperslakblokken wordt een granulaire laag van 0,10 m 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 wordt gepenetreerd met colloïdaal beton.

8.5 SAMENVATTING

Het ontwerp wordt samengevat in tabel 8.11, de gegeven afmetingen zijn rekenwaarden.

Dijkvak	locatie [dp]	van [NAP]	tot [NAP]	bekledingsconstructie type, afmetingen [m]	onderlaag dikte [m]
101 oost	0 – 7	+1,50m	+4,70m	gekantelde betonblokken, 0,2 x 0,5 x 0,5	0,50
		+4,70m	+6,45m	betonzuilen, 0,45/2300	0,64
101 west	7 – 9	+1,50m	+2,40m	gekantelde betonblokken, 0,2 x 0,5 x 0,5	0,50
		+2,40m	+3,00m	betonzuilen, 0,35/2300	0,75
		+3,00m	+6,45m	betonzuilen, 0,45/2300	0,64
101 west	9 – 11	+1,50m	+6,45m	betonzuilen met eco-top, 0,45/2300	0,64
102	11 – 13	+0,50m	+6,45m	betonzuilen 0,45/2300	0,64

Tabel 8.11
Samenvatting ontwerp

9 Voorbeeld meerdiijk

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, wat van invloed is op bepaalde keuzes zoals ten aanzien van uniformiteit in bekledingstypen, hergebruik van materialen, etc.

Het voorbeeld wordt beschreven in de lijn van dit technisch rapport.

Dit voorbeeld is ontleend aan de praktijk van de dijkverbetering van de Noordoostpolder en is bruikbaar voor 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 ontwerputgangspunten bekleding Ketelbrug-Ramspol' en een afzonderlijke 'Ontwerpnota Steenbekledingen' gemaakt. Naar aanleiding van de toetsing dienen bepaalde bekledingsvakken te worden aangepast.

9.1 VOORBEREIDING

In de 'Algemene nota ontwerputgangspunten 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.

9.1.1 Programma van eisen

Eisen en wensen vanuit techniek

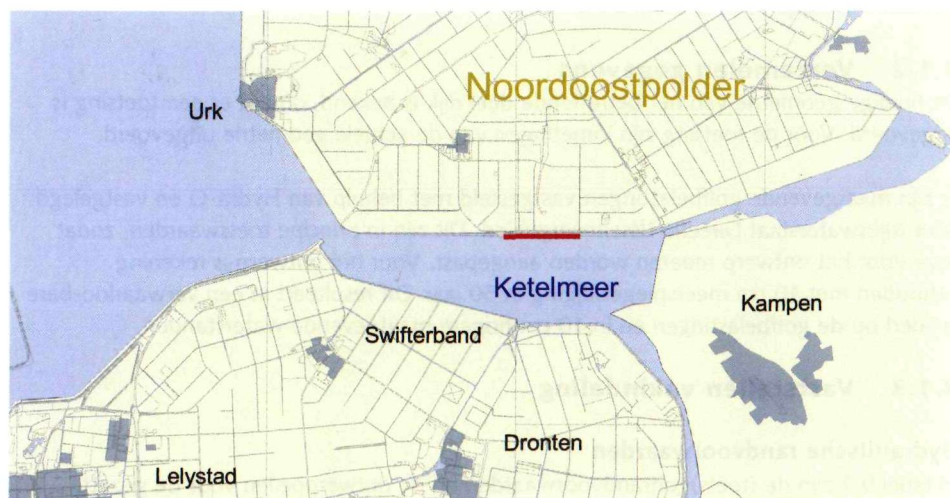
Het ontwerp moet goed uitvoerbaar zijn, zowel technisch als qua regelgeving (ontwerp volgens vigerende handleidingen). Bovendien moet het goede voorwaarden scheppen voor beheer en onderhoud. Materialen en constructie moeten een levensduur hebben van tenminste 50 jaar. Het ontwerp wordt besproken met de dijkbeheerder en op zijn wensen afgestemd. Beheerstechnisch heeft 'machinaal herzetbare' bekleding de voorkeur.

Eisen en wensen vanuit de omgeving

Er is een projectnota MER opgesteld en een milieu-inventarisatie. Hierin zijn de volgende aspecten naar voren gekomen.

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 ook binnen het totale dijkverbeteringsprogramma van de IJsselmeerdijken. Het gebruik van vrijkomende materialen elders uit het land (bijvoorbeeld Zeeland) wordt



Figuur 9.1
Ligging projectlocatie
dijkvak Ramsdijk

9 Voorbeeld meerdijk

uitgesloten omdat binnen het Project Zeeweringen (in Zeeland) alle materialen al worden hergebruikt en vanwege te hoge transportkosten. Sommige materialen, met name koperklakblokken, mogen alleen boven streefpeil toegepast worden vanwege uitloogrisico.

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. Wel is er de voorkeur voor een open constructie, zodat vegetatie mogelijk is.

landschap

Het strakke en uniforme karakter van de dijken langs de Noordoostpolder moeten worden behouden. De taludhelling van het bovenbeloop mag dan ook niet gewijzigd worden. Door toepassing van verschillende typen bekleding op het onderbeloop zou een 'lappendeken' kunnen ontstaan. Dit is ongewenst. In de milieuinventarisatie 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 'groene' dijk ontstaat.

cultuurhistorie

Er moet 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 moet recreatief medegebruik mogelijk worden gemaakt. 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 MER 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 m.

9.1.2 Verzamelen gegevens

De huidige geometrie van het betreffende deel dijk is bekend, omdat er een toetsing is uitgevoerd. Voor de toetsing zijn inmetingen van de actuele geometrie uitgevoerd.

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 cm meerspiegelstijging in 50 jaar. Dit resulteert in een verwaarloosbare invloed op de golfbelastingen en in 10 cm hogere maatgevende waterstanden.

9.1.3 Vaststellen vakindeling

Hydraulische randvoorwaarden

In tabel 9.1 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. Voor de maatgevende waterstanden (ontwerppeilen) zijn de toetspeilen vermeerderd met 0,1 m 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 toegestaan. Dit verschuiven van de grenzen van de randvoorwaardenvakken kan zinvol zijn om aan te sluiten bij grenzen van bekledingsvakken of vakken met een zelfde 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 voor toekomstige toetsingen.

Tabel 9.1
Golfrandvoorwaarden

traject [km]	niveau [m t.o.v. 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 steenbekledingen 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 tot NAP+1,65 m, 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 m.

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 9.2. De genoemde bekledingen betreffen de vlakken met de score 'onvoldoende'.

Tabel 9.2
Vakindeling en vakken op
onder- en bovenbeloop met
de score 'onvoldoende'

profiel [km]	traject [km]	onderbeloop		bovenbeloop	
		Bekleding	onder- en bovengrens [m t.o.v. NAP]	Bekleding	onder- en bovengrens
38,10	38,00 – 38,14	beton- blokken	+ 1,30 tot + 1,45 *	Gras	van berm tot toetspeil (golflapzone)
39,7	39,00 – 40,10	klinkers	+ 1,30 tot + 1,65	Gras	van berm tot toetspeil (golflapzone)

*het betreft hier een vrijwel horizontaal gedeelte van de berm

9 Voorbeeld meerdijk

9.2 ONTWERP BEKLEDING

9.2.1 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':

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

ad c

Doorgroeiconstructies en blokkenmatten worden – in de algemene nota van ontwerp-uitgangspunten 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 én 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 40,10. 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 bekledingssysteem van standaard elementen 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. Het '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, omdat men verwacht dat deze het beste herzetbaar zullen zijn.

Ecologie

Er is een voorkeur voor een open constructie (zuilen).

Landschap, cultuurhistorie en recreatie

Vanuit landschappelijk en cultuurhistorisch oogpunt moet de uniformiteit van de dijk-bekleding worden gehandhaafd. Dit resulteert in een voorkeur voor betonzuilen, eventueel met zwarte top laag. 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.

9.2.2 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 overwogen. Bij plaatsing direct op klei bestaat kans op klei-erosie. Een granulaire uitvullaag is vanuit uitvoeringstechnisch oogpunt gewenst. Er wordt dus gekozen voor een uitvullaag.

Keuze geokunststof of granulaire filter

Er wordt gekozen voor een geokunststof met daarop een granulaire uitvullaag. Toepassing van een granulaire filter zonder geokunststof leidt tot een grotere laagdikte en is daarom moeilijker inpasbaar. Omdat voor 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 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 (type a, zie bijlage D), 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:

$$i_{\uparrow} < i_{cr\uparrow} \text{ en } i_{\downarrow} < i_{cr\downarrow}$$

- 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_{op} en het stijghoogteverschil over de top laag. De waarde van i_{\uparrow} is bepaald met behulp van ANAMOS.

9 Voorbeeld meerdijk

- 3 Het kritieke verhang is voor deze constructie-opbouw (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.

BEREKENINGEN HYDRAULISCH-DICHT FILTER

De rekenregels voor dit geval staan in bijlage D.1.3.

Ad. 1, 2

Het optredende verhang wordt voor onder- en bovenbeloop apart bepaald.

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 golfrandvoorwaarde ($H_s=1,03$ m en $T_p=6,11$ s), de hoogte van de basaltzuilen (rekenwaarde 0,18 m) en granulaire laagdikte (rekenwaarde 10 cm) volgt uit ANAMOS 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 golfrandvoorwaarde ($H_s=1,03$ m en $T_p=6,11$ s), de hoogte en dichtheid van de betonzuilen (0,30 m) en granulaire laagdikte (rekenwaarde 10 cm) volgt uit ANAMOS een opwaarts verhang van 0,726.

Ad. 3

Omdat het om reeds aanwezige klei gaat, wordt uitgegaan van matige of slechte klei. Voor n is de waarde 0,35 aangehouden en voor D_{f15} 22 mm. Uit de formule volgt voor i_{cr} de waarde 4,45.

De optredende verhangen i_{\uparrow} en i_{\downarrow} zijn veel kleiner dan de kritieke waarde i_{cr} . Daarom zal een geokunststof met O_{90} kleiner dan 200 μm onder een granulaire laag van 10 cm in alle gevallen ruim voldoen aan de eisen voor hydraulisch-dichtheid.

Kader 9.1

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

- poriegrootte $O_{90} \leq 100 \mu\text{m}$;
- 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 overgangsconstructie of wordt over een lengte van ca. 1 m 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);
- poriëngrootte $O_{90} \leq 350 \mu\text{m}$;
- levensduurverwachting: type B (NEN 5132);
- sterkte naaiaad $\geq 50\%$ van de breuksterkte geokunststof.

9.2.3 Dimensionering op toplaaginstabiliteit

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 streven naar 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 e.d.

Het niveau van de berm varieert globaal tussen NAP+1,4 m en NAP+1,8 m. 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 de tabel 9.3:

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

Tabel 9.3
Steilste taludhellingen
per ontwerpprofiel

Rekening houdend met uitvoeringstolerantie en tonrondte wordt in de berekeningen een steilere 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. 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/m^3 en de dikte op een veelvoud van 5 cm. 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 standaard ontwerpwaarden waarbij een extra marge van 5 cm wordt aangehouden ten opzichte van de bestekswaarde (uitgaande van sortering 14/32 mm is de bestekswaarde 0,10 m). 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_{f15} gelijk aan 22 mm en een laagdikte b_f van 10 cm in bestek met de rekenwaarde 17 cm voor tolerantie tijdens uitvoering. In dit geval blijkt uit ANAMOS-berekeningen dat wanneer de uitvullaag kleiner dan 0,2 m is, de uitvullaag niet maatgevend is in de ontwerpberoekeningen.

De resulterende zuilhoogten en dichtheden voor het onderbeloop zijn aangegeven in onderstaande tabel 9.4. 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.

9 Voorbeeld meerdijk

profiel [km]	traject [km]	helling onderbeloop rekenwaarde	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

Tabel 9.4
Toepasbare typen
betonzuilen onderbeloop

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 cm, terwijl bovendien een sorteermarge van 3 cm 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 cm, 22 cm, 27 cm, etc. toegepast kunnen worden. De praktische bestekswaarden worden dan 20 cm, 25 cm, 30 cm etc.

Omdat dit verbeteringswerk een relatief smalle strook op het onderbeloop kent, 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 aangehouden als voor betonzuilen. De resultaten staan in tabel 9.5.

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

Tabel 9.5
Reken- en bestekswaarden
hoogte basaltzuilen
onderbeloop

inwasmateriaal

Voor extra klemming worden de zuilen ingewassen met steenslag van minstens 5-32 mm, ca. 50 kg/m². Op verzoek van de beheerder is gekozen voor basaltsplit met standaardsoortering 16-32 mm.

9.2.4 Samenstellen varianten

Samenvatten toepasbare bekledingen in overzichtstabel

Omdat in dit voorbeeld een vrij groot deel van het dwarsprofiel bestaat uit berm en bovenbeloop is het zinvol deze onderdelen reeds in deze fase te beschouwen. Het ontwerpproces in dit technisch rapport gaat ervan uit 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 betonzuilen heeft in principe de lichtste zuil (met standaarddichtheid beton 2300 kg/m³) de voorkeur. De reden is dat deze zuilen bij zuilhoogte 25-30 cm 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 verschillende soortelijk gewicht. Dit vanwege het ontbreken van visueel onderscheid tussen zuilen met verschillende dichtheid. De gekozen zuiltypen voor het onderbeloop staan in tabel 9.6.

Tabel 9.6
Mogelijke zuiltypen en
zuilhoogten onderbeloop

profiel [km]	traject [km]	helling rekenwaarde	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 bekledingstypen in tabel 9.7 mogelijk, zie voor dimensionering paragraaf 9.3.2 Berm.

Tabel 9.7
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	39,15 – 39,20	0,35/2300	0,23
39,7	39,20 – 40,10	0,30/2300	0,18

Voor het bovenbeloop zijn de bekledingstypen in tabel 9.8 mogelijk, zie voor dimensionering paragraaf 9.3.3 Buitentalud boven ontwerppeil.

Tabel 9.8
Mogelijke betontypen
bovenbeloop

profiel [km]	traject [km]	helling [cot]	helling rekenwaarde [cot]	H _{st} [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 topplagelementen

Er is een relatief kleine hoeveelheid basaltzuilen beschikbaar die, mede vanwege het handmatige zetwerk, uitermate geschikte 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 bij 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 moet 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 9.9 staan de mogelijke bekledingen per profiel.

Tabel 9.9
Mogelijke bekledingen
per profiel

profiel [km]	traject [km]	bekleding		
		Onderbeloop	berm	bovenbeloop
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

9 Voorbeeld meerdijk

9.2.5 Weerstand tegen afschuiven

Omdat onder het gehele onderbeloop tot aan bermniveau een keileemkade aanwezig is, is de weerstand tegen afschuiving gewaarborgd. Daar waar bermophoging moet plaatsvinden, moet worden aangevuld met klei om ook hier de weerstand tegen afschuiving te waarborgen.

De kleilaag op het bovenbeloop dient te worden gecontroleerd op de weerstand tegen afschuiving. Aan de eenvoudige rekenregel ('de weerstand tegen afschuiven is voldoende als de dikte van de kleilaag groter is dan de significante golfhoogte') wordt niet overal voldaan. Daarom wordt gecontroleerd met de gedetailleerde rekenregel, deze regel is geldig, want de taludhellingen zijn flauwer dan 1:2,7 en uit het geotechnisch profiel blijkt dat er geen zandscheg aanwezig is.

De volgende waarden worden gebruikt:

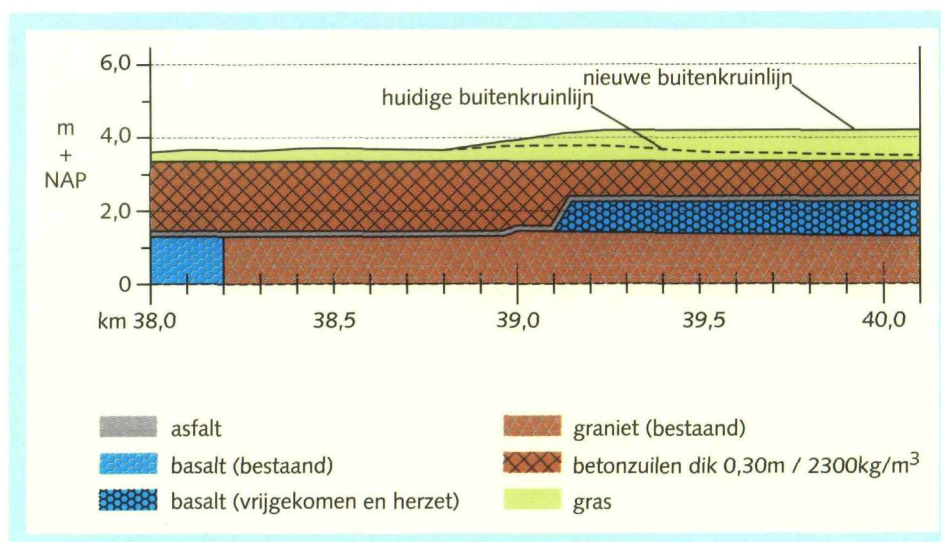
$$\begin{aligned} L_{Op} &= g \cdot T^2 / 2\pi &&= 58,3; \\ H_s / L_{Op} &= 1,03 / 58,3 &&= 0,018; \\ \tan \alpha &= \tan 19,6 &&= 0,357; \\ \Delta D + b_f + b_k &= 1,3 \cdot 0,3 + 0,1 + 0,57 &&= 1,06 \text{ m.} \end{aligned}$$

waarin b_k de kleilaagdikte is.

Uit de rekenregel voor afschuiving blijkt dat bij deze waarden de dikte van de kleilaag ruim voldoende is. Er wordt uitgegaan van een minimum kleilaagdikte van 0,57 m omdat deze lokaal is aangetroffen. Als toch wordt aangevuld (wat op andere trajecten het geval is), dan wordt gekozen voor een laagdikte van 0,80 m vanwege uitvoeringsaspecten en de waterafdichtende functie van de kleilaag.

9.2.6 Afweging en keuze bekleding per vak

Lopende het ontwerpproces zijn al keuzes gemaakt, waarbij rekening is gehouden met de wensen. De ontwikkelde varianten zijn getoetst op afschuiving en voldoen. Daarom wordt gekozen voor de bekleding zoals aangegeven in tabel 9.9. In figuur 9.1 staat het aanzicht van het ontwerp, met de indeling van de bekledingstypen.



Figuur 9.2
Glooiingskaart Ramsdijk

9.3 ONTWERP OVERIGE ONDERDELEN

9.3.1 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 en 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 betonband staat tegen perkoenpalen, waardoor de basaltzuilen niet geklemd worden. 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 m is. Boven de afronding wordt de bekleding nog ca. 1 m 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.

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

Op verzoek van de beheerder wordt een aansluitende betonband tussen de glooiings-elementen en de onderhoudstrook aangebracht. De naad tussen de 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.

Als gekozen wordt voor betonzuilen van het type Basalton, dan 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.

9.3.2 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 geldt per verticale zone een constante set van golfhoogte en golfperiode, zie ook tabel 9.1. Voor elke waterstand binnen die zone kan dus dezelfde golfhoogte en -periode gebruikt worden. Dit vereenvoudigt de werkwijze.

Steenzettingen op een berm worden berekend alsof ze liggen op een fictieve talud-helling die het gewogen gemiddelde is van het talud boven en onder de berm. Vervolgens wordt de gevonden elementdikte of zuilhoogte vermenigvuldigd met de bermfactor.

VASTSTELLEN FICTIEVE HELLING

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 m) de fictieve helling bepaald wordt. De steilste fictieve helling is per traject als maatgevend beschouwd.

Kader 9.2

9 Voorbeeld meerdijk

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 het geval voor enkele dwarsprofielen. Daarom zijn per traject de mogelijke situaties uitgerekend om de maatgevende situaties te vinden. In de tabel 9.9 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.

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_p [s]	S_{op} [-]	$1,5 \cdot H_s$ [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

Tabel 9.9
Fictieve taludhellingen berm

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 m voor profiel 38,0 gaat als volgt:

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

De bermfactoren voor de verschillende trajecten zijn vermeld in tabel 9.10. 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.

profiel [km]	traject [km]	fictieve helling [cot]	helling rekenwaarde [cot]	bermfactor [-]	Hs [m]	Tp [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

Tabel 9.10
Maatgevende
belastingssituaties voor
bekleding op berm

Op basis van deze waarden zijn de benodigde zuilhoogtes van betonzuilen en basalt berekend. De resultaten staan in tabel 9.11. De zuilhoogtes zonder bermfactor zijn hierbij niet afgerond op 5 cm, dat gebeurt pas na toepassing van de bermfactor. Per traject staat vetgedrukt welk zuiltype of welke zuilhoogte de voorkeur heeft.

profiel [km]	traject [km]	type betonzuil zonder bermfactor [m]/[kg/m ³]	type betonzuil 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
		0,26/2500			
		0,23/2700			
		0,27/2300	0,40/2300	0,18	0,24
0,24/2500	0,35/2500				
0,21/2700	0,30/2700				
39,1	39,00 – 39,15	0,26/2300	0,35/2300	0,17	0,23
		0,20/2700	0,30/2700		
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		

Tabel 9.11
Zuiltypen en zuilhoogten
berm

Voor het ontwerp van de onderhoudstrook met asfaltbeton is in eerste instantie de uitvoeringsfase maatgevend. De breedte van de onderhoudstrook is minimaal 3,0 m 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 m. 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.

9 Voorbeeld meerdijk

9.3.3 Buitentalud boven ontwerppeil

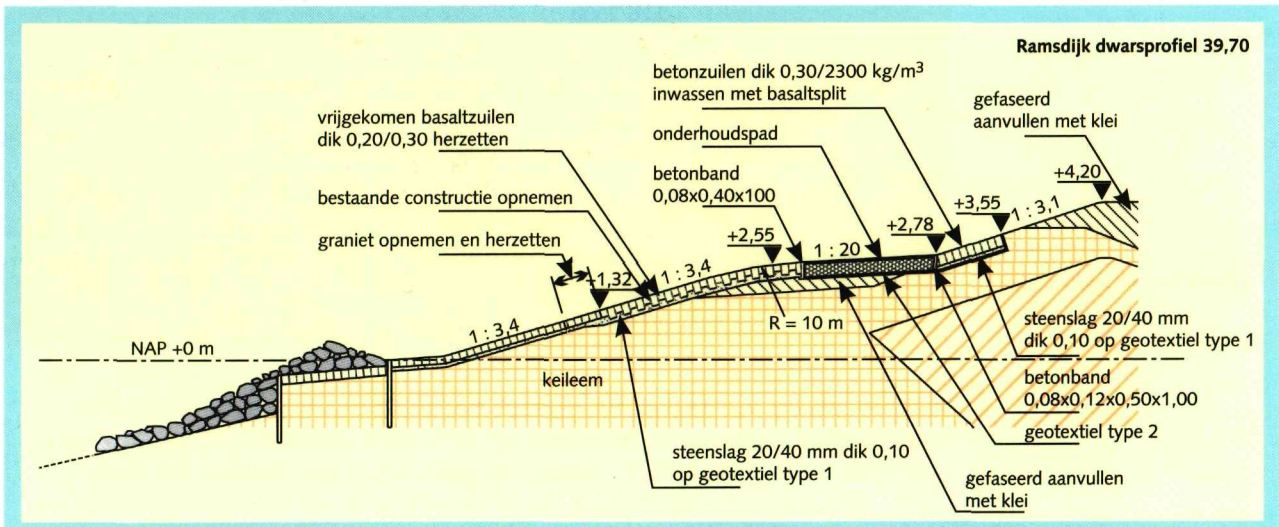
Op het traject van km 38,0–40,10 heeft de bekleding op het bovenbeloop de score 'onvoldoende' en dient daarom vervangen te worden. Als het bermniveau lager ligt dan of gelijk is aan ontwerppeil $-H_s$, dan moet de bekleding ontworpen worden als een glooiing, dus met ANAMOS. Voor het traject zijn aparte berekeningen uitgevoerd. Voor de hellingen zijn de steilste van het betreffende traject genomen. Alleen de versteiling van 0,2 (uitvoeringstolerantie) wordt verdisconteerd omdat het bovenbeloop niet met tonrondte wordt uitgevoerd. De resultaten staan in tabel 9.12.

profiel [km]	traject [km]	helling [cot]	helling rekenwaarde [cot]	H_{st} [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

Tabel 9.12
Mogelijke betontypen
bovenbeloop

Er is voor gekozen om over het hele traject 0,30 m/2300 kg/m³ toe te passen. De bekleding dient doorgezet te worden tot ontwerppeil $+ \frac{1}{2} H_{st}$, oftewel tot NAP + 3,35 m. In figuur 9.2 is het dwarsprofiel van km 39,7 gegeven in de nieuwe situatie.

Figuur 9.3 Dwarsdoorsnede van het ontwerp voor km 39,15 – 40,10



9.4 OPMERKINGEN BIJ HET VOORBEELD

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

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 MER vastgesteld en is daarom als uitgangspunt gebruikt.

Optimalisatie randvoorwaarden

Bij de dimensionering is gebruik gemaakt 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 golf randvoorwaarden op de lagere strook wijken echter weinig af van de gebruikte randvoorwaarden (zie tabel 9.1), 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.

Bijlagen

- A** **VARIANTEN VAN BEKLEDINGSSYSTEMEN**
 - B** **PARAMETERS DIMENSIONERING STEENZETTINGEN**
 - C** **MILIEUEFFECTRAPPORTAGE BIJ HET ONTWERPEN**
 - D** **DIMENSIONERING VAN EEN FILTERCONSTRUCTIE**
 - E** **HET GEBRUIK VAN ANAMOS**
 - F** **TOPLAAGINSTABILITEIT ZONDER GRANULAIRE LAAG**
 - G** **REKENMETHODE OVERLAGING LOSSE BREUKSTEEN**
 - H** **REKENPROCEDURE STEENZETTING OP/BOVEN BERM**
- SYMBOLEN**
- BEGRIPPEN**
- SAMENSTELLING EXPERTISEGROEP EN GEBRUIKERSGROEP
STEEENZETTINGEN**
- REGISTER**
- BIBLIOGRAFIE**

In deze bijlage 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 A.1. In de sectie Ontwerpproces wordt op basis van dit schema de keuze van het bekledingstype behandeld.

Het schema bevat alle principe-mogelijkheden, maar de afweging is in de praktijk vaak veel eenvoudiger doordat sommige bekledingssystemen alleen toepasbaar zijn in bijzondere omstandigheden. Met het oog 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 een variant in aanmerking komt:

- Een variant uit 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 (zie 2.1.1) met zowel een filterlaag als een uitvullaag.
- Een variant uit 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, overlagen met breuksteen en steenzettingen met ruwheidselementen (niet apart in de tabel opgenomen).
- Een variant uit klasse 3 komt alleen in aanmerking bij lichtere belasting (rivierdijken, golfoploopzone). Het betreft bekledingssystemen zonder filterlaag en met het toplaagtype doorgroeistenen.

	Ondergrond	Filter	Uitvullaag	Toplaag	Toepasbaarheids- klasse	
Voor een toplaag van standaardelementen is het aantal principevarianten 20, zie tabel 2.3.	zand	granulair	= filterlaag	elk type standaardelement (20)	1	
				blokkenmat	2	
		geokunststof	geen	betonblokken (4)**	3	
				blokkenmat	3	
**Voor een toplaag van betonblokken is het aantal principevarianten 4, zie tabel 2.3.	klei	geen	geen	granulair elk type standaardelement (20)	1	
				betonblokken (4)	3	
				doorgroeistenen	3	
	granulaire aanvulling	geokunststof	geen	geen	betonblokken (4)	2
					blokkenmat	2
					granulair elk type standaardelement (20)	1
	granulair	geen	= filterlaag	elk type standaardelement (20)	1	
				blokkenmat	2	
				betonblokken (4)	2	
				blokkenmat	2	
				geokunststof geen	2	
bestaande steenzetting	granulair	geen	geen	elk type standaardelement (20)	1	
				overlaging met breuksteen	2	
				herzetten en penetreren	2	

Tabel A.1
Overzicht varianten
bekledingssystemen

In deze bijlage worden systematisch alle parameters die van belang zijn in het ontwerp van steenzettingen behandeld. De bijlage kan dienen als 'naslagwerk' voor de gebruiker tijdens het ontwerpproces.

Er worden vier groepen parameters onderscheiden:

- 1 hydraulische belasting;
- 2 aanwezige situatie;
- 3 technische eigenschappen van de steenzetting;
- 4 breuksteenoverlaging.

Zij worden in aparte paragrafen behandeld. Voor elke parameter komen de volgende aspecten aan de orde:

- een definitie (voor zover relevant);
- de constatering of de parameter een randvoorwaarde (een eigenschap van de aanwezige situatie) is of een ontwerpeigenschap (een eigenschap die in het ontwerp kan worden gekozen);
- de rol in het ontwerpproces;
- het omgaan met onzekerheden;
- de wijze van bepaling.

B.1 HYDRAULISCHE BELASTING

Bij de meeste ontwerpen hoeft alleen rekening te worden gehouden met golven; in bijzondere gevallen kan ook belasting door stroming van belang zijn. Na een aparte beschouwing over berekeningsmethoden van randvoorwaarden worden hieronder de volgende parameters besproken:

- golfhoogte (B.1.1);
- golfperiode (B.1.2);
- golflengte (B.1.3);
- golfvalshoek (B.1.4);
- waterstand (B.1.5);
- stromingsbelasting (B.1.6);
- dichtheid water (B.1.7);
- brekerparameter (B.1.8);
- golfoplooppniveau (B.1.9).

Berekening van golfrandvoorwaarden

In de meeste situaties wordt de maatgevende golfbelasting veroorzaakt door windgolven. Er zijn twee manieren van aanlevering van die informatie; deze worden kort besproken. In sommige situaties kunnen ook scheepsgolven maatgevend zijn. Ook daar wordt kort op ingegaan. Tussen beide typen golven wordt in de rekenregels verder geen onderscheid gemaakt. In de praktijk zijn de ontwerp-golfrandvoorwaarden vaak afgeleid van de toetsingsrandvoorwaarden, zie 4.2.1.

windgolven

Voor de bepaling van de windgolfbelasting bestaan in de huidige praktijk twee manieren: voor IJsselmeer en Markermeer is de zogenaamde Hydra-programmatuur beschikbaar, voor andere regio's nog niet.

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

Met de Hydra-programmatuur rekent de beheerder of de ontwerper zelf de randvoorwaarden uit. Hydra bevat de statistische informatie van alle relevante parameters voor elke locatie langs de waterkering. De gebruiker voert het profiel van het buitentalud en het vereiste veiligheidsniveau in. Op basis daarvan rekent het programma voor elk gewenst punt op het talud de maatgevende combinatie van H_s en T_p uit. Om voor een bekledingsvak de maatgevende randvoorwaarden te vinden, moet het hoogte-interval zo klein mogelijk wordt gekozen (de kleinst mogelijke invoerwaarde is 0,1 m). Hydra berekent namelijk niet de zwaarste randvoorwaarde in een zone, maar de randvoorwaarde op elk punt dat de gebruiker opgeeft. Vanzelfsprekend worden de verdere ontwerp- en toetsingsberekeningen niet voor elk interval van 0,1 m uitgevoerd, zie 4.3.2. Voor verdere informatie over Hydra wordt verwezen naar [lit.9].

Voor de andere regio's worden de randvoorwaarden bepaald door golfberekeningen te maken bij een aantal gegeven waterstanden met de maatgevende windcondities. De rekenmethodes worden niet behandeld in dit *Technisch Rapport Steenzettingen*. In de praktijk worden deze berekeningen meestal niet door de ontwerper van de steenzetting gemaakt: de resultaten worden aan hem of haar aangeleverd in de vorm van tabellen waarin de maatgevende combinatie van H_s en T_p voor enkele waterstanden is opgenomen. Uit lineaire interpolatie of extrapolatie volgen de waarden bij willekeurige waterstanden. Feitelijk zijn dit de randvoorwaarden op 50 à 100 m uit de kust; in aanvulling daarop kan het soms nuttig zijn om de reducerende invloed van het voorland te berekenen met een één-dimensionaal model. In geval van breking op het voorland moet daarbij rekening worden gehouden met een bovenbegrenzing voor de golfhoogte en de golfperiode, zie B.1.1 en B.1.2.

Bij de bespreking van de golfparameters wordt aandacht besteed aan beide methoden. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de ontwerper beschikt over de waarden van H_s en T_p die gelden aan de teen van het talud. Hierbij kan tevens rekening worden gehouden met de invloed van stroming op de golfparameters. Als dit zich voordoet, is in het algemeen nadere specialistische studie nodig.

scheepsgolven

Maatgevende waarden voor scheepsgolven worden niet door Rijkswaterstaat aangeleverd in het kader van de wettelijke randvoorwaarden. De belasting door schepen is sterk lokatiebepaald. Schepen veroorzaken primaire golven (frontgolven, waterspiegeldaling en haalgolven) en secundaire golven. Zowel de primaire als de secundaire golven zijn in het algemeen kleiner dan 0,5 m met een enkele uitschieter naar 1 m; de periode van de golven is 2 à 5 s. In het algemeen zullen scheepsgolven geen rol spelen bij het ontwerp.

In geval van twijfel kan de scheepsgeïnduceerde golfbelasting worden berekend met het computerprogramma DIPRO. In tabel B.1 is per golftype weergegeven welke variabelen DIPRO uitrekent en hoe deze kunnen worden gebruikt in de rekenmethodes voor steenzettingen.

Type golf	Uitvoer DIPRO	Invoer rekenregels steenzettingen
Frontgolven	golfhoogte Δh_f	$\Delta h_f = H_s$
	golfsteilheid i_f	$i_f = H_s / L_{op} = H_s / (gT_p^2 / 2\pi)$
Waterspiegeldaling	Δh	$\Delta h = H_s$
Haalgolven	golfhoogte z_{max}	$z_{max} = H_s$
	golfsteilheid i_{max}	$i_{max} = H_s / L_{op} = H_s / (gT_p^2 / 2\pi)$
Secundaire golven	golfhoogte H_i	$H_i = H_s$
	golfperiode T_i	$T_i = T_p$

Tabel B.1
Toepassing van variabelen
van scheepsgeïnduceerde
golven voor rekenregels

B.1.1 Golfhoogte

Definitie

In de rekenmethodes wordt uitgegaan van de significante golfhoogte H_s aan de teen van het talud. In sommige publicaties, zoals LTV99, wordt deze golfhoogte aangeduid met H_{st} . Voor brekende golven is de significante golfhoogte per definitie gelijk aan het gemiddelde van het hoogste 1/3 deel van de golven. Voor niet-brekende golven op relatief diep water is de significante golfhoogte gelijk aan de hoogte die door 13,5% van de golven wordt overschreden.

Rol

- De golfhoogte speelt een rol in de ontwerpmethodes voor de faalmechanismen topaaginstabiliteit en afschuiving.
- Als uit het oogpunt van materiaaltransport een gedetailleerde ontwerpberekening van een filter wordt gemaakt, is ook voor dat faalmechanisme de golfhoogte van belang. Voor alle mechanismen geldt dat een grotere golfhoogte leidt tot een grotere belasting.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ_{op} worden berekend, die als belastingparameter wordt gebruikt in sommige rekenmethodes, zie B.1.8. Uit de golfhoogte, de hoogte van de topaagelementen en de dichtheid van de topaagelementen volgt de verhouding $H_s / \Delta D$, die een belangrijke rol speelt in de rekenmethode voor topaaginstabiliteit van steenzettingen zonder granulaire laag.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor het ontwerp van een steenzetting is de aangeleverde waarde voor H_{st} een gegeven. De manier waarop rekening wordt gehouden met de representativiteit van de waarden hoort thuis in de achterliggende rekenmethoden en wordt daarom niet in dit technisch rapport behandeld.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een golfhoogte die op 0,01 m nauwkeurig is afgerond.

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

Wijze van bepaling

Zoals vermeld in B.1 wordt de berekening van de hydraulische randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport.

Wel wordt kort ingegaan op de berekening van de reducerende invloed van het voorland: in geval van breking op het voorland kan worden aangenomen dat de golfhoogte niet groter kan zijn dan de helft van de waterdiepte.

B.1.2 Golfperiode

Definitie

In de meeste van de behandelde rekenmethodes wordt uitgegaan van de piekperiode T_p . T_p is per definitie de golfperiode die hoort bij de top van het golfspectrum (dus bij de golven met de grootste energiedichtheid), aan de teen van het talud. Voor de bepaling van de piekperiode bij een meertoppig golfspectrum, zie Achtergronden, hoofdstuk 2.

In sommige gevallen, bijvoorbeeld in de regels van Van der Meer voor breuksteenoverlaging, speelt ook de gemiddelde golfperiode T_m een rol; deze is 10 tot 30% kleiner dan T_p ; de exacte verhouding hangt af van de vorm van het golfspectrum, zie Achtergronden.

Rol

- Voor het faalmechanisme topaaginstabiliteit geldt dat een grotere golfperiode leidt tot een grotere belasting.
- Als voor materiaaltransport een gedetailleerde ontwerpberekening van een filter wordt gemaakt, is ook voor dat faalmechanisme de golfperiode van belang. Ook daarvoor leidt een grotere golfperiode tot een grotere belasting.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ_{0p} worden berekend, die als belastingparameter wordt gebruikt in rekenmethodes, zie B.1.8.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de golfperiode gelden dezelfde opmerkingen als voor de golfhoogte. De manier waarop rekening wordt gehouden met de representativiteit van de waarden hoort thuis in de achterliggende rekenmethoden en wordt daarom niet in dit technisch rapport behandeld.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een golfperiode die op 0,1 s nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Zoals vermeld in B.1 wordt de berekening van de hydraulische randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport.

Wel wordt kort ingegaan op de berekening van de reducerende invloed van het voorland. Zoals besproken in B.1.1 is de maximale golfhoogte gelijk aan de helft van de waterdiepte; voor de bijbehorende golfperiode geldt in geval van brekende golven de volgende uitdrukking: $T_p = 3,4 \cdot \sqrt{d}$, waarbij d de waterdiepte is op de halve golflengte L_{0p} vanaf de teen. Benadrukt wordt dat deze uitdrukking alleen geldig is voor steenzettingen, dus niet voor andere bekledingstypen.

B.1.3 Golf lengte

Definitie

In de rekenregels wordt meestal gebruik gemaakt van de golf lengte op diep water L_0 . Deze is gedefinieerd als $L_0 = gT^2 / 2\pi$. De diepwatergolf lengte die hoort bij de piekperiode T_p wordt aangeduid als L_{0p} .

Een afgeleide parameter is de golfsteilheid S , gedefinieerd als H_s / L .

Rol

De golfsteilheid speelt een rol in de brekerparameter, zie B.1.8.

B.1.4 Golf invalshoek

Definitie

De golf invalshoek β is gedefinieerd als de hoek tussen de invalrichting van de golven en de normaal op de dijk. Bij loodrechte inval is de golf invalshoek β dus gelijk aan 0.

Rol

In de huidige rekenregels voor het ontwerp van steenzettingen speelt de golf invalshoek geen rol; deze parameter wordt dan ook niet verder behandeld.

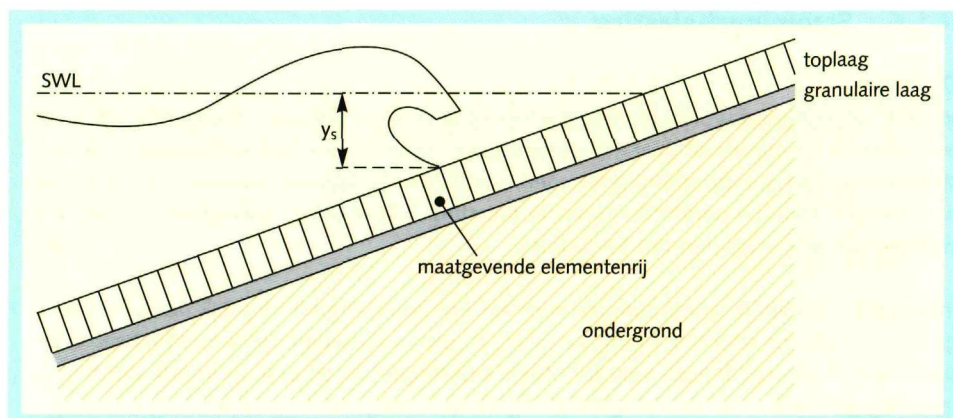
B.1.5 Waterstand

Rol

De rol van de waterstand is afhankelijk van de beschouwde zone op de dijk of dam en het type bekleding.

De bovengrens van de golfklapzone wordt beïnvloed door de maatgevende waterstand: tot aan het ontwerppeil wordt een steenzetting berekend op directe golfbelasting, daarboven op de golfoploop.

Voor alle typen – met uitzondering van ingegoten steenzettingen – geldt dat de waterstand binnen de golfklapzone niet zorgt voor rechtstreekse belasting op de steenzetting. Bij alle typen met een normaal waterdoorlatende toplaag is de enige rol van de waterstand: het bepalen van het zwaarst op toplaaginstabiliteit belaste punt op de bekleding. Het zwaarst belaste punt ten aanzien van de opwaartse druk ligt een waarde y_s onder de stilwaterstand, zie figuur B.1.



Figuur B.1
Bepaling maatgevende
waterstand

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

$$y_s = 0,11 \cdot H_s \cdot \left(\frac{1,56 \cdot T_p^2 \cdot \tan \alpha}{H_s} \right)^{0,8} \quad \text{met als maximum } y_s = 1,5 \cdot H_s$$

Voor verdere onderbouwing,
zie Achtergronden,
hoofdstuk 3.

waarin:

y_s	=	verschil maatgevende waterstand en te ontwerpen niveau	[m]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
α	=	hellingshoek van het talud	[-]
T_p	=	piekperiode	[s]

Bij overlagingen met breuksteen zijn andere soorten golfbelasting maatgevend dan bij steenzettingen. In samenhang met de praktische ontwerpmethodie die voor dit type ontwikkeld is, is vastgesteld dat de maatgevende waterstand gelijk is aan de werkelijke bovenkant van het breuksteenpakket, met als maximum het ontwerppeil. Bij de start van de dimensionering is natuurlijk nog niet bekend welke sortering zal worden gekozen; als startwaarde van de maatgevende waterstand in de iteratie kan worden uitgegaan van de bovenkant van de te overlagen steenzetting plus 1 m.

Voor bekledingen op of boven een berm (ook binnen de golfklapzone) is de waterstand rechtstreeks van belang omdat de waterdiepte boven de berm de belastingsituatie van de toplaag bepaalt.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Als de waterstand alleen de plaats van de belasting beïnvloedt, zijn representativiteit en nauwkeurigheid minder relevant.

Als de waterstand wel rechtstreeks van belang is (voor ingegoten steenzettingen, hoger gelegen bekledingen en bermen), gelden dezelfde opmerkingen als over golfhoogte en golfperiode: de maatgevende waarden worden aangeleverd, dus representativiteit is van belang voor de achterliggende rekenmethodes.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een waterstand die op 0,1 m nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Zoals vermeld in B.1 wordt de berekening van de hydraulische randvoorwaarden niet behandeld in dit technisch rapport.

B.1.6 Stromingsbelasting

Definitie

In deze subparagraaf wordt alleen ingegaan op stroming langs een steenzetting (zoals bij een rivierdijk of -oever) of over een steenzetting (zoals bij een krib of havendam). Een steenzetting kan ook op stroming worden belast door golfoploop (bovenin het talud van een zeedijk), maar de parameters van die belasting volgen uit de golfparameters die in de voorgaande subparagrafen zijn besproken.

In de ontwerpberekeningen wordt gebruik gemaakt van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de teen van het talud.

In de ontwerp praktijk wordt aangenomen dat een bekleding niet tegelijk door extreme golven en extreme stroming wordt belast. Er is geen ontwerpmethodie beschikbaar voor situaties met een combinatie van deze twee belastingen. In de praktijk wordt alleen rekening gehouden met stromingsbelasting als de maatgevende golfbelasting zeer laag

is, bijvoorbeeld in geval van rivierdijken of -oeveren. Wél kan bij het berekenen van maatgevende golfbelasting rekening worden gehouden met de invloed van stroming daarop, zie het begin van B.1. Als deze situaties zich voordoen, is in het algemeen nadere specialistische studie nodig.

Rol

De stromingsbelasting kan in bijzondere omstandigheden een rol spelen bij toplaaginstabiliteit door stroming.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

In het algemeen kan worden gesteld dat een stroomsnelheid tot 1 m/s geen probleem is voor een steenzetting.

Net als voor de golfparameters geldt ook hier, dat de maatgevende waarden worden aangeleverd, dus representativiteit is van belang voor de achterliggende rekenmethodes. In het algemeen wordt gewerkt met een stroomsnelheid die op 0,1 m/s nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Voor de maatgevende stroomsnelheden worden niet op landelijk niveau toetswaarden vastgesteld, dus daarop kunnen de ontwerpcondities niet worden gebaseerd. De maatgevende waarden kunnen bijvoorbeeld worden gebaseerd op tweedimensionale stromingsberekeningen.

B.1.7 Dichtheid water

Rol

In de ontwerpberekeningen wordt gewerkt met de relatieve dichtheid van de toplaagelementen, de parameter Δ .

Definitie: $\Delta = (\rho_{te} - \rho_w) / \rho_w$

waarin:

Δ	=	relatieve dichtheid	[-]
ρ_{te}	=	dichtheid van de toplaagelementen	[kg/m ³]
ρ_w	=	dichtheid van water	[kg/m ³]

Een grotere dichtheid van water leidt tot een kleinere relatieve dichtheid van de toplaagelementen en is daardoor ongunstig.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

In de praktijk wordt alleen onderscheid gemaakt tussen zout water (1025 kg/m³) en zoet water (1000 kg/m³). De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter.

B.1.8 Brekerparameter

Definitie

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ worden berekend, die als belastingparameter wordt gebruikt in verschillende rekenmethodes:

$$\xi = \tan\alpha / \sqrt{H_s / L}$$

waarin:

ξ	=	brekerparameter	[-]
α	=	gemiddelde taludhelling	[-]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
L	=	golflengte	[m]

Voor de rol, de wijze van bepaling en de representatieve waarden en nauwkeurigheid wordt verwezen naar de bespreking van taludhelling, golfhoogte en golfperiode

In de rekenregels voor steenzettingen wordt vaak de brekerparameter ξ_{op} gebruikt; dit is de brekerparameter gebaseerd op de golflengte L_{op} : de golflengte op diep water die hoort bij de piekperiode T_p , zie B.1.3. In de rekenregels volgens Van der Meer (in dit Technisch Rapport van belang voor Noorse steen en breuksteenoverlaging) komt de brekerparameter ξ_m voor, gebaseerd op de golflengte L_{0m} die hoort bij de gemiddelde golfperiode T_m .

B.1.9 Golfoplopniveau

Definitie

Het golfoplopniveau $z_{2\%}$ is de verticale afstand ten opzichte van de stilwaterstand die door 2% van de golven wordt overschreden op een fictief oneindig talud met de helling gelijk aan de gemiddelde helling van het werkelijke buitentalud. Een eenvoudige benadering van de waarde van $z_{2\%}$ kan worden berekend met de zogenaamde Delftse formule: $z_{2\%} = 8H_s \tan\alpha$. Voor een meer gedetailleerde berekening, waarbij ook de golfperiode en de geometrie van het talud een rol spelen, wordt verwezen naar Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken [lit.6].

Rol

Het golfoplopniveau $z_{2\%}$ speelt een rol in de bepaling van de bovengrens van steenzettingen en het ontwerp van steenzettingen op bovenbeloop, kruin en binnentalud.

B.2 AANWEZIGE SITUATIE

De gegevens in deze categorie kunnen worden gezien als randvoorwaarden voor het ontwerp: de geometrische en geotechnische eigenschappen van de dijk, dam of oever zelf en van de relevante omgeving. De volgende gegevens worden in deze categorie besproken:

- grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak;
- taludhelling;
- voorlandhoogte;
- bestaande, aansluitende constructies;
- eigenschappen basismateriaal.

B.2.1 Grenzen, vorm en afmetingen van het bekledingsvak

Rol

In het algemeen is het de moeite waard om in het begin van het ontwerpproces 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 dijkspaalnummering, en worden bepaald met een nauwkeurigheid van orde 10 m. 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 m.

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 besteksniveau, 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.

B.2.2 Taludhelling

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 sectie II wordt beschreven, staat de taludhelling meestal wel globaal vast: de helling is bijvoorbeeld ongeveer 1:3,5. 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.

Rol

- De taludhelling is een belangrijke parameter ten aanzien van topklaaginstabiliteit en afschuiving: 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).

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 4.3.2.

Uit de golfhoogte, de golfperiode en de taludhelling kan de brekerparameter ξ_{0p} worden berekend, zie B.1.8.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Vanwege de grote invloed op de topklaaginstabiliteit moet in het ontwerp een zorgvuldige keuze worden gemaakt voor de rekenwaarde van de taludhelling. Voor de ontwerpberoeeningen 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 bestekswaarde en de werkelijke waarde:

- 1 Er is altijd enige uitvoeringstolerantie, waardoor de werkelijk aangebrachte taludhelling steiler of flauwer kan zijn. In de ontwerpberoeeningen 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).
- 2 In sommige gevallen moet 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 ontwerppraktijk 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, voor onderbouwing van deze werkwijze, zie Achtergronden, hoofdstuk 9.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een taludhelling waarvan de cotangens op 0,1 nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

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 nuttig 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.

B.2.3 Voorlandhoogte

Rol

De voorlandhoogte is in de eerste plaats relevant bij de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden: een hoger 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 dit technisch rapport niet verder behandeld, zie B.1.

De voorlandhoogte is ook van belang voor de uitwerking van teenconstructie en teenbestorting.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

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.

Wijze van bepaling

De ligging van het voorland is meestal bekend bij de betreffende beheerder, 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.

B.2.4 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 worden besloten of de bestaande constructies kunnen worden gehandhaafd of hergebruikt.

Wijze van bepaling

Voor een deel kan de benodigde informatie uit beheersdocumenten (bestekken en revisietekeningen) worden gehaald, maar in de praktijk blijkt het vaak nodig of nuttig om de constructies in het veld te controleren.

B.2.5 Eigenschappen basismateriaal

Eventuele aanvulling van het dijklichaam met breed gegradeerd granulair materiaal wordt niet op deze plaats besproken, maar in B.3.11. 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 bestek 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 m. 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 besteks- 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.

B.3 TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN DE STEENZETTING

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.

Tot aan B.3.7 gaat het over de eigenschappen van de toplaag, daarna over de onderlagen.

B.3.1 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 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. Zoals beschreven in 2.1.3 kan alleen de negatieve invloed met ANAMOS worden berekend, en wordt daarom normaal gesproken gerekend alsof er geen inwasmateriaal is. De enige uitzondering op deze regel wordt gevormd door plat geplaatste blokken met afstandhouders: voor dat type moet in de berekening worden ingevoerd dat er wel inwassing is, waardoor alleen het negatieve effect wordt meegerekend.

Het type materiaal, de sortering en de hoeveelheid moeten met zorg worden gekozen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Als materiaal komen vooral steenslag en gebroken grind in aanmerking, en eventueel slakken, zie 2.1.3.

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/m² inwasmateriaal gebruikt.

Wijze van bepaling

Voor nieuw materiaal worden de eigenschappen voorgeschreven in het bestek. De wijze van bepaling is niet relevant voor de ontwerper.

B.3.2 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). De open ruimte kan bij dit type het beste in de berekeningen worden verwerkt als percentage. Dat is in ANAMOS alleen mogelijk door voor het toplaagtype 'zuilen' te kiezen in plaats van 'blokken'.

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 (2.1.1). 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.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Voor de toplaagtypen die in aanmerking komen zijn standaardwaarden vastgesteld, waarmee een voldoende veilig ontwerp kan worden gemaakt, zie tabel B.2.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een open-ruimtepercentage dat op 1 procentpunt nauwkeurig is afgerond. De spleetbreedte bij blokken wordt op 1 mm nauwkeurig afgerond. Opgemerkt wordt, dat de rekenmethodes geldig zijn tot aan een bovengrens van ongeveer 15%.

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

Wijze van bepaling

Ten behoeve van ontwerp wordt de open ruimte in de praktijk niet bepaald, dus de wijze van bepaling is niet relevant voor ontwerpers. Er kan gebruik worden gemaakt van de standaardwaarden volgens Tabel B.2.

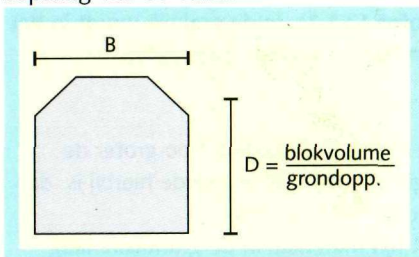
toplaagtype	open ruimte Ω /spleetbreedte
betonzuilen	10 – 15%
betonblokken, Haringmanblokken	1 – 4 mm
basaltzuilen	10 – 15%
granietblokken	3 – 30 mm
koperslakblokken	1 – 5 mm

Tabel B.2
Standaardwaarden
open ruimte tussen
toplaagelementen

B.3.3 Toplaagdikte (=toplaagelementhoogte)

Definitie

De rekenwaarde van de toplaagdikte is het gemiddelde van de elementhoogte over het elementoppervlak. Dat is dus niet per definitie hetzelfde als de afstand tussen onderkant en hoogste punt. Definitie: de rekenwaarde van de toplaagdikte is het quotiënt van blokvolume en grondoppervlak, zie figuur B.2. Ecotops worden niet meegerekend bij de bepaling van de dikte.



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.

Figuur B.2
Definitie toplaagdikte
(=toplaagelementhoogte)

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 her te gebruiken 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 B.3.4.

Omdat de lichtste steen in een bekleding maatgevend is, moet voor de parameter ΔD

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.

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 natuursteen werkt het anders. Per definitie is er een grote spreiding in elementhoogte (en dichtheid) binnen één partij of sortering. Basaltsorteringen worden traditioneel omschreven met een range van 5 of 10 cm, bijvoorbeeld 20-30 cm. In de praktijk komen in een partij met sortering 20-30 cm ook elementen voor met een kleinere hoogte dan 20 cm. Bij hergebruik van natuursteen wordt de kleinste (dus maatgevende) steen in de nieuwe bekleding in de praktijk bepaald door het uitsorteren van de steenzetters. In een bestek kan bijvoorbeeld een minimale elementhoogte van 20 cm worden voorgeschreven. In het ontwerp moet dan een veiligheidsmarge van enkele centimeters worden aangehouden, omdat steenzetters de ondergrens 'op het oog' inschatten.

In het algemeen wordt bij het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een toplaagdikte die op 1 cm nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Bij nieuwe materialen moet de leverancier voldoen aan een bestekswaarde. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie en niet direct van belang voor de ontwerper.

Bij bestaande materialen is meestal een bestekswaarde bekend. Voor betonelementen volstaat die informatie, maar voor natuursteen zullen in het algemeen steekproeven nodig zijn. Bij hergebruik zal dit onderzoek in de meeste gevallen overigens al zijn uitgevoerd in het kader van de toetsing.

B.3.4 Dichtheid toplaagelementen

Definitie

De dichtheid van de toplaagelementen ρ_t wordt uitgedrukt in kg/m^3 . In de ontwerp-berekeningen is overigens de relatieve dichtheid Δ van belang.

Definitie: $\Delta = (\rho_t - \rho_w) / \rho_w$. 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.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Zoals besproken in B.3.3 is voor de ontwerp-berekeningen het product van toplaagdikte en -dichtheid (ΔD) van belang, en zou in theorie de representatieve waarde van ΔD moeten worden bepaald.

Bij betonelementen (nieuw én hergebruik) wordt de dichtheid in het fabricageproces gestuurd, waardoor die tamelijk constant is binnen één partij. Volgens de normen 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

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

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 bestekswaarde.

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 inkeping aan de bovenkant, bedoeld om de golfoploop te beperken. Het steengewicht per oppervlakte-eenheid is kleiner als gevolg van de inkeping, 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%). Voor onderbouwing van deze werkwijze, zie Achtergronden 8.7.

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 B.3. 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 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 het ontwerp van steenzettingen gewerkt met een dichtheid die op 50 of 100 kg/m³ nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Bij nieuwe elementen moet de leverancier voldoen aan een bestekswaarde. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

Bij bestaande elementen kan een oude bestekswaarde bekend zijn; verder zijn er standaardwaarden voor de dichtheid, zie tabel B.3. Het is zinnig zowel bestekswaarden als standaardwaarden te verifiëren met steekproeven. 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. Bij hergebruik kan de dichtheid overigens al zijn bepaald in het kader van de toetsing.

Bij betonelementen is de spreiding van de dichtheid kleiner dan bij elementen van natuursteen. Daarom wordt verschillend omgegaan met de onzekerheden.

Tabel B.3
Standaardwaarden dichtheid
toplaagelementen

toplaagtype	dichtheid [kg/m ³]
betonzuilen	2300 - 3000
betonblokken	2300 - 2500
Haringmanblokken	0,9 à 0,95 maal dichtheid beton
basaltzuilen	2900 - 3100
granietblokken,	2600 - 2700
koperslabblokken	2500 - 2700

B.3.5 Klemfactor toplaagelementen

Rol

Deze factor kan in de meest recente versies van het rekenprogramma ANAMOS worden ingevoerd, maar op dit moment is de kennis hierover nog niet voldoende uitgekristalliseerd om de parameter te kunnen gebruiken. Nu moet altijd de waarde 1 worden ingevuld.

B.3.6 Weerstand tegen golfoploop

Definitie

Het effect van de ruwheid op de golfoploop wordt uitgedrukt in de reductiefactor γ_f .

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 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 [lit.6].

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 [lit.6].

Wijze van bepaling

De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter.

B.3.7 Wrijvingscoëfficiënt toplaag-ondergrond

Definitie

De wrijvingscoëfficiënt f_t is gedefinieerd als de tangens van de wrijvingshoek tussen de toplaagelementen en de laag direct onder de blokken.

Rol

Deze parameter is niet van belang voor de drie belangrijkste faalmechanismen van de bekleding (toplaaginstabiliteit, materiaaltransport en afschuiving), maar wel voor het faalmechanisme falen van de teenconstructie. De teenconstructie wordt in de praktijk meestal op ervaring ontworpen, maar indien gewenst kan de kracht van de toplaag op de teenconstructie worden berekend. Voor deze berekening is de wrijvingscoëfficiënt tussen toplaag en ondergrond f_t van belang. Met de ondergrond wordt in dit geval de laag direct onder de toplaag bedoeld.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

Als richtwaarde geldt: $f_t = 2/3 \cdot \tan(\varphi_b)$, waarbij φ_b de hoek van inwendige wrijving van het onderliggende materiaal is. Als de toplaag direct op een geokunststof ligt, wordt voor f_t een waarde van 0,1 aangeraden.

Wijze van bepaling

De wijze van bepaling is niet relevant voor deze parameter.

B.3.8 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 10 cm nodig. Voor de filterfunctie hangt de dikte af van de eigenschappen van het basismateriaal. Bij de meeste steenzettingen is een filterlaagdikte van 10 cm voldoende.
- Een granulaire laag met een dikte van meer dan 10 cm heeft een negatieve invloed op de toplaaginstabiliteit 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, dan wordt er meestal voor gekozen de toplaag, 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 ten aanzien van het mechanisme toplaaginstabiliteit, maar kan in de uitvoering sterk variëren. Daarom is het verstandig om in de ontwerpberoeeningen ten aanzien van toplaaginstabiliteit 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 bestek wordt vaak een laagdikte van 10 cm voorgeschreven. In het ontwerp kan dan bijvoorbeeld worden gerekend met een laagdikte van 15 cm (bij makkelijke werkomstandigheden) of van 20 cm (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 bestekswaarde.

Als wordt gekozen voor een ontwerpvariant met toplaagelementen 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

ontwerpberekeningen worden gewerkt met de gemiddelde laagdikte. Bijvoorbeeld: als de elementhoogte 10 cm varieert, varieert de dikte van de granulaire laag ook 10 cm. Als in het bestek een minimale waarde van 10 cm wordt voorgeschreven, zal de werkelijke gemiddelde laagdikte 15 cm bedragen. Ook in dit geval zou nog rekening moeten worden gehouden met de marges van +5 à +10 cm.

Wijze van bepaling

Tijdens de uitvoering moet de aannemer voldoen aan de bestekseisen voor de laagdikte. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

B.3.9 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 toplaaginstabiliteit. 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 toplaaginstabiliteit.
- 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 toplaag 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 toplaag en door de toplaagdikte, zie bijlage D.

Vanwege uitvoeringonzekerheden 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 toplaaginstabiliteit 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.

Wijze van bepaling

Tijdens de uitvoering moet de aannemer voldoen aan de bestekseisen voor de materiaal-eigenschappen. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

B.3.10 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 ontwerp-eigenschappen zijn gemeten bij laboratoriumproeven. In de praktijk worden buiten de ontwerpregels geen veiligheidsmarges aangehouden. De berekende waarden voor de ontwerpparameters worden rechtstreeks in het bestek 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 bestekseisen voor het geokunststof. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

B.3.11 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 topplaaginstabiliteit. 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 topplaaginstabiliteit. 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 voorkómen 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 voorkómen 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 topplaaginstabiliteit 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 bestekswaarden 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 cm op de laagdikte en een marge van +2 à +3 mm op de korrelgrootte D_{15} , zie verder B.3.8 en 9.

Wijze van bepaling

Bij een bestaande granulaire aanvulling is in sommige gevallen oude besteksinformatie 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 Achtergronden (figuur 3.1). 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

bijlage B Parameters dimensionering steenzettingen

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 bestekseisen. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

B.4 BREUKSTEENOVERLAGING

B.4.1 Steendiameter

Definitie

In de rekenregels wordt voor de steendiameter van een breuksteenoverlaging de parameter D_n gebruikt. D_{nx} is de nominale diameter van granulair materiaal: de diameter van de denkbeeldige kubus met een massa M_x , die dezelfde dichtheid ρ heeft als het beschouwde element. De definitie is: $D_{nx} = (M_x / \rho)^{1/3}$. De massa M_x is gedefinieerd als de massa van een steenstuk die door x% van de steenstukken van een sortering wordt onderschreden.

In de rekenregels voor ontwerp wordt gewerkt met de karakteristieke steendiameter D_{n50} . Dit is de diameter die hoort bij een steenmassa met een onderschrijdingsfrequentie van 50% (M_{50}).

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 diameter van nieuwe stenen is een ontwerpeigenschap (binnen de grenzen van de leverbaarheid), terwijl de diameter van her te gebruiken stenen een randvoorwaarde is.

Rol

De steendiameter D_{n50} speelt een directe rol in de rekenregels volgens de methode Van der Meer voor breuksteenoverlagingen.

Representatieve waarden en nauwkeurigheid

In de praktijk wordt gewerkt met standaardsorteringen. In het ontwerp moet worden uitgegaan van de waarden voor D_{n50} die horen bij de standaardsortering (in de uitvoering moeten deze natuurlijk worden aangetoond). Praktische standaardsorteringen voor breuksteenoverlagingen zijn 5-40 kg, 10-60 kg, 40-200 kg en 60-300 kg.

In het algemeen wordt in de berekening gewerkt met een steendiameter die op 1 cm nauwkeurig is afgerond.

Wijze van bepaling

Bij nieuwe materialen moet de leverancier voldoen aan een bestekswaarde. Het aantonen en controleren daarvan is een bestekskwestie, en is niet rechtstreeks van belang voor de ontwerper.

Bij bestaande materialen is meestal een bestekswaarde bekend. Voor betonelementen volstaat die informatie, maar voor natuursteen zullen in het algemeen steekproeven nodig zijn. Bij hergebruik zal dit onderzoek in de meeste gevallen overigens al zijn uitgevoerd in het kader van de toetsing.

B.4.2 Permeabiliteit

Definitie

In de rekenregels volgens Van der Meer wordt voor de doorlatendheid van de constructie onder de toplaag van breuksteen de parameter P gebruikt. Dit is een experimenteel bepaalde parameter waarvan de waarde afhangt van de laagdikte en korrelgrootte van toplaag en onderlagen.

Rol

De permeabiliteit P speelt een directe rol in de rekenregels volgens de methode Van der Meer voor breuksteenoverlagingen. Hoe hoger de waarde, hoe gunstiger voor de stabiliteit van de toplaag.

Wijze van bepaling

De waarde van P is oorspronkelijk bepaald voor een aantal standaard-constructietypen met een toplaag van breuksteen op granulaire filterlagen. Voor de toepassing van de rekenregels op breuksteenoverlaging is nagegaan op welke van de standaard-constructietypen deze bekledingstypen het meest lijken.

De standaardwaarde voor breuksteenoverlagingen is 0,1: de steenzetting onder de toplaag van breuksteen is zeer ondoorlatend. Ter indicatie: P heeft een waarde van 0,4 bij een toplaag met een dikte van $2 \cdot D_{n50T}$ op een filterlaag waarvan de karakteristieke diameter D_{n50F} 2 maal zo klein is als D_{n50T} en met een dikte van $1,5 \cdot D_{n50F}$. De maximale waarde van P is 0,6 en die geldt voor een constructie zonder filterlagen of kern, dus met een zeer dikke toplaag.

Een keuze voor hogere (dus minder conservatieve) waarden van P kan alleen worden gemaakt op basis van specialistisch onderzoek (in geavanceerde toetsing of ontwerp).

C.1 MILIEUEFFECTRAPPORTAGE (M.E.R.)

Volgens artikel 7 van de Wet op de waterkering moeten ingrepen aan een primaire waterkering geschieden overeenkomstig een door de beheerder vastgesteld en door gedeputeerde staten goedgekeurd plan. De m.e.r.-procedure volgens de Wet milieubeheer is hieraan gekoppeld. In de Europese richtlijn 97/11/EG is aangegeven op welke manier per project met de m.e.r.-procedure moet worden omgegaan. Concrete richtlijnen voor Nederland op basis van de Europese richtlijn staan in het Besluit milieueffectrapportage 1994 zoals gewijzigd bij Besluit van 7 mei 1999. Onderscheid wordt gemaakt tussen activiteiten ten aanzien waarvan het maken van een m.e.r. verplicht is (m.e.r.-plichtige activiteiten) en activiteiten ten aanzien waarvan het bevoegd gezag per geval moet beoordelen of het maken van een m.e.r. verplicht is (m.e.r.-beoordelingsplichtige activiteiten). Het ontwerp van steenzettingen heeft in de praktijk meestal te maken met primaire waterkeringen. Voor die toepassing worden de voorwaarden ten aanzien van de m.e.r.-procedure verder uitgewerkt, zie het gewijzigde Besluit voor andere toepassingen (waterwegen, havens, bekkens). Voor de inhoud en opzet van milieueffectrapportages voor primaire waterkeringen wordt verwezen naar de Leidraad Zee- en Meerdijken [lit.2].

C.1.1 M.e.r.-plicht

Ten aanzien van m.e.r.-plicht gelden verschillende voorwaarden voor enerzijds zee- en deltadijken en anderzijds rivierdijken. De voorwaarden staan in artikel 12.2 van Onderdeel C van het gewijzigde Besluit:

wijziging of uitbreiding van een zee- of deltadijk is m.e.r.-plichtig als die betrekking heeft op een wijziging of uitbreiding van 5 kilometer of meer én een wijziging van het dwarsprofiel van 250 m² of meer. Aan beide voorwaarden moet worden voldaan; wijziging of uitbreiding van een rivierdijk is m.e.r.-plichtig als die betrekking heeft op een wijziging of uitbreiding van 5 kilometer of meer.

C.1.2 M.e.r.-beoordelingsplicht

Ten aanzien van de m.e.r.-beoordelingsplicht gelden geen voorwaarden: voor elke wijziging of uitbreiding van primaire waterkeringen die niet m.e.r.-plichtig is moet wél worden beoordeeld of de activiteit 'aanzienlijke milieueffecten' zal hebben. In dat geval moet alsnog een m.e.r. worden gemaakt.

In de praktijk zal bij ontwerpprojecten van steenzettingen alleen worden voldaan aan de kwantitatieve voorwaarden voor m.e.r.-plichtigheid als de dijk of dam tegelijk ook verhoogd, verzaagd of verlegd moet worden. Als het ontwerpproject m.e.r.-plichtig is, komen de ontwerpeisen en -wensen ten aanzien van de omgeving rechtstreeks naar voren in de m.e.r.

Zo niet, dan wordt de beoordeling van de m.e.r.-plicht uitgevoerd door het bevoegd gezag, in dit geval Gedeputeerde Staten. Voor de beoordeling of de activiteit 'aanzienlijke milieueffecten' zal hebben bestaan geen algemene richtlijnen, zodat het beoordelingskader per provincie kan verschillen. De voorwaarden die Gedeputeerde Staten stelt in het beoordelingskader, kunnen in dit geval worden gezien als de ontwerpeisen en -wensen ten aanzien van de omgeving.

De belangrijkste dimensioneringsregels voor de filterconstructie komen voort uit de volgende eisen:

- materiaaltransport vanuit de ondergrond moet worden voorkomen
- materiaaltransport door de toplaag moet worden voorkomen
- het materiaal van de filterlaag moet intern stabiel zijn.

De dimensioneringsregels worden voor de drie criteria afzonderlijk behandeld.

D.1 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND

Het ontwerp van een filter op dit faalmechanisme kan worden gebaseerd op twee ontwerpcriteria: geometrisch-dichtheid of hydraulisch-dichtheid. Beide criteria leiden tot een veilig ontwerp (indien correct toegepast), maar een hydraulisch-dicht ontwerp is minder conservatief. Voor de afweging tussen deze criteria, zie 5.2. In deze bijlage worden de dimensioneringsregels behandeld voor granulaire filters (D.1.1), filters van geokunststof (D.1.2) en granulaire filters op een geokunststof (D.1.3). Daarbinnen worden de regels voor geometrisch-dichtheid en hydraulisch-dichtheid apart behandeld.

D.1.1 Granulair filter

Geometrisch-dichtheid

Bij een geometrisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor doordat de afmetingen van het materiaal van de onderliggende laag groter zijn dan de openingen van de bovenliggende laag. De ontwerpregels voor dit ontwerpcriterium bestaan daarom uit grenswaarden voor de verhouding tussen de openingsgrootte van de bovenliggende laag en de korrelgrootte van de onderliggende laag.

Voor ontwerp is alleen de constructie van belang waarbij een granulair filter op zand ligt. Granulaire filters op klei worden niet in ontwerp toegepast, zie ook bijlage A. Voor geometrisch-dichtheid van een granulair filter op zand geldt de volgende ontwerpregel:

$$D_{f15} \leq 5 \cdot D_{b50}$$

Hydraulisch-dichtheid

Bij een hydraulisch dichte laagovergang komt geen materiaaltransport voor doordat het verhang langs het grensvlak te klein is om transport vanuit de onderliggende laag naar de bovenliggende laag mogelijk te maken. De regels in deze stap bestaan daarom uit een vergelijking tussen het optredende en het kritieke verhang langs het grensvlak. Ten eerste geldt voor een hydraulisch dicht filter de eis, dat de dikte van de granulaire laag groter moet zijn dan de helft van de toplaagdikte, óf groter dan 15 cm.

Het *kritieke* verhang (i_{cr}) ter plaatse van de laagovergang wordt volledig bepaald door de constructie-eigenschappen, het *optredende* verhang (i) daarnaast door de belastingsituatie. Zowel het optredende als het kritieke verhang kunnen verschillende waarden hebben in opwaartse en neerwaartse richting (i_{\uparrow} en i_{\downarrow}). In beide richtingen moet het optredende verhang kleiner zijn dan het kritieke verhang. Als algemene ontwerpregel geldt dus voor een hydraulisch dicht filter:

$$i_{\uparrow} < i_{cr\uparrow} \text{ en } i_{\downarrow} < i_{cr\downarrow}$$

Voor granulaire filters kan de dimensionering volgens deze regel met ANAMOS worden uitgevoerd: daarin worden zowel het optredende als het kritieke verhang voor granulaire filters berekend.

bijlage D Dimensionering van een filterconstructie

De waarde van i_{\uparrow} en i_{\downarrow} wordt als volgt bepaald:

- Het neerwaartse verhang i_{\downarrow} is altijd gelijk aan de sinus van de taludhelling ($\sin \alpha$).
- Het opwaartse verhang i_{\uparrow} hangt af van de golfhoogte H_s , de taludhelling α , de brekerparameter ξ_{0p} en het stijghoogteverschil over de toplaag. De waarde van i_{\uparrow} kan het eenvoudigst worden bepaald met behulp van ANAMOS. Daarvoor moeten rekenwaarden worden ingevuld voor de golfrandvoorwaarden, de gegevens van de toplaag en de granulaire laag en de taludhelling.

Het kritieke verhang i_{cr} hangt voor een granulair filter af van de taludhelling en daarnaast van verschillende eigenschappen van de granulaire laag (fijne fractie D_{f15} en porositeit n) en de ondergrond (gemiddelde fractie D_{50}). De waarde van i_{cr} kan het eenvoudigst worden bepaald met behulp van ANAMOS. Daarvoor moeten rekenwaarden worden ingevuld voor de gegevens van de granulaire laag, de ondergrond en de taludhelling.

Voor onderbouwing en achterliggende rekenformules voor het verhang, zie Achtergronden, hoofdstuk 5.

D.1.2 Geokunststof

Geometrisch-dichtheid

Voor het principe van de ontwerpregels wordt verwezen naar D.1.1. De regels hangen af van het type laagovergang. Er worden twee typen onderscheiden:

- 1 geokunststof op klei;
- 2 geokunststof op zand.

De regels worden per type gegeven.

type 1 geokunststof op klei

De regel is dat er moet worden voldaan aan elk van de drie volgende voorwaarden:

- $O_{90} < 10 \cdot D_{50}$
- $O_{90} < D_{90}$
- $O_{90} < 0,1 \text{ mm}$

Opgemerkt wordt dat dezelfde regels gelden als op het geokunststof een granulair filter aanwezig is, zie D.1.3. Aan het granulaire filter worden in dat geval geen eisen gesteld.

type 2 geokunststof op zand

De regel voor een geokunststof op zand zonder granulair filter is:

- $O_{90} < D_{50}$

Opgemerkt wordt dat er een aparte ontwerpregel is voor de situatie met een granulair filter op geokunststof op zand, zie D.1.3.

Hydraulisch-dichtheid

Voor een geokunststof zonder granulair filter erboven bestaat geen rekenmethode voor hydraulisch-dichtheid. Geokunststoffen met een granulair filter erboven worden apart behandeld in D.1.3.

D.1.3 Granulair filter op een geokunststof

Geometrisch-dichtheid

Voor het principe van de ontwerpregels wordt verwezen naar D.1.1. De regels hangen af van het type laagovergang. Er worden 2 typen onderscheiden:

- 1 granulair filter op geokunststof op klei;
- 2 granulair filter op geokunststof op zand.

De regels worden per type gegeven.

type 1 granulair filter op geokunststof op klei

De regels zijn als volgt: er moet worden voldaan aan elk van de drie volgende voorwaarden:

- $O_{90} < 10 \cdot D_{50}$
- $O_{90} < D_{90}$
- $O_{90} < 0,1 \text{ mm}$

Opgemerkt wordt dat dezelfde regels gelden als op het geokunststof geen granulair filter aanwezig is, zie D.1.2. Aan het granulaire filter worden in dit geval geen eisen gesteld.

type 2 granulair filter op geokunststof op zand

De aanwezigheid van een granulaire laag op het geokunststof draagt significant bij aan de weerstand tegen materiaaltransport als de ondergrond uit zand bestaat. Daarom is de grenswaarde van openingsgrootte O_{90} hoger dan wanneer er geen granulair filter aanwezig is, zie D.1.2. De regel is:

- $O_{90} < D_{90}$

Opgemerkt wordt dat er geen eisen worden gesteld aan de eigenschappen van het bovenliggende granulaire filter.

Hydraulisch-dichtheid

Ook voor een hydraulisch dicht ontwerp van een granulair filter op een geokunststof geldt ten eerste de eis dat de dikte van de granulaire laag groter moet zijn dan de helft van de toplaagdikte, óf groter dan 15 cm.

Voor het principe van de ontwerpregels en de bepaling van de waarde van i_{\uparrow} en i_{\downarrow} wordt verwezen naar D.1.1. Als ontwerpregel voor hydraulisch-dichtheid geldt ook bij granulaire filters op een geokunststof:

- $i_{\uparrow} < i_{cr\uparrow}$ en $i_{\downarrow} < i_{cr\downarrow}$

De rekenregels voor de waarde van i_{cr} hangen af van het type laagovergang. Bij een granulair filter op een geokunststof worden 2 typen onderscheiden:

- 1 granulair filter op geokunststof op klei;
- 2 granulair filter op geokunststof op zand.

type 1 granulair filter op geokunststof op klei

Ten eerste geldt als eis voor hydraulisch-dichtheid voor dit type, dat de karakteristieke openingsgrootte O_{90} van het geokunststof kleiner moet zijn dan $200 \mu\text{m}$.

Het kritieke verhang hangt af van de porositeit n en de fijne fractie D_{f15} van de granulaire laag en van de kwaliteit van de klei, en wordt dus niet bepaald door de eigenschappen van het geokunststof. Er zijn aparte rekenregels voor goede klei en voor matige of slechte klei. De definitie van goede klei in dit verband is dat het lutumgehalte groter is dan 35%. Voor dit type (granulair filter op geokunststof op klei) hebben $i_{cr\uparrow}$ en $i_{cr\downarrow}$ dezelfde waarde.

Voor klei met een lutumgehalte groter dan 35% (goede klei) geldt:

$$i_{cr} = \frac{0,034}{n^2 D_{f15}}$$

bijlage D Dimensionering van een filterconstructie

Voor klei met een lutumgehalte kleiner dan 35% (matige of slechte klei) geldt:

$$i_{cr} = \frac{0,012}{n^2 D_{f15}}$$

type 2 granulair filter op geokunststof op zand

Het optredende verhang moet kleiner zijn dan het kritieke verhang i_{cr} . Voor dit type laagovergang hangt het kritieke verhang i_{cr} af van verschillende eigenschappen van het geokunststof (doorlatendheid q / ϕ_g , karakteristieke openingsgrootte O_{90} en dikte T_g), de granulaire laag (fijne fractie D_{f15} en porositeit n) en de ondergrond (grove fractie D_{90}). De waarde van i_{cr} kan het eenvoudigst worden bepaald met behulp van ANAMOS. Daarvoor moeten rekenwaarden worden ingevuld voor de gegevens van de granulaire laag, het geokunststof en de ondergrond (dus niet de taludhelling).

De tellers in deze formules hebben de dimensie [m]; het resulterende verhang is dimensieloos.

Voor onderbouwing en achterliggende rekenformules, zie Achtergronden, hoofdstuk 5.

D.2 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE GRANULAIRE LAAG

Ook voor dit faalmechanisme kan het ontwerp worden gebaseerd op twee ontwerpcriteria: geometrisch-dichtheid of hydraulisch-dichtheid. Beide criteria leiden tot een veilig ontwerp (indien correct toegepast), maar een hydraulisch-dicht ontwerp is minder conservatief. Voor de afweging tussen deze criteria wordt verwezen naar 5.2. De regels gelden voor een granulair filter, maar ook voor granulaire lagen met een andere functie, bijvoorbeeld een granulaire uitvullaag.

D.2.1 Geometrisch-dichtheid

Voor een geometrisch dichte overgang van granulaire laag naar toplaag geldt als ontwerpregel dat de karakteristieke korreldiameter D_{15} kleiner moet zijn dan de spleetbreedte of gatdiameter tussen de toplaagelementen.

D.2.2 Hydraulisch-dichtheid

Op basis van modelproeven is een empirische relatie afgeleid tussen de erosiediepte Y in de open ruimte en de golfhoogte. De erosiediepte Y is de diepte vanaf de bovenkant van de toplaag waarover de voegvulling is uitgespoeld. Als deze diepte kleiner is dan de toplaagdikte zal in theorie geen materiaaltransport vanuit de granulaire laag door de toplaag heen kunnen voorkomen. Vanwege onzekerheden in de empirische rekenregels voor de erosiediepte wordt als ontwerpregel gehanteerd dat de erosiediepte kleiner moet zijn dan de helft van de toplaagdikte: $Y < 0,5 \cdot D$.

De rekenregels voor de bepaling van de erosiediepte Y zijn verschillend voor gatdiameters groter en kleiner dan 0,1 m:

$$\text{voor } G \geq 0,1 \text{ m: } Y > 0,23G \cdot (H_s / D_{50})^{0,33}$$

$$\text{voor } G < 0,1 \text{ m: } Y > 0,04G \cdot \sqrt{H_s / D_{50}} \cdot \Omega^{-0,75}$$

waarin:

G	=	gatdiameter	[m]
D	=	toplaagdikte	[m]
H_s	=	significante golfhoogte	[m]
D_{50}	=	korreldiameter van het granulaire materiaal	[m]
Ω	=	open-ruimtepercentage van de toplaag	[-]

D.3 INTERNE STABILITEIT VAN DE GRANULAIRE LAAG

Voor eventuele interne instabiliteit is het vlakste deel van de zeefkromme van D_{f0} tot D_{f20} bepalend. Interne stabiliteit is gewaarborgd als dit deel van de zeefkromme een bepaalde minimale steilheid heeft.

Bij elke korrelgrootte D_{fx} tussen D_{f0} tot D_{f20} wordt de korrelgrootte D_{fy} gezocht die 4 maal zo groot is. Bij beide korrelgroottes hoort een onderschrijdingspercentage, waarbij x ligt tussen 0 en 20, en y tussen 0 en 80. De regel luidt, dat voor elke combinatie van D_{fx} en D_{fy} de verhouding tussen x en y groter moet zijn dan 2,3.

In formulevorm:

$$(y / x)_{\min} > 2,3 \text{ met } x \leq 20\%$$

waarin:

D_{fx}	=	korrelgrootte met onderschrijdingspercentage $\leq 20\%$	[m]
D_{fy}	=	korrelgrootte die 4 maal zo groot is als D_{fx}	[m]
x	=	onderschrijdingspercentage van D_{fx} ($x \leq 20\%$)	
y	=	onderschrijdingspercentage van D_{fy}	
$(..)_{\min}$	=	kleinste waarde van ..	[-]

Als interne instabiliteit kan optreden ($(y / x)_{\min} < 2,3$), maar de doorgerekende sortering wordt toch toegepast, moet ervoor worden gezorgd dat de uitspoelende korrels (de fijnste fractie) niet in andere constructie-onderdelen kunnen vastlopen en ophopen. Bovendien moet er in de berekeningen voor het faalmechanisme toplaaginstabiliteit van worden uitgegaan dat alle korrels kleiner dan D_{fx} zullen verdwijnen. Dit is ongunstig voor de stabiliteit omdat de waterdoorlatendheid van de granulaire laag toeneemt. Het uitspoelen van de fijne fractie kan in de berekening worden verwerkt door voor D_{f15} de waarde te gebruiken die in de oorspronkelijke zeefkromme een onderschrijdingspercentage van ongeveer $x + 15$ heeft.

E.1 OPZET EN HUIDIGE TOEPASSING ANAMOS

Het computerprogramma ANAMOS bevat het gehele rekenproces van een steenzetting volgens de analytische methode zoals beschreven in [lit. 1]. In het programma kan een steenzetting op een granulaire laag worden ingevoerd, met alle mogelijke constructiekenmerken, en kan een belastingssituatie worden ingevoerd.

Het programma maakt berekeningen voor drie aspecten:

- topplaaginstabiliteit onder golfaanval: ANAMOS berekent of de ingevoerde steenzetting stabiel is bij de ingevoerde belasting;
- materiaaltransport vanuit de ondergrond: ANAMOS berekent of de overgang tussen ondergrond en bekleding hydraulisch dicht is;
- afschuiving van de toplaag: ANAMOS berekent hoe groot de kracht is die de bekleding uitoefent op de teenconstructie.

In de huidige praktijk wordt ANAMOS vooral gebruikt voor ontwerp en toetsing op topplaaginstabiliteit onder golfaanval. Daarnaast is ANAMOS ook een nuttig hulpmiddel bij ontwerp en toetsing op hydraulisch-dichtheid van de overgang tussen ondergrond en bekleding, maar deze berekeningen worden minder vaak gemaakt. Voor deze twee berekeningen wordt in dit technisch rapport verwezen naar ANAMOS. Het derde aspect (de kracht op de teenconstructie) wordt in de praktijk nauwelijks gebruikt en daarom niet verder behandeld.

E.2 TOPLAAGINSTABILITEIT ONDER GOLFAANVAL

Met betrekking tot topplaaginstabiliteit rekent ANAMOS een waarde uit voor het optredende en het toelaatbare stijghoogteverschil over de toplaag (in meters): de belasting S en de sterkte R . Als de belasting S groter is dan de sterkte R , wordt de constructie door ANAMOS als instabiel beoordeeld. Hiervoor worden drie criteria gebruikt:

- 1 Het beschouwde toplaagelement mag niet bewegen bij individuele golven ter grootte van H_g in de maatgevende omstandigheden;
- 2 Het beschouwde toplaagelement mag maximaal 10% van de toplaagdikte bewegen bij individuele golven ter grootte van $H_{2\%}$ in de maatgevende omstandigheden;
- 3 Er wordt voldaan aan de algemene stabiliteitsgrens.

De criteria voor instabiliteit worden in Achtergronden, hoofdstuk 3, uitgebreid behandeld.

ANAMOS houdt automatisch rekening met de invloed van overgangsconstructies op de topplaaginstabiliteit van de aangrenzende steenzetting. Voor dat onderdeel van het ontwerp- en toetsingsproces wordt in dit *Technisch Rapport Steenzettingen* dan ook nadrukkelijk verwezen naar ANAMOS. Het is echter niet mogelijk om berekeningen te maken zónder deze invloed, bijvoorbeeld voor een overgangsconstructie die de granulaire laag niet onderbreekt. Voor die situatie moeten in ANAMOS een fictieve onder- en bovengrens van de steenzetting worden ingevoerd, zie verder E.4.

E.3 MATERIAALTRANSPORT VANUIT DE ONDERGROND

Een laagovergang is hydraulisch dicht als het verhang langs het grensvlak te klein is om transport vanuit de onderliggende laag naar de bovenliggende laag mogelijk te maken. Het kritieke verhang (i_{cr}) wordt volledig bepaald door de constructie-eigenschappen, het optredende verhang (i) door constructie-eigenschappen en door de belastingssituatie. Zowel het optredende als het kritieke verhang kunnen verschillende waarden hebben in

opwaartse en neerwaartse richting.

Als rekenregel geldt dat het optredende verhang in beide richtingen kleiner moet zijn dan het kritieke verhang:

- 1 $i_{\uparrow} < i_{cr\uparrow}$
- 2 $i_{\downarrow} < i_{cr\downarrow}$

De rekenmethodes worden in
Achtergronden, hoofdstuk 5,
uitgebreid behandeld.

E.4 INVOER VAN ANAMOS

De invoer van gegevens vindt plaats via een menu met vier items: golven, talud, constructietype en projectidentificatie. Voor deze bijlage zijn de eerste drie items van belang. Per item worden alle in te voeren parameters in volgorde behandeld. Richtlijnen voor nauwkeurigheid en representatieve waarden per parameter worden behandeld in bijlage B.

De analytische methode is alleen toepasbaar als de invoerparameters binnen bepaalde grenzen liggen. Het is niet mogelijk om waarden buiten deze grenzen in ANAMOS in te voeren. Voor de belangrijkste parameters worden deze begrenzingswaarden vermeld. De verwijzingen zijn naar paragrafen in bijlage B.

1 Golven

1a Significante golfhoogte H_s [m]

Hier moet de maatgevende waarde worden ingevuld die hoort bij de beschouwde strook van de bekleding, zie B.1.1. Grenzen: 0,05 tot 4,0 m.

1b Piekperiode T_p [s]

Hier moet de maatgevende waarde worden ingevuld die hoort bij de beschouwde strook van de bekleding, zie B.1.2. Grenzen: 0,5 tot 15,0 s.

1c Waterstand tov. de teen h_1 [m]

Deze parameter speelt een rol in ANAMOS bij de berekening van de negatieve invloed van overgangsconstructies op de toplaaginstabiliteit van de steenzetting. In de praktijk is deze invloed alleen van belang als expliciet naar overgangsconstructies wordt gekeken, zie 6.3. In alle andere gevallen moet voorkómen worden dat ANAMOS de invloed van de overgangsconstructies wél meerekent in de berekening voor toplaaginstabiliteit. Voor de parameter h_1 moet daarom een zodanige waarde worden gekozen dat het maatgevende niveau niet in de buurt van de onder- of bovenkant van de constructie ligt. Het maatgevende niveau ligt een afstand y_s onder de waterstand, zie B.1.5. De waarden van h_1 en van de onder- en bovengrens hoeven met het oog op de berekening niet reëel te zijn. Het probleem kan worden opgelost door voor h_1 bijvoorbeeld standaard een waarde van 6 m in te vullen, in combinatie met een ondergrens h_2 van 0 m en een bovengrens h_3 van 10 m, zie ook punt 2c en 2d.

1d Soortelijke massa water s_w [kg/m^3]

In dit technisch rapport wordt deze parameter de dichtheid ρ_w genoemd, zie B.1.7. In te vullen waarden: $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ = zoet water, $1025 \text{ kg}/\text{m}^3$ = zout water.

2 Talud

2a Helling (bij 1:x geldt $\cot\alpha = x$) \cot [-]

Hier moet de ontwerp- of toetswaarde voor de helling van het bekledingsvak worden ingevuld, zie B.2.2. Grenzen: 2,5 tot 6,0.

2b Wrijvingscoëfficiënt toplaag/ondergrond f_t [-]

Hier moet standaard de waarde 0,5 worden ingevuld, zie B.3.7.

2c **Nivo ondergrens zetting tov. teen h_2 [m]**

Net als de waterstand (punt 1c) wordt deze parameter alleen gebruikt voor de berekening van de invloed van overgangsconstructies op toplaaginstabiliteit. Als wordt gekozen om deze invloed niet door ANAMOS, maar apart in rekening te brengen, moet dit niveau voldoende laag ten opzichte van de onder 1c ingevoerde waterstand worden gekozen.

2d **Nivo bovengrens zetting tov. teen h_3 [m]**

Hiervoor geldt hetzelfde als voor de ondergrens. Dit niveau moet voldoende hoog ten opzichte van de onder 1c ingevoerde waterstand worden gekozen.

3 Constructietype

(per onderdeel kan het type worden gekozen door indrukken van de spatiebalk)

3a Inwasmateriaal

Hier moet normaal gesproken worden gekozen voor 'niet ingewassen', zie B.3.1.

3b Toplaag

Bij een toplaag van betonblokken, granietblokken of koperslakblokken moet worden gekozen voor 'dichte blokken', bij een toplaag van alle betonzuilproducten (ook Hydroblocks) en van basaltzuilen moet worden gekozen voor 'zuilen'. Doorgroeienden ('blokken met gaten') worden in de praktijk niet berekend met ANAMOS. Voor dichte blokken en zuilen moeten deels verschillende parameters worden ingevuld.

Voor blokken:

3b.1 *Breedte (langs het talud) B [m]*

De parameters breedte, lengte en spleetbreedte bij blokken bepalen gezamenlijk het relatief open oppervlak voor de berekening op toplaaginstabiliteit, zie B.3.2.

3b.2 *Lengte (evenwijdig dijkas) L [m]*

Zie 3b.1 en B.3.2.

3b.3 *Dikte D [m]*

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde van de toplaagdikte (toplaag-elementhoogte) ingevuld, zie B.3.3. Grenzen: 0,02 tot 0,7 m.

3b.4 *Spleetbreedte s [mm]*

Zie 3b.1 en B.3.2. Grenzen: van 0,5 mm tot 30 mm.

3b.5 *Soortelijke massa s_m [kg/m³]*

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde voor de dichtheid ρ van de toplaagelementen ingevuld, zie B.3.4. Grenzen: 2000 tot 3000 kg/m³.

3b.6 *Klemfactor G [-]*

Hier wordt normaal gesproken standaard de waarde 1,0 ingevuld, zie B.3.5.

Voor zuilen:

3b.7 *Gemiddeld zuiloppervlak A [m²]*

Deze parameter is niet bepalend voor het relatief open oppervlak (zie 3b.8 hieronder), maar heeft wel invloed op doorlatendheid en wrijving/klemming. In de praktijk wordt hiervoor standaard 0,09 m² ingevuld.

3b.8 *Relatief open oppervlak A_o [%]*

Hier moet de ontwerp- of toetswaarde worden ingevuld, zie B.3.2.

Grenzen: 1 tot 20%.

3b.9 *Dikte D [m]*

Zelfde als bij blokken, zie 3b.3.

3b.10 *Soortelijke massa s_m [kg/m³]*

Zelfde als bij blokken, zie 3b.5.

3b.11 *Klemfactor G [-]*

Zelfde als bij blokken, zie 3b.6.

3c Geotextiel

Op deze plaats in de bekleding (direct onder de toplaag) bevindt zich in de huidige praktijk van ontwerp en toetsen geen geotextiel. Daarom moet hier worden gekozen voor 'geen geotextiel'.

3d Uitvullaag

In ontwerpen wordt tegenwoordig geen uitvullaag meer toegepast zoals hier bedoeld. Ook bij toetsing is het niet gebruikelijk om deze parameter te gebruiken. De parameters van de granulaire laag die wél wordt toegepast, worden behandeld onder punt d. Daarom moet hier worden gekozen voor 'geen uitvullaag'.

3e Filter

Met deze parameter wordt de granulaire laag bedoeld zoals besproken in 2.1.4. ANAMOS is alleen geschikt voor constructies met deze granulaire laag; de optie 'geen filter' bestaat dan ook niet. Kenmerken:

3e.1 Laagdikte b [m]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie B.3.8.
Grenzen: 0,05 tot 5,00 m.

3e.2 Karakteristieke korreldiameter D_{15} [mm]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie B.3.9.
Grenzen: 0,5 tot 300 mm.

3e.3 Porositeit n [-]

Hier wordt de ontwerpwaarde ingevuld, zie B.3.9. Grenzen: 0,15 tot 0,50.

3f Type en kenmerken geotextiel

Op deze plaats in de bekleding wordt wel een geokunststof toegepast. In ANAMOS dienen deze invoergegevens alleen voor de berekening van materiaaltransport; als ANAMOS alleen wordt gebruikt voor de berekening van toplaaginstabiliteit moet hier worden gekozen voor 'geen geotextiel'. Als de berekening voor materiaaltransport wel van belang is:

3f.1 Doorlatendheid

Er zijn drie manieren om de doorlatendheid in te voeren: metingen, Forchheimer-relatie of machrelatie, zie Achtergronden, hoofdstuk 3.

3f.2 Dikte van het geotextiel T_g [mm]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie B.3.10.
Grenzen: 0,2 tot 10 mm.

3f.3 Karakteristieke openingengrootte O_{90} [mm]

Hier wordt de ontwerpwaarde ingevuld, zie B.3.10.
Grenzen: 0,025 tot 1 mm.

3g Type en kenmerken basismateriaal

In ANAMOS dienen deze invoergegevens alleen voor de berekening van materiaaltransport, en dit is alleen mogelijk als het basismateriaal zand is. Als ANAMOS alleen wordt gebruikt voor de berekening van toplaaginstabiliteit doet het er niet toe welke gegevens hier ingevoerd worden. Als de berekening voor materiaaltransport wel van belang is:

3g.1 Karakteristieke korreldiameter D_{50} [mm]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie B.2.5.
Grenzen: 0,1 tot 1 mm, en D_{50} moet kleiner zijn dan D_{90} .

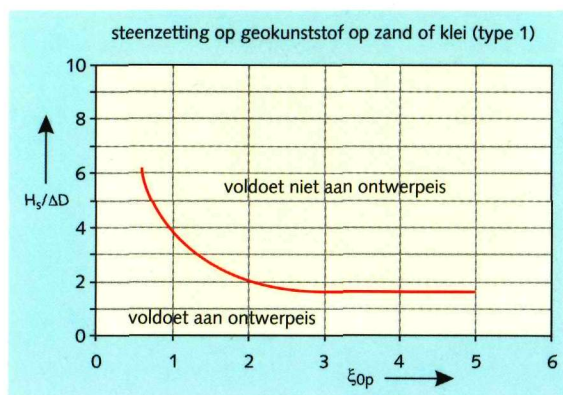
3g.2 Karakteristieke korreldiameter D_{90} [mm]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld, zie B.2.5.
Grenzen: 0,1 tot 1 mm, en D_{90} moet groter zijn dan D_{50} .

3g.3 Porositeit n [-]

Hier wordt de ontwerp- of toetswaarde ingevuld. Grenzen: 0,3 tot 0,5.

Figuur F.1
Ontwerpregel
toplaaginstabiliteit
onder golfaanval voor
standaardelementen
zonder granulaire laag



Ontwerpeis

$$2,2 < \xi_{0p} < 5 : H_s/\Delta D_{\text{onder}} = 9,9 \cdot \xi_{0p}^{-4} + 0,08 \cdot \xi_{0p} + 1,24$$

$$0,6 < \xi_{0p} \leq 2,2 : H_s/\Delta D_{\text{onder}} = 3,88 \cdot \xi_{0p}^{-0,926}$$

Het ontwerp van een overlaging met losse breuksteen wordt beschreven in 5.4.4. In deze bijlage worden de rekenformules gegeven, zie Achtergronden 8.5 voor een onderbouwing. Voor de rekenformules van patroon-gepenetreerde overlaging en 'vol en zat' gepenetreerde overlaging wordt verwezen naar Technisch Rapport Asphalt voor waterkeren [lit.5].

Met behulp van modelonderzoek zijn formules opgesteld voor de steenaftmetingen en –dichtheid als functie van de significante golfhoogte H_s en de brekerparameter ξ_m . Deze formules zijn omschreven voor ontwerp door de term ΔD_{n50} in het linkerlid te zetten. Het resultaat is als volgt:

Voor "plunging" golven ($\xi_m \leq \xi_{mc}$):

$$\Delta D_{n50} = \frac{H_s \cdot \sqrt{\xi_m}}{4,1 \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \cdot Y}$$

Voor "surging" golven ($\xi_m > \xi_{mc}$):

$$\Delta D_{n50} = \frac{H_s}{1,35 \cdot \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0,2} \cdot \sqrt{\cot\alpha} \cdot \xi_m^P \cdot Y}$$

waarin: $\xi_m = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_s \cdot 2\pi}{g \cdot T_m^2}}}$

en: $\xi_{mc} = (3\sqrt{\tan\alpha})^{\frac{1}{0,6}}$

Voor hellingen flauwer dan 1:4 vindt de overgang van "plunging" naar "surging" golven niet plaats en wordt gebruik gemaakt van de eerste (plunging) formule. Parameters die niet bekend zijn uit de rekenregels van steenzettingen:

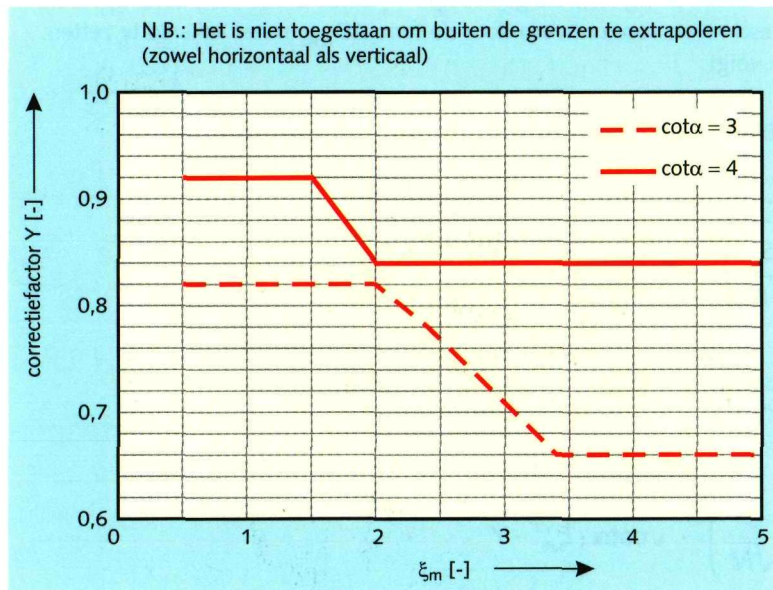
ξ_m	=	brekerparameter gebaseerd op T_m	[-]
ξ_{mc}	=	kritische brekerparameter	[-]
D_{n50}	=	nominale steendiameter, gebaseerd op M_{50}	[m]
S	=	schadegetal	[-]
N	=	aantal golven in maatgevende storm	[-]
Y	=	correctiefactor	[-]
P	=	permeabiliteit van het talud	[-]
T_m	=	: gemiddelde golfperiode $\approx T_p/1,1$ à $1,3$	[s]

Behalve het schadegetal S en de correctiefactor Y worden de parameters behandeld in bijlage B.

bijlage G Rekenmethode overlaging losse breuksteen

Voor het schadegetal S wordt voor het ontwerp van breuksteenoverlagingen een waarde van 4 aanbevolen. De resulterende waarde van ΔD_{n50} kan worden toegepast in het gehele dwarsprofiel, zie Achtergronden 8.5 voor een onderbouwing.

De waarde van de correctiefactor Y kan worden afgelezen in de grafiek van figuur G.1 uitgezet als functie van ξ_m .



Figuur G.1:
Bepaling correctiefactor Y

Doordat de formules gerelateerd zijn aan de formules van Van der Meer is het mogelijk om in de rekenprocedure voor een overlaging met losse breuksteen gebruik te maken van het rekenprogramma BREAKWAT. Als BREAKWAT niet beschikbaar is, moet gewerkt worden met de gegeven formules.

Kies na het opstarten van BREAKWAT voor 'Stability formula rock'. Kies vervolgens, onder 'parameters which can be calculated', voor 'M50 – required average mass of rock'. Hierna verschijnt het invoerveld voor de benodigde parameters. Hou daarbij rekening met de besproken rekenwaarden voor N , P en S . Bij de uitvoerparameters staan onder meer Δ en D_{n50} ; let niet op de andere uitvoerparameters, maar alleen op deze twee. Het product van Δ en D_{n50} moet worden gedeeld door de waarde van correctiefactor Y uit figuur G.1. Het resultaat is de vereiste waarde voor ΔD_{n50} .

Rekenprocedure steenzetting op/boven berm

Het ontwerp van steenzettingen op bermen wordt behandeld in 6.4. Voor de dimensionering op toplaaginstabiliteit wordt daarin verwezen naar de rekenmethode in deze bijlage.

Een steenzetting op een berm wordt gedimensioneerd als een steenzetting op een talud met een fictieve taludhelling α_{fict} en met een toplaagdikte die is gecorrigeerd met de bermfactor f_{berm} . De ongunstigste combinatie van α_{fict} , f_{berm} en golfbelasting kan niet op voorhand worden bepaald. Daarom wordt de dimensionerings-berekening voor een aantal waterstanden binnen de relevante range uitgevoerd, waarbij de strengste eis geldt.

De rekenprocedure bestaat uit vijf stappen:

- 1 bepaling van de range van waterstanden
- 2 bepaling van de maatgevende golfparameters
- 3 bepaling van de rekenwaarde van de taludhelling
- 4 bepaling van de bermfactor
- 5 dimensioneringsberekeningen

Stap 1 bepaling van de range van waterstanden

De ongunstigste combinatie van α_{fict} , f_{berm} en golfbelasting kan zich voordoen bij alle waterstanden onder (en inclusief) Ontwerppeil en bij alle waterstanden boven (en inclusief) het niveau van de buitenknik van de berm. Binnen deze range moeten een aantal waterstanden worden gekozen waarvoor stap 2 tot en met 5 van de procedure moeten worden doorlopen. In eerste instantie kan worden uitgegaan van een stapgrootte van enkele decimeters. Bij de keuze van de door te rekenen waterstanden is het verstandig om vooraf globaal te kijken waar de situatie het ongunstigst is en daar vooral de aandacht op te richten. Bij het opzoeken van de ongunstigste waterstand gelden de volgende overwegingen:

- f_{berm} is maximaal (dus ongunstig) bij waterstanden die grofweg tussen H_s en $1,5H_s$ boven bermniveau liggen;
- de golfbelasting neemt meestal toe met de waterstand; meestal geldt dus: hoe hoger de waterstand, hoe ongunstiger;
- de gemiddelde taludhelling in de zone van $1,5H_s$ onder de waterstand is van belang, zonder rekening te houden met de taludhelling van de berm zelf. Als het onderbeloop steiler is dan het bovenbeloop, kan een lage waterstand dus de ongunstigste combinatie van waarden opleveren

Als de berm hoger ligt dan of gelijk is aan Ontwerppeil, is de situatie bij Ontwerppeil per definitie de ongunstigste situatie. In dat geval hoeven de vervolgstappen alleen voor die waterstand te worden doorlopen.

De stappen 2 tot en met 5 moeten worden doorlopen voor alle relevante waterstanden binnen de range zoals bepaald in stap 1, totdat uit de berekende waarden kan worden afgeleid dat de ongunstigste combinatie is gevonden. De per cyclus beschouwde waterstand wordt aangeduid als X.

Stap 2 bepaling van de maatgevende golfparameters

Ga na welke waarden van golfhoogte H_s en golfperiode T_p horen bij de waterstand X. Voor de bepaling van de golfparameters, zie bijlage B.1.

bijlage H Rekenprocedure steenzettingen op/boven berm

Stap 3 bepaling van de rekenwaarde van de taludhelling

De rekenwaarde van de taludhelling voor de dimensionering van een steenzetting op een berm is het gewogen gemiddelde van de taludhelling boven en onder de berm voor zover gelegen in de zone van $1,5H_s$ onder de beschouwde waterstand X.

De procedure van stap 3 is als volgt:

- bepaal niveau $Y = X - 1,5H_s$; H_s is de golfhoogte die hoort bij de waterstand X, dus niet (persé) bij Ontwerppeil.
- bepaal de wegingsfactoren voor de taluddelen boven (P) en onder de berm (Q):
 - als de berm lager ligt dan niveau Y: $P = X - Y$ en $Q = 0$;
 - als de berm hoger ligt dan niveau Y: $P = X - \text{bermniveau}$ en $Q = \text{bermniveau} - Y$.
- bepaal de gemiddelde cotangens van de helling in het gedeelte boven de berm (a).
- bepaal de gemiddelde cotangens van de helling in het gedeelte onder de berm (b).
- bepaal de fictieve helling α_{fict} . Hiervoor geldt de volgende uitdrukking:
$$\cot \alpha_{\text{fict}} = (P \cdot a + Q \cdot b) / (P + Q)$$

Stap 4 bepaling van de bermfactor

De grafieken voor de bepaling van de bermfactor staan in de Figuren H.2 en H.3. In deze figuren staan de lijnen van de bermfactor voor alle acht mogelijke combinaties van de volgende gevallen:

- helling van het talud onder de berm: 1:3 en 1:4;
- bermbreedte: 5 m en 10 m;
- golfsteilheid: 0,035 en 0,045.

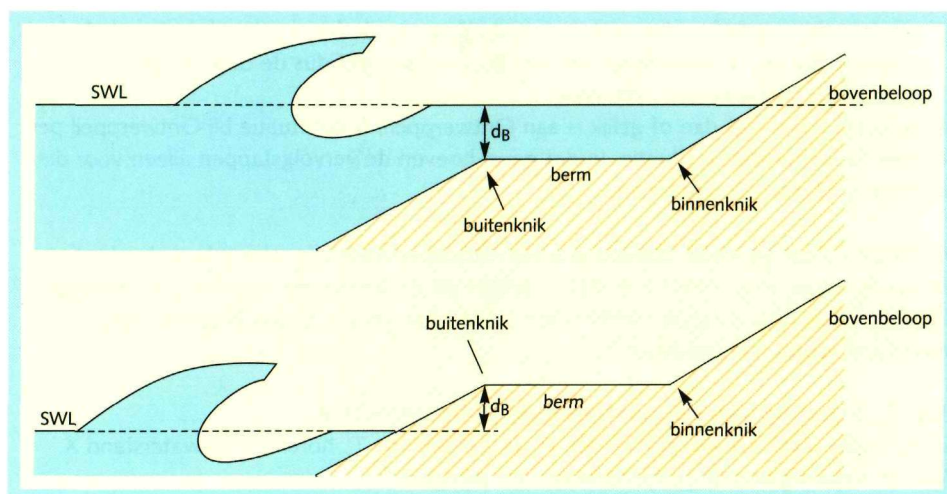
Binnen deze intervals kan lineair worden geïnterpoleerd; als eerste conservatieve benadering kan voor zowel helling als golfsteilheid de ongunstigste waarde worden gekozen. Voor gevallen buiten deze intervals kan worden geëxtrapoleerd.

De procedure van stap 4 is als volgt:

Kies de juiste figuur voor het bepalen van de bermfactor

Bepaal de bermfactor die hoort bij waterstand X en de bijbehorende golfhoogte $H_{s,X}$.

De parameter d_B is de waterdiepte ten opzichte van de berm. De definitie daarvan is weergegeven in figuur C.1. Let op: de waarde van d_B is negatief als de stilwaterstand onder bermniveau ligt.



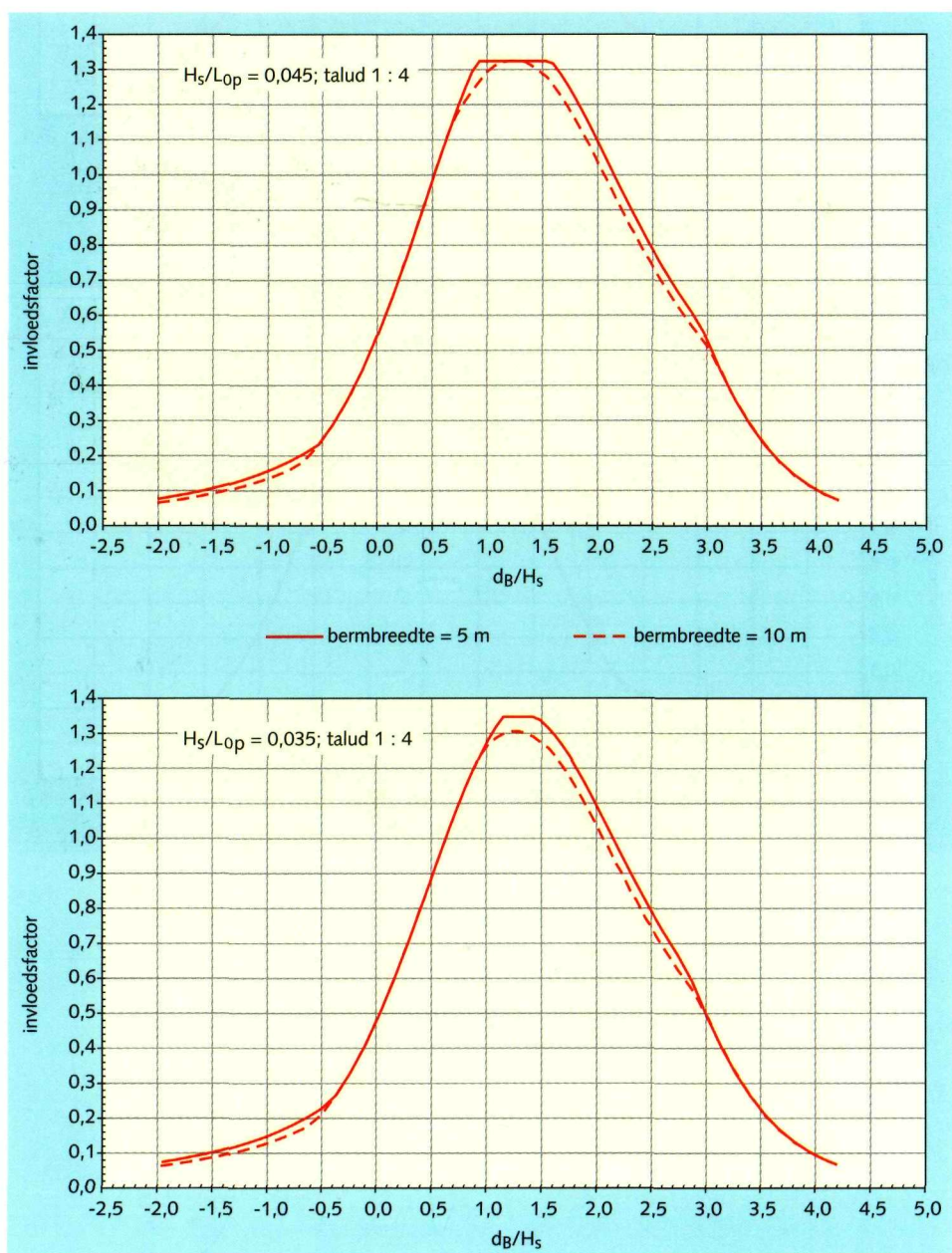
Figuur H.1
Definitie waterdiepte d_B voor bepaling bermfactor

Stap 5 dimensioneringsberekeningen

vermenigvuldigd met

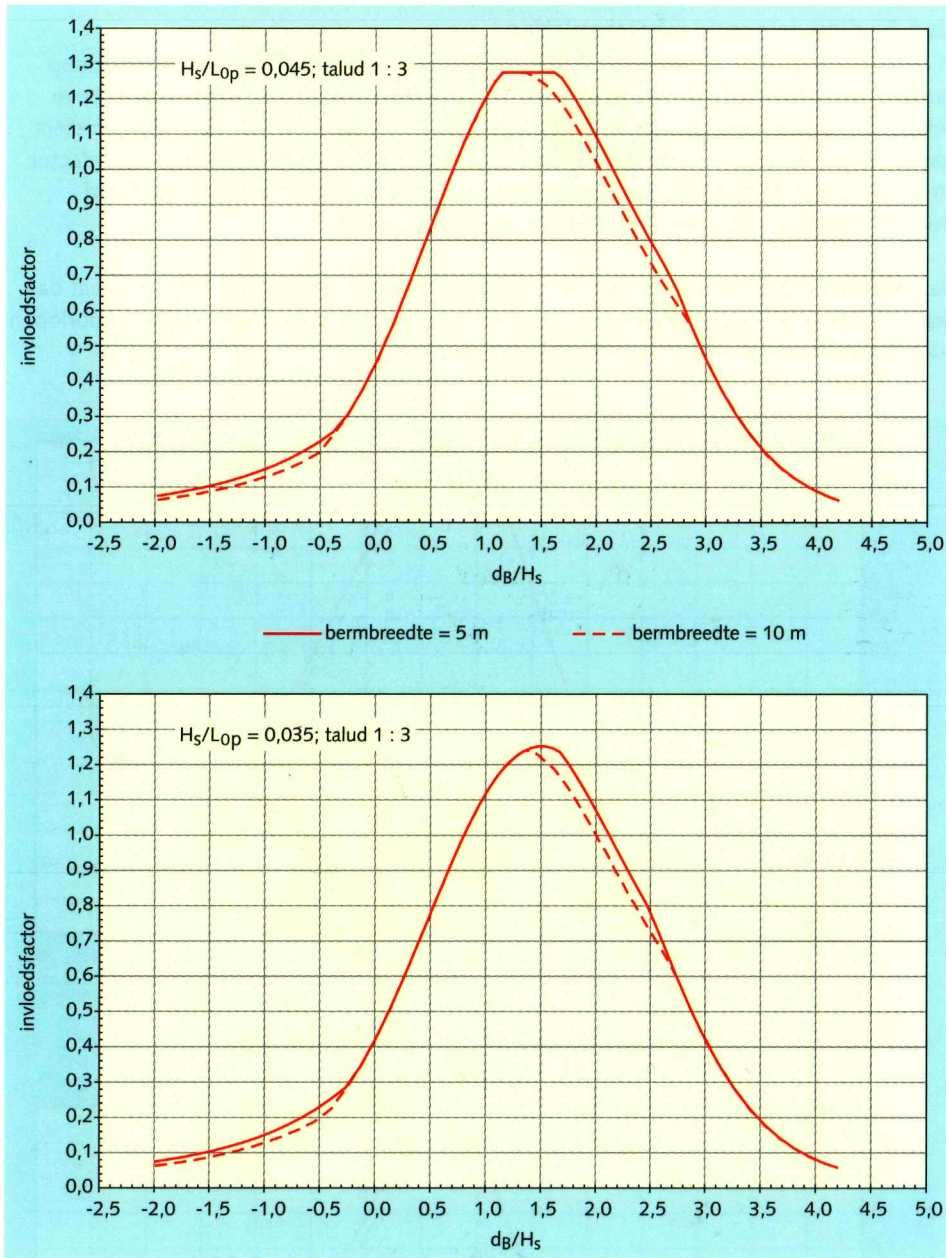
In deze stap wordt de dimensionering uitgevoerd voor het op de berm of bovenbeloop aanwezige bekledingstype. Ten eerste wordt de toplaagdikte berekend voor de fictieve bekleding met de rekenwaarde voor de taludhelling uit stap 3 en met de golfparameters zoals bepaald in stap 2. Vervolgens wordt deze toplaagdikte gedeeld door de bermfactor uit stap 4. Voor de dimensioneringsregels wordt verwezen naar 5.3 (voor standaard steenzettingen) of 5.4 (voor aanverwante bekledingstypen).

De grootste berekende waarde van de toplaagdikte is maatgevend. Als niet vaststaat dat deze waarde is gevonden, moeten de stappen 2 tot en met 5 nogmaals worden doorlopen voor een andere waterstand binnen de range van stap 1.



Figuur H.2
Bermfactor voor taludhelling
onder de berm 1:4

bijlage H Rekenprocedure steenzettingen op/boven berm



Figuur H.3
Bermfactor voor taludhelling
onder de berm 1:3

Symbolen

SYMBOOL	OMSCHRIJVING	EENHEID
A	zuiloppervlak	m ²
A _o	relatief open oppervlak	%
B	breedte toplaagelement langs het talud	m
B _{element}	breedte toplaagelement	m
b _f	dikte van de granulaire laag/filter	m
b _k	dikte van de cohesieve laag	m
B _{uitsteeksel}	breedte uitsteeksel ruwheidselement	m
C _{slib}	invloedsfactor voor ingeslibde granulaire laag	-
D	laagdikte van de toplaag	m
d	waterdiepte	m
d ₋	ondergrens waterdiepte	m
d ₊	bovengrens waterdiepte	m
D ₁₅	korrel diameter van granulair materiaal die door 15% van het materiaal op basis van gewicht wordt onderschreden	m
d _b	waterdiepte boven de buitenknik van de berm	m
D _{element}	dikte toplaag exclusief ruwheidselement	m
D _{f15}	korrel diameter van granulair filtermateriaal die door 15% 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 _{uitsteeksel}	dikte uitsteeksel ruwheidselement	m
Fφ	kracht t.g.v. stijghoogteverschil over het element	N
f _{berm}	bermfactor	-
F _g	zwaartekracht	N
f _t	wrijvingscoëfficiënt	-
F _w	wrijvingskracht	N
G	gatdiameter	m
g	zwaartekrachtsversnelling	m/s ²
G	klemfactor	-
h ₁	waterstand t.o.v. de teen	m
h ₂	niveau ondergrens zetting t.o.v. de teen	m
h ₃	niveau bovengrens zetting t.o.v. de teen	m
H _i	golfhoogte secundaire golven	m
h _{kr}	absolute hoogte ter plaatse van de buitenkruinlijn op de peildatum	m t.o.v. NAP
H _s	significante golfhoogte	m
i _f	opwaarts verhang	-
i _l	neerwaarts verhang	-
i _{cr}	kritiek verhang	-
i _f	golfsteilheid frontgolven	-
i _{max}	steilheid waterspiegeldaling haalgolven	-
k	waterdoorlatendheid van de granulaire laag	m/s
k'	waterdoorlatendheid van de toplaag	m/s
L	lengte toplaagelement evenwijdig aan de dijkas	m
L _{op}	golf lengte op diep water die hoort bij de piekperiode T _p	m
M _x	massa die door x% van de steenstukken van een sortering wordt onderschreden	kg
N	aantal golven	-
n	porositeit	-

Symbolen

SYMBOOL	OMSCHRIJVING	EENHEID
O_{90}	karakteristieke openingsgrootte van een geotextiel die door 90% van de openingen wordt onderschreden	m
P	permeabiliteit van het talud	-
P	wegingsfactor voor taluddeel boven de berm	-
Q	wegingsfactor voor taluddeel onder de berm	-
R	sterkte	-
S	belasting	-
S	schadegetal	-
s	spleetbreedte tussen toplaagelementen	m
sm	soortelijke massa (zie dichtheid ρ)	kg/m ³
T_g	laagdikte van het geokunststof	m
T_i	golfperiode secundaire golven	s
T_m	gemiddelde golfperiode	s
T_m	gemiddelde golfperiode	s
T_p	piekperiode	s
t_{rg}	reststerkte van de toplaag + de granulaire laag	uur
t_{rk}	reststerkte van de kleilaag	uur
t_{sm}	maatgevende belastingduur	uur
u	diepte-gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de teen	m/s
v_f	filtersnelheid	m/s
X	waterstand voor berekening bermfactor	m+NAP
Y	erosiediepte	m
Y	correctiefactor voor breuksteenoverlaging	-
y_s	verschil maatgevende waterstand en door te rekenen niveau	m
z	verticale afstand boven de stilwaterstand	m
$z_{2\%}$	golfploopniveau dat door 2% van de golven overschreden wordt t.o.v. stilwaterlijn	m
z_{max}	waterspiegeldaling haalgolven	m
α	taludhelling	-
α_{fict}	fictieve taludhelling voor bermberekening	°
β	hoek tussen de golfrichting en de normaal op de kering	°
Δ	relatieve dichtheid van de toplaag	-
Δh_f	golfhoogte frontgolven	m
Λ	leklengte	m
φ_b	hoek van inwendige wrijving van ondergrond	°
ψ	permittiviteit	s ⁻¹
ρ_s	dichtheid van breuksteen	kg/m ³
ρ_t	dichtheid van de toplaag	kg/m ³
ρ_{te}	dichtheid van de toplaagelementen	kg/m ³
ρ_w	dichtheid van water	kg/m ³
ξ_{op}	brekerparameter op basis van de golflengte L_{op}	-
ξ_m	brekerparameter op basis van de golflengte die hoort bij golfperiode T_m	-
ξ_{mc}	kritische waarde voor brekerparameter ξ_m	-
Ω	open-ruimtepercentage van de toplaag	%
GHW	Gemiddeld HoogWater	m t.o.v. NAP
GRW	Gemiddelde Rivierwaterstand	m t.o.v. NAP
WP	Winterstreefpeil	m t.o.v. NAP

Begrippen

TERM	OMSCHRIJVING
aansluitingsconstructie	Constructie die tot doel heeft om een bekleding aan te sluiten op een waterbouwkundig kunstwerk.
aanverwant bekledingstype	Niet-standaard-steenzetting of bekledingstype dat verwant is aan steenzettingen.
afschuiving	Verzamelnaam voor faalmechanismen waarbij beweging van toplaag en eventueel andere lagen langs het talud plaatsvindt.
afstandhouder	Kunststof of metalen element dat tussen toplaagelementen wordt aangebracht om het open-ruimtepercentage te vergroten.
analytische methode	Gedetailleerde dimensioneringsmethode voor de faalmechanismen toplaaginstabiliteit onder golfaanval en materiaaltransport vanuit de ondergrond.
ANAMOS	Computerprogramma van de analytische methode.
basaltzuil	Zuilvormig toplaagelement van basalt.
basalton	Type betonzuil.
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.
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.
bekledingsconstructie / bekledingssysteem	Geheel van lagen die tot doel hebben de dijk kern 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.
beoordelingsniveau	Moeilijkheidsniveau van een toetsingsstap ten aanzien van rekenregels of gegevensinwinning.
beoordelingschema	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	Zuilvormig toplaagelement van beton.
binnentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de niet-kerende zijde
black-boxmethode	Methode voor globaal ontwerp of eenvoudige toetsing op toplaaginstabiliteit, op basis van makkelijk te bepalen kenmerken van toplaag en ondergrond.
blokken	Toplaagelementen die nauw op elkaar aansluiten en waarbij de spleetbreedte rondom elk element min of meer constant en meestal klein is.

Begrippen

TERM	OMSCHRIJVING
blokkenmat	Geprefabriceerde topaagelementen 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, om de effecten van golfploop te reduceren en/of om een onderhoudspad op te situeren.
buitenknik	Knik tussen de berm en het benedenbeloop
buitentalud	Hellend vlak van het dijklichaam aan de kerende zijde.
diaboolblok	Type interlockelement.
dichtheid	Verhouding tussen massa en volume van het materiaal (volumieke massa, soortelijke massa).
dijkkern	Grondlichaam van zand en/of klei dat moet worden beschermd tegen de inwerking van de waterbeweging.
doorgroeisteen	Platte betontegel of betonblok met gaten er in die begroeiing mogelijk maken (grasbetonstenen).
Doornikse steen	Blokvormig topaagelement van natuursteen uit de groeven van Doornik, België.
ecotop	Ruw laagje op de bovenkant van topaagelementen ter bevordering van flora en fauna.
eenvoudige toetsing	De eerste stappen in een beoordelingsschema, met relatief makkelijk toepasbare regels, uitgewerkt in het <i>Voorschrift Toetsen op Veiligheid</i> .
erosie van de onderlagen	Faalmechanisme van bekledingen dat zich voordoet als de beschermende werking van de top laag weggevallen is.
faalmechanisme	Opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen.
falen	Niet meer vervullen van de primaire functie (waterkeren); of Niet meer voldoen aan de vastgestelde criteria.
fictieve golfhoogte	Rekengrootheid voor de belasting bij golfoverslag van een steenzetting op de kruin.
fictieve taludhelling	Gewogen gemiddelde van de taludhelling onder en boven de buitenberm, benodigd voor ontwerp en toetsing op topaaginstabiliteit van steenzettingen op de berm.
filter	Tussenlaag in de taludbekleding die ten eerste uitspoeling van fijnkorrelig materiaal uit de ondergrond door de bovenliggende laag van de bekleding én ten tweede opbouw van wateroverdruk voorkomt.
freatische lijn	Niveau van de waterspiegel in het filter of de dijk, ter plaatse van de top laag.
geavanceerde toetsing	De laatste stappen in een beoordelingsschema, waarvoor geen uitgewerkte rekenregels bestaan, uit te voeren door specialisten.
gebakken blok	Blokvormig topaagelement van gebakken steen.
gedetailleerde toetsing	De middelste stappen in een beoordelingsschema, met rekenregels van het niveau van de ontwerp leidraden en technische rapporten.
geokunststof	Kunststof doek dat bij voorbeeld op zand of klei wordt toegepast om uitspoeling ervan te voorkomen.

TERM	OMSCHRIJVING
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.
gepenetreeerde steenzetting	Steenzetting waarbij tussen de toplaagelementen beton of asfalt is aangebracht om de sterkte te vergroten.
geschakelde steenzetting	Blokkenmat of interlock-elementen.
gietasfalt	Warm bereid asfalt met een mengsel van gegraadeerd grind en een overmaat aan asfaltmastiek, dat nagenoeg geen holle ruimte heeft.
'goed'	Resultaat van de toetsing als de waterkering op de peildatum minimaal ontwerp kwaliteit heeft: er wordt aan de ontwerpcriteria voldaan met gebruikmaking van toetsingsuitgangspunten en –randvoorwaarden.
golfhoogte	Verskil 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.
golflapzone	Deel van het talud dat door golflappen wordt belast, gelegen onder de stilwaterstand.
golfploophoogte / -niveau	Hoogste niveau ten opzichte van de stilwaterlijn tot waar een golf het talud nat maakt.
golfploopzone	Deel van het talud dat niet door golflappen maar door golfploop wordt belast, gelegen boven de stilwaterstand.
golfperiode	Tijdsduur tussen twee opeenvolgende neergaande passages van de middenstand van een golf.
golfsteilheid	Verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
granietblok	Blokvormig toplaagelement van graniet.
granulaire aanvulling	Laag van breed gegraadeerd korrelig materiaal met een fijne fractie (mijnsteen, silex of betonpuin), aangebracht op het basismateriaal om het aanbrengen van de bekleding mogelijk te maken.
granulaire laag	Laag van korrelig materiaal van beperkte dikte die onder de toplaag kan liggen, fungerend als filterlaag en/of uitvullaag.
Haringmanblok	Type betonblokken met inkeping ter beperking van golfploop.
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.
Hydroblock	Type betonzuilen.
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 gepenetreeerde 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.

Begrippen

TERM	OMSCHRIJVING
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.
karacteristieke 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.
kruin	Strook tussen buitenkruinlijn en binnenkruinlijn; Hoogste punt in het dwarsprofiel van het dijklichaam; of Buitenkruinlijn (bij toetsing).
kruinhoogtemarge	Het verschil tussen de kruinhoogte op de peildatum en Toetspeil met lokale toeslagen voor opwaaiing en buistoten, bui-oscillaties, 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, etc., waarbij de gehele levenscyclus van het onderzochte in de beschouwing voorkomt.
LNC-waarden	Landschap, Natuur en Cultuurhistorische waarden
macrostabiliteit	Weerstand tegen het optreden van een glijvlak in het talud en de ondergrond.
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.
microstabiliteit	Weerstand tegen erosie van het talud als gevolg van uittredend water.
mijnsteen	Restproduct van mijnbouw bestaand uit breed gegradeerd granulair materiaal.
m.e.r.-beoordelings-plichtige activiteit	Activiteit met zodanige kenmerken dat het bevoegd gezag per geval moet beoordelen of het maken van een milieu-effectrapportage verplicht is.
m.e.r.-plichtige activiteit	Activiteit met zodanige kenmerken dat het maken van een milieu-effectrapportage verplicht is.

TERM	OMSCHRIJVING
Noorse steen	Verzamelnaam voor stenen die in de ijstijd door ijsmassa's zijn meegenomen en die in de 19 ^e en begin 20 ^e eeuw in Midden- en Noord-Nederland als bekleding op de dijk zijn aangebracht (Noordse steen, Drentse steen, Poolse steen, flinten)
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.
ontwerppeil	Toetspeil vermeerderd met de verwachte waterstandsstijging (inclusief NAP-daling) tot aan het eind van de planperiode.
ontwerpvak	Een deel van het projectgebied waarvoor geldt dat de eisen en kenmerken in lengterichting bij benadering constant zijn.
'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.
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).
overslagdebiet	Volume water dat per strekkende meter per seconde door de golfbeweging over de buitenkruinlijn slaat.
patroonpenetratie	Penetratie met asfalt of beton van een breuksteenbekleding over een deel van het oppervlak.
Petit graniet	Blokvormig toplaagtype van graniet, destijds afkomstig van leverancier Petit.
PIT-Polygoonzuil	Type betonzuilen.
plaatbekleding	Monoliete en waterdichte bekleding.
plus/min-afweging	Afweging waarbij de volgorde van geschiktheid van varianten wordt bepaald.
porositeit	Verhouding tussen de open ruimte tussen de korrels en het totale volume (open ruimte + korrels) van het granulaire materiaal.
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.
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.
reststerkte	Tijdsduur tussen initiële schade en het bloot komen van de dijk kern (weerstand tegen hydraulische belasting na het begin van schade).
restproducten	Bijproducten van productieprocessen die als constructiemateriaal worden gebruikt.
Ronaton	Type betonzuil.
ruwheidselement	Uitsteeksel op toplaagelementen met als functie het beperken van de golfoploop.

TERM	OMSCHRIJVING
schadegetal	Dimensieloze parameter die de schade aan een breuksteenverdediging beschrijft.
silex	Restproduct van de cementindustrie, bruikbaar als granulair materiaal.
slakken	Restproduct, in bepaalde gevallen bruikbaar als granulair materiaal.
Specialistische diensten	Onderdelen van Rijkswaterstaat die de technische en wetenschappelijke kennis en ondersteuning verzorgen voor de uitvoering van de Rijkswaterstaatstaken en de beleidsvoorbereiding van het ministerie van Verkeer en Waterstaat (DWW, Bouwdienst, MD, AVV, RIKZ en RIZA).
standaardelement	Toplaagelement van een standaardtype: niet onderling verbonden, zonder gaten, zonder grote uitsteeksels.
standaardsortering	Sortering van granulair materiaal volgens erkende normen.
standaard-steenzetting	Steenzetting met een toplaag van standaardelementen.
Steentoets	Excel-programma voor de eenvoudige en gedetailleerde toetsing van steenzettingen volgens de <i>Leidraad Toetsen op Veiligheid</i> .
steenslag	Procesmatig gebroken gesteente dat van natuurlijke oorsprong of kunstmatig gevormd is.
steen­zetting	Bekleding waarvan de toplaag bestaat uit in verband geplaatste elementen.
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
stormseizoen	Periode waarin geen werkzaamheden aan waterkeringen mogen worden uitgevoerd, meestal 15 oktober – 15 april (gesloten seizoen).
strook	Een gedeelte van de bekleding tussen twee horizontale begrenzingen.
taludbekleding	Afdekking van de kern van een dijk ter bescherming tegen golfaanval en langs­stromend water. De taludbekleding bestaat uit een erosiebestendige toplaag, inclusief de onderliggende vlijlaag, filterlaag, kleilaag en/of geotextiel.
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.
teenconstructie	Constructie aan de onderzijde van het talud als overgang naar het voorland of de teenbestorting.
technisch rapport	Publicatie van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen waarin een afzonderlijk deelaspect van waterkeringen wordt behandeld.
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.
toetsvak	Een deel van de bekleding waarvoor geldt dat de randvoorwaarden en kenmerken voor de toetsing bij benadering constant zijn.
Toetspeil	Waterstand met een overschrijdingsfrequentie conform bijlage II bij de Wet op de waterkering die gebruikt wordt voor het beoordelen van de toestand van de waterkeringen. In het Toetspeil is de verwachte waterstandsstijging (inclusief NAP-daling) tot en met de peildatum verwerkt.
tonronde	De ronding in het oppervlak van de toplaag (in de verticale dwarsdoorsnede).

TERM	OMSCHRIJVING
toplaag	Buitenste verdedigingslaag van een talud, hier bestaande uit in verband geplaatste elementen.
toplaagdikte	Het gemiddelde van de elementhoogte over het elementoppervlak (toplaagelementhoogte).
toplaaginstabiliteit	Faalmechanisme waarbij één of meer topplaalementen 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.
uitloging	Het proces waarbij water in een materiaal dringt en bepaalde stoffen oplost waardoor deze in de omgeving terecht komen.
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 topplaalementen wordt verkregen.
veiligheidsnorm	De 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.
veiligheidsmarge	De mate waarin extra veiligheid aanwezig is.
verborgen 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.
Vilvoordse steen	Topplaalement 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 topplaalementen 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	Buitendijks gebied of ondiepe waterbodern.
(water)doorlatendheid	Verhouding tussen specifiek debiet en verhang.
weefsel	Geokunststof van garens of bandjes met een geordende structuur (woven)
wrijving	Bijdrage aan de weerstand tegen topplaainstabiliteit doordat bij onderlinge beweging van naast elkaar liggende topplaalementen een kracht wordt opgewekt.
zandscheg	Een insluiting van zand tussen de kleilaag van de bekleding en de kleikern.
zonnebrand	Het verschijnsel van incidentele basaltzuilen die sterk verweren.
zuigermechanisme	Deelmechanisme van het faalmechanisme topplaainstabiliteit waarbij topplaalementen door de overdruk langzaam maar zeker als een zuiger uit de toplaag worden gedrukt.
zuilen	Veelhoekige topplaalementen waarbij de spleetbreedte rondom elk element variabel is en meestal relatief groot.

Samenstelling expertisegroep en gebruikersgroep steenzettingen

Het opstellen van het *Technisch Rapport Steenzettingen* is begeleid door een expertisegroep en een gebruikersgroep.

De opstellers van het rapport bedanken de deelnemers aan deze groepen voor hun inzet en hun bijdragen.

Expertisegroep

A.M. van Berchum	Rijkswaterstaat Directie Zeeland
R. Bosters	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
C.J. Dorst	Bouwdienst Rijkswaterstaat
R. 't Hart	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
K. van den Hoek	Projectbureau Zeeweringen
J.C.P. Johanson	Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
J. van der Meulen	Projectbureau Zeeweringen
M.W.C. Nieuwjaar	Provincie Flevoland
M. Klein Breteler	WL Delft Hydraulics
J.T.M. van der Sande	Waterschap Zeeuwse Eilanden
T.P. Stoutjesdijk	GeoDelft

Gebruikersgroep

N. Bakker	Waterschap Noorderzijlvest
R.P.F. den Hoed	Bouwdienst Rijkswaterstaat
E. Jonker	Waterschap Zeeuws-Vlaanderen
E. Kater	Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied
E. Neef	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
H.J. Regeling	Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied
A. Zijlstra	Wetterskip Fryslân

Register

A

aansluitingsconstructie 39, 103
 falen door 55
 falen van 57
aanverwante bekledingstypen 32-35, 85-88
 faalmechanismen van 52
afschuiving 26, 36, 38, 47-52, 91-94
afstandhouders 30, 88
ANAMOS
 bij filters 173
 bij overgangsconstructie 105-106
 bij standaardelementen 78-83
 bij teenconstructie 103
 bij verhang 133
 het gebruik van 177

B

Basalton 28
basaltzuilen 27
basismateriaal 20, 38
 eigenschappen 157
 korrelgrootte 50
 laagdikte 125
 versus ondergrond 74
beheer
 plus/min-criteria 95
 technische eisen vanuit 72
beheerder 65
beheersregister 65
bekleding
 dichtheid 48
 dikte 48
bekledingssysteem 25
 opbouw 20
 varianten 145
bekledingsvak versus dijkvak 66
berm 39
 bekleding 107-109
 breedte 46
 factor 108
 rekenprocedures 187-190
beschikbaarheid 72, 90
bestek 113
betonband 39, 103-104
betonblokken 27, 72, 83-84
betonpuin 38
betonzuilen 17, 27, 81-82
betreedbaarheid 95
binnenkruinlijn 46
binnentalud 39, 45, 110
black-boxmethode 83
blokken versus zuilen 28
blokkenmatten 32, 72, 85
bovenbeloop 39, 187

 invloed berm op 109
bovengrens harde bekleding 67, 108
brekerparameter 154
breuksteenoverlaging 34, 72, 86
 diameter 168
 falen van 53
 permeabiliteit 169
 rekenmethode 185
broedseizoen 114

C

cultuurhistorie 23, 63, 73, 96

D

diaboolblokken 18
dichtheid water 153
dijkkern 38
dijkvak versus bekledingsvak 66
doorgroeistenen 33, 72, 85
 falen van 52
Doornikse steen 18
duurzaamheid 90
dwarsprofiel 61
 samenstellen varianten 89-91
 variatie binnen het 70

E

ecologie 21, 63, 73, 96
ecotop 28
erosie van de onderlagen 41

F

fauna 21, 63
fictieve taludhelling 108
filter 36, 73-77
 openingsgrootte 50
flora 63
folie 36, 77
freatische lijn 42

G

gatdiameter 52
gegevensverzameling 64
gekantelde blokken 28, 30, 90
gemeente 65
geokunststof 36, 76, 113, 174
 eigenschappen 166
geometrisch-dicht 74, 173
gepenetreerde ingegoten steenzettingen 33
geschakelde steenzettingen 32
 falen van 52
gietasfalt 33
golfhoogte 43, 48, 51, 52, 149
golfinvalshoek 151

register

golfklap 44
golfklapzone 68
golflengte 151
golfoploop 45, 68, 88, 109, 154, 163
golfoploopniveau 154
golfoploopzone 68
golfperiode 43, 150
golfsteilheid 46, 48
granietblokken 27
granulair filter 76-78, 173
 op geokunststof 174
granulaire aanvulling 37
 eigenschappen 166
granulaire laag 35, 113
 dikte 43, 49, 164
 interne stabiliteit 177
 korrelgrootte 52
 materiaaltransport vanuit 176
 waterdoorlatendheid 43, 51
grasbekleding 67-70
grasbetonstenen *zie* doorgroeistenen
grind 35

H

Haringmanblokken 162
havendammen 111
hergebruik 28, 36, 72, 82, 90
 versus nieuw 79
Hydra 66, 129, 147
hydraulisch materiaal 35
hydraulisch-dicht 74, 173-176
hydraulische randvoorwaarden 64-66, 147-148
Hydroblocks 28

I

ingegoten steenzettingen 33, 86
 falen van 52
interlock-systemen 18
interne stabiliteit 75, 177
inwasmateriaal 35, 158

J

ja/nee-afweging 71

K

keileem 38
kleilaag 38
 dikte 157
 materiaaleigenschappen 157
klemming en/of wrijving 35, 44
klinkers 18
koperslakblokken 27, 62
kosten 96
kribben 39, 111

kruin 38, 45, 110

L

landschap 22, 63, 73, 96
langsstroming 45, 79
langsvoeg 159
leklengte 105
Lessinese steen 18
levensduur 64
life cycle analysis 62
LTV, *Leidraad Toetsen op Veiligheid* 16

M

macrostabiliteit 93
mastiek 33
materiaaltransport 49, 94, 172
 dimensionering op 73-77
maximale golfterugtrekking 42
m.e.r. *zie* milieueffectrapportage
microstabiliteit 93
mijnsteen 38, 62
milieu 21, 62, 73, 96
milieueffectrapportage 62, 171
monument 23

N

natuursteen 28, 94
Noordse steen *zie* Noorse steen
Noorse steen 18, 155
nulfractie 37

O

ondergrond versus basismateriaal 74
ongesorteerd 38
ontwerppeil 68, 150
ontwerpvak 66
open ruimte 28
overgangsconstructie 39, 113
 bijzondere voorzieningen bij 105
 falen door 55
 falen van 57
overgoten steenzettingen 33
overlaging *zie* breuksteenoverlaging
overlaten 39, 111
overslagdebiet 46

P

penetratie 33
PIT-Polygoonzuilen 28
plaatbekleding 17
plus/min-afweging 94
porositeit 36
programma van eisen 61
provincie 65

R

recreatie 24, 73, 96
 falen door 55
 repareerbaarheid 96
 restproducten 28, 73
 rivierdijken 68
 Ronaton 28
 ruwheidselementen 34, 88

S

schadegetal 87
 scheepsaanvaring, falen door 55
 scheepsgolven 148
 silex 38
 slakken 35
 stabiliteit *zie* interne stabiliteit
 standaardelementen 26-31
 hergebruik 79
 nieuw 81
 zonder granulaire laag 83
 standaard-sorteringen 38
 steenslag 35, 36
 steenzetting
 geschakeld 32
 ingegoten 33
 overgoten 33
 stijghoogte 105
 stootvoeg 30, 159
 stopwerk 35
 stormseizoen 114
 strook 66
 stroomsnelheid 45, 79, 153

T

taludhelling 44, 48
 als ontwerpeigenschap 155
 bij afschuiving 91
 bij breuksteenoverlaging 54
 bij hergebruik 80-84
 bij vakindeling 66-67
 fictief 109
 technische toepasbaarheid 78
 teenbestorting 38, 57, 99, 113
 teenconstructie 38, 102
 falen door 55
 falen van 57
 toetsing 41
 tonrondte 113
 toplaag 26
 dichtheid 44, 161
 dikte 43, 50-52, 160
 elementhoogte *zie* toplaagdikte
 klemfactor 158-160
 open ruimte 162

waterdoorlatendheid 43, 51
 toplaaginstabiliteit 41, 94
 dimensionering op 78-88
 transmissiviteit 51
 TRS, *Technisch Rapport Steenzettingen* 15
 opbouw deel Ontwerp 16
 turbulentie 45
 tussenlagen 25

U

uitloging 28, 118
 uitvoering 113
 plus/min-criteria 94
 technische eisen vanuit 72
 uitvullaag 35

V

vak *zie* bekledingsvak, dijkvak, ontwerpvlak
 vakindeling 66-70
 vandalisme, falen door 55
 variant 89
 veiligheid 21, 41, 61
 veiligheidsmarge, ontwerp versus toetsing 65
 verborgen bekledingen 26
 verhang 50, 131
 Vilvoordse steen 18, 23
 vlies 36, 76
 voegvulling 35
 voorbeeld
 zeedijk 117-126
 meerdijk 127-141
 voorland, rol bij teenbestorting 100-101
 voorlandhoogte 156
 VTV, *Voorschrift Toetsen op Veiligheid* 16

W

waarneembaarheid van schade 95
 waterstand 151
 weefsel 36, 76
 windgolven 147
 wrijving en/of klemming 35
 wrijvingscoëfficiënt toplaag-ondergrond 163

IJ

ijsbelasting, falen door 55

Z

zand 47
 korrelgrootte 48
 zandscheg 92
 zonnebrand 90
 zuilen versus blokken 28

Bibliografie

- 1 *Handboek voor dimensionering van gezette talusbekledingen*, Rapport 155, CUR/TAW, 1992
- 2 *Leidraad Zee- en Meerdijken*, TAW, december 1999
- 3 *Leidraad Toetsen op Veiligheid*, TAW, augustus 1999
- 4 *Keuzemodel kust- en oeverwerken*, eindrapport fase 1 & 2, Rijkswaterstaat DWW, juli 2000
- 5 *Technisch Rapport Asfalt voor waterkeren*, TAW, 2003
- 6 *Technisch Rapport Golfoploop en golfoverslag bij dijken*, TAW, mei 2002
- 7 *Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen (HR2001)*, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft, april 2002
- 8 *Filters in de waterbouw*, Rapport 161, CUR, juni 1993
- 9 *Rekenmodel Dijkbekleding Hydra-Q*, HKV Lijn in water, augustus 1999
- 10 *Voorschrift Toetsen op Veiligheid*, TAW, 2003

SECTIE II ONTWERPPROCES

H.4 Voorbereiding ontwerp

4.1	OPSTELLEN PVE	Vaststellen eisen en wensen vanuit techniek en omgeving
4.2	VERZAMELEN GEGEVENS	Vaststellen dijkopbouw en hydraulische omstandigheden
4.3	INDELEN IN VAKKEN/STROKEN	Vaststellen vakken en stroken met vergelijkbare eisen/omstandigheden

H.5 Ontwerp bekleding

5.1	VOORSELECTEREN BEKLEDINGSTYPEN	Opstellen 'shortlist' mogelijke bekledingen
5.2	KIEZEN & ONTWERPEN FILTER	1 nodig of niet nodig? 2 welk type filter? 3 dimensionering & detaillering
5.3	DIMENSIONEREN OP TOPLAAGINSTABILITEIT	Bepalen technische toepasbaarheid bekledingstypen en dimensioneren ervan
5.4	SAMENSTELLEN DWARSPROFIELVARIANTEN	Opstellen overzicht toepasbare bekledingstypen en dwarsprofielvarianten voor het hele gebied
5.5	CONTROLLEREN OP AFSCHUIVING	Controleren dwarsprofielvarianten op afschuiving
5.6	AFWEGEN VARIANTEN & KIEZEN BEKLEDING	Afwegen varianten (eisen, wensen en kosten) en kiezen bekleding per vak

H.6 Ontwerp overige onderdelen

6.1	TEENBESTORTING	1 nodig of niet nodig? 2 welk type teenbestorting? 3 dimensionering & detaillering
6.2	TEENCONSTRUCTIE	1 nodig of niet nodig? 2 welk type teenconstructie? 3 dimensionering & detaillering
6.3	OVERGANGSCONSTRUCTIE	1 nodig of niet nodig? 2 welk type overgangsconstructie? 3 dimensionering & detaillering
6.4	BEKLEDING BERM	1 nodig of niet nodig? 2 welk type bekleding? 3 dimensionering & detaillering
6.5	BEKLEDING GOLFOLOOPZONE	1 nodig of niet nodig? 2 welk type bekleding? 3 dimensionering & detaillering
6.6	BEKLEDING KRUIJN & BINNENTALUD	1 nodig of niet nodig? 2 welk type bekleding? 3 dimensionering & detaillering
6.7	BEKLEDING OVERSTROOMBARE KRUIJN	1 nodig of niet nodig? 2 welk type bekleding? 3 dimensionering & detaillering

H.7 Overdracht naar bestek en uitvoering

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) is een onafhankelijke adviescommissie, die gevraagd en ongevraagd de Minister van Verkeer en Waterstaat adviseert over waterkeringen. Dat advies kan alle technisch-wetenschappelijke aspecten van constructie en onderhoud van waterkeringen betreffen. Centraal daarbij staat de veiligheidsfunctie van de waterkeringen voor de achterliggende gebieden. De TAW richt zich zowel op primaire als secundaire waterkeringen en boezemkaden. Ook andere overheden kunnen de Minister verzoeken de TAW te laten adviseren over complexe en specifieke waterkeringsproblemen.

Hiermee levert de TAW een bijdrage aan het realiseren van maatschappelijk vastgestelde veiligheidsnormen. In de leidraden, technische rapporten en adviezen, die door de TAW worden aangereikt, wordt nadrukkelijk rekening gehouden met andere functies van de waterkering, waaronder milieu, recreatie, verkeer, landschap en cultuurhistorie.

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat (RWS) voert de werkzaamheden van de TAW uit. Hierbij treedt zij op als opdrachtgever, bereidt zij de TAW-producten voor en levert zij de TAW-coördinator. Ook is de DWW, via de helpdesk Waterkeren, beschikbaar voor alle betrokkenen bij de waterschapszorg: waterschappen, provincies en Rijk.

Met vragen omtrent het werk van de TAW kan men zich wenden tot de DWW.

Postbus 5044
2600 GA Delft

telefoon: 015 - 25 18 436
 015 - 25 18 450 (helpdesk Waterkeren)
fax: 015 - 25 18 568
internet: <http://www.tawinfo.nl>
e-mail: tawsecr@dww.rws.minvenw.nl

DWW-2003-097
ISBN 90-369-5551-3